



**GeoRS**

Geopedology and Landscape Development  
Research Series

**VOLUME 05**

**Post-LGM-zeitliche Pedogenese  
und Geomorphodynamik in den  
spanischen Zentralpyrenäen**

Florian Hirsch

**b-tu**

Brandenburg  
University of Technology  
Cottbus - Senftenberg

ISSN 2196 - 4122

**This series is edited by**

Prof. Dr. Thomas Raab

© **2016 Chair of Geopedology and Landscape Development**

Brandenburg University of Technology Cottbus – Senftenberg

Siemens-Halske-Ring 8

03046 Cottbus

Germany

**ISSN 2196 - 4122**

**[www.b-tu.de/fg-geopedologie/](http://www.b-tu.de/fg-geopedologie/)**

Geopedology and Landscape Development  
Research Series  
**GeoRS**  
**VOLUME 05**

## **Post-LGM-zeitliche Pedogenese und Geomorphodynamik in den spanischen Zentralpyrenäen**

Von der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus – Senftenberg zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation, vorgelegt von Diplom-Geograph (Univ.) Florian Hirsch aus Lauf a. d. Pegnitz.

Gutachter: Prof. Dr. Thomas Raab

Gutachter: Prof. Dr. Frank Lehmkuhl

Gutachter: Prof. Dr. Christoph Zielhofer

Tag der mündlichen Prüfung: 03.12.2015

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	II
Tabellenverzeichnis . . . . .	III
Vorwort . . . . .	IV
<b>1 Einführung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Hintergrund . . . . .	2
1.3 Zielsetzung . . . . .	5
<b>2 Prozesse der glazialen und interglazialen Landschafts- entwicklung im Spätquartär</b>	<b>6</b>
2.1 Geomorphodynamik im Spätquartär . . . . .	6
2.1.1 Glaziale und paraglaziale Landschaftsentwicklung . . . . .	6
2.1.2 Periglaziale Landschaftsentwicklung . . . . .	8
2.1.3 Solifluktion und periglaziale Deckschichten . . . . .	11
2.2 Pedogenese im Spätquartär . . . . .	16
2.2.1 Periglaziale Bodenentwicklung . . . . .	16
2.2.2 Lessivierung . . . . .	16
2.2.3 Bodenentwicklung auf spätquartären Sedimenten im Mittelmeerraum .	19
2.2.3.1 Verbraunung und Rubefizierung . . . . .	19
2.2.3.2 Terra Rossa . . . . .	20
2.2.3.3 Tonmineralogie . . . . .	22
2.2.4 Calciumcarbonatdynamik . . . . .	23
2.2.4.1 Subglaziale bzw. kryogene Kalkanreicherung . . . . .	24
2.2.4.2 Kalkkrusten an Steinen . . . . .	24
2.2.4.3 Lösskindl, Wurzeln mit Rhizolithen und <i>calcified root cells</i> . . . . .	26
2.2.4.4 Nadelförmiger Calcit . . . . .	26
2.2.4.5 Calciumoxalat . . . . .	27
<b>3 Methoden</b>	<b>29</b>
3.1 Feldmethoden . . . . .	29
3.2 Laboranalytik . . . . .	30
3.2.1 Texturbestimmungen . . . . .	30

3.2.2	Bodenacidität, Minerale und Elementbestimmungen . . . . .	32
3.2.3	Altersdatierungen . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Untersuchungsgebiet</b>	<b>34</b>
4.1	Lage und historische Landnutzung . . . . .	34
4.2	Geologie und Lithologie . . . . .	36
4.3	Klima und Vegetation . . . . .	39
4.4	Relief und Boden . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>42</b>
5.1	Überblick über das räumliche Ausmaß der pleistozänen Vergletscherungen in den Pyrenäen . . . . .	42
5.2	Spätpleistozäne Landschaftsentwicklung in Südwesteuropa . . . . .	42
5.2.1	Räumliches Ausmaß des Periglazialraums zum gLGM . . . . .	42
5.2.2	Spätpleistozäne Glazialchronologie der östlichen und Zentral-Pyrenäen	45
5.2.3	Spätpleistozäne Glazialchronologie des Kantabrischen Gebirges . . . . .	47
5.2.4	Spätpleistozäne Glazialchronologie Zentralspaniens . . . . .	48
5.2.5	Spätpleistozäne Glazialchronologie der Sierra Nevada . . . . .	48
5.3	Holozäne Landschaftsentwicklung in den Pyrenäen . . . . .	48
5.4	Spätquartäre Geomorphologie und Chronologie im Aragón-Tal und Gállego- Tal . . . . .	49
5.4.1	Rezente und holozäne Geomorphodynamik . . . . .	49
5.4.2	Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Glacis . . . . .	52
5.4.3	Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Terrassen . . . . .	53
5.4.4	Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Morphologie und Chronologie	55
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>60</b>
6.1	<b>Synthese Transekt 1 und 2</b> . . . . .	60
6.2	Transekt 1 – Profil 217 . . . . .	64
6.3	Transekt 1 – Profil 166 . . . . .	67
6.4	Transekt 1 – Profil 194 . . . . .	71
6.5	Transekt 1 – Profil 195 . . . . .	72
6.6	Transekt 1 – Profil 211 . . . . .	74
6.7	Transekt 1 – Profil 167 . . . . .	77
6.8	Transekt 1 – Profil 197 . . . . .	80
6.9	Transekt 1 – Profil 198 . . . . .	84
6.10	Transekt 1 – Profil 212 . . . . .	86
6.11	Transekt 1 – Profil 202 . . . . .	89



6.12	Transekt 1 – Profil 203 . . . . .	91
6.13	Transekt 2 – Profil 185 . . . . .	92
6.14	Transekt 2 – Profil 186 . . . . .	93
6.15	Transekt 2 – Profil 188 . . . . .	94
6.16	Transekt 2 – Profil 190 . . . . .	96
6.17	Transekt 2 – Profil 192 . . . . .	103
6.18	Transekt 2 – Profil 193 . . . . .	104
6.19	Transekt 2 – Profil 181 . . . . .	105
6.20	Transekt 2 – Profil 180 . . . . .	107
6.21	<b>Synthese Transekt 3</b> . . . . .	108
6.22	Transekt 3 – Profil 155 . . . . .	112
6.23	Transekt 3 – Profil 158 . . . . .	114
6.24	Transekt 3 – Profil 204 . . . . .	115
6.25	Transekt 3 – Profil 159 . . . . .	119
6.26	Transekt 3 – Profil 231 . . . . .	121
6.27	Transekt 3 – Profil 149 . . . . .	127
6.28	Transekt 3 – Profil 151 . . . . .	129
6.29	<b>Synthese Transekt 4</b> . . . . .	131
6.30	Transekt 4 – Profil 216 . . . . .	132
6.31	Transekt 4 – Profil 145 . . . . .	137
6.32	Transekt 4 – Profil 146 . . . . .	138
6.33	Transekt 4 – Profil 147 . . . . .	139
6.34	<b>Synthese Transekt 5</b> . . . . .	142
6.35	Transekt 5 – Profil 228 und Profil 227 . . . . .	143
6.36	Transekt 5 – Profil 229 . . . . .	146
6.37	Transekt 5 – Profil 226 . . . . .	148
6.38	Transekt 5 – Profil 225 . . . . .	150
6.39	<b>Synthese Transekt 6</b> . . . . .	152
6.40	Transekt 6 – Profil 163 . . . . .	154
6.41	Transekt 6 – Profil 142 . . . . .	155
6.42	Transekt 6 – Profil 141 . . . . .	157
6.43	Transekt 6 – Profil 140 . . . . .	157
6.44	Transekt 6 – Profil 162 . . . . .	161
6.45	Transekt 6 – Profil 164 . . . . .	163
6.46	Transekt 6 – Profil 205 . . . . .	168
6.47	Transekt 6 – Profil 206 . . . . .	170
6.48	<b>Synthese Transekt 7</b> . . . . .	173



6.49	Transekt 7 – Profil 220 . . . . .	176
6.50	Transekt 7 – Profil 221 und Profil 222 . . . . .	180
6.51	Transekt 7 – Profile 219, 223 und 224 . . . . .	187
6.52	<b>Synthese Transekt 8</b> . . . . .	200
6.53	Transekt 8 – Profil 214 . . . . .	202
6.54	Transekt 8 – Profil 215 . . . . .	208
6.55	Transekt 8 – Profil 170 . . . . .	210
6.56	Transekt 8 – Profil 172 . . . . .	211
6.57	Transekt 8 – Profil 171 . . . . .	213
6.58	Transekt 8 – Profil 173 . . . . .	215
6.59	Transekt 8 – Profil 175 . . . . .	220
6.60	Transekt 8 – Profil 174 . . . . .	228
6.61	<b>Synthese Transekt 9</b> . . . . .	235
6.62	Transekt 9 – Profil 178 . . . . .	237
6.63	Transekt 9 – Profil 177 . . . . .	239
6.64	Transekt 9 – Profil 199 . . . . .	240
6.65	Transekt 9 – Profil 208 . . . . .	242
6.66	Transekt 9 – Profil 209 . . . . .	243
6.67	<b>Synthese Transekt 10</b> . . . . .	245
6.68	Transekt 10 – Profil 128 . . . . .	247
6.69	Transekt 10 – Profil 129 . . . . .	247
6.70	Transekt 10 – Profil 111 . . . . .	248
6.71	Transekt 10 – Profil 110 . . . . .	249
6.72	Transekt 10 – Profil 119 . . . . .	252
6.73	<b>Synthese Transekt 11</b> . . . . .	255
6.74	Transekt – Profil 126 . . . . .	258
6.75	Transekt 11 – Profil 125 . . . . .	258
6.76	Transekt 11 – Profil 101 . . . . .	259
6.77	Transekt 11 – Profil 100 . . . . .	267
6.78	Transekt 11 – Profil 127 . . . . .	269
6.79	Transekt 11 – Profil 117 . . . . .	271
6.80	Transekt 11 – Profil 123 . . . . .	277
6.81	Transekt 11 – Profil 230 . . . . .	278
6.82	Transekt 11 – Profil 210 . . . . .	283
6.83	<b>Synthese Transekt 12</b> . . . . .	288
6.84	Transekt 12 – Profil 108 . . . . .	290
6.85	Transekt 12 – Profil 107 . . . . .	291

6.86	Transekt 12 – Profil 106	292
6.87	Transekt 12 – Profil 135	293
6.88	Transekt 12 – Profil 121	294
6.89	Transekt 12 – Profil 122	294
6.90	Transekt 12 – Profil 138	295
6.91	Einzelne Bodenprofile	296
6.91.1	Profil 207	296
6.91.2	Profil 176	297
6.91.3	Profil 232	301
<b>7</b>	<b>Spätquartäre Landschafts- entwicklung in den spanischen Zentralpyrenäen</b>	<b>306</b>
7.1	Geomorphodynamik	306
7.1.1	<i>Till</i>	306
7.1.2	Basislagen	307
7.1.3	Hauptlagen, Mittellagen und Löss	309
7.1.4	Kolluvien	311
7.2	Pedogenese	315
7.2.1	Calciumcarbonatdynamik	315
7.2.2	Tonmineralogie	318
7.2.3	Verlehmung und Verbraunung bzw. Rubefizierung	320
7.2.4	Lessivierung	325
7.3	Chronologie der Landschaftsentwicklung	327
7.3.1	Pleistozäne Landschaftsentwicklung	327
7.3.2	Holozäne Landschaftsentwicklung	331
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>333</b>
<b>9</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>337</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>340</b>
	<b>Anhangsverzeichnis</b>	<b>383</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Stratigraphie des Spätquartärs . . . . .	2
2	Glaziale, paraglaziale und periglaziale Formung . . . . .	7
3	Varianten der Solifluktion und vertikale Verlagerungsdynamik . . . . .	13
4	Korngrößenbestimmung mittels Nasssiebung und Röntgenabsorption . . . . .	31
5	Lage und Topografie des Untersuchungsgebiets (s. a. Beilage 1) . . . . .	35
6	Geologie der Pyrenäen . . . . .	37
7	Weinrote Schiefer aus dem Karbon bei Candanchú . . . . .	38
8	Eozäne Kalksteine bei Aratorés . . . . .	38
9	Eozäner Flysch nördlich Acumuer . . . . .	39
10	Eozäne Konglomerate östlich von Sabiñánigo . . . . .	39
11	Badlands in den grauen eozänen Mergel östlich von Sabiñánigo . . . . .	39
12	Grusige Verwitterung von gefaltetem Mergel aus dem Eozän . . . . .	39
13	Hygrothermische Klimadiagramme der Stationen Canfranc, Biescas und Jaca . . . . .	40
14	Ausmaß der pleistozänen Vergletscherungen nach verschiedenen Autoren . . . . .	43
15	Zusammenstellung der spätpleistozänen Landschaftsentwicklung aus verschiedenen Studien (s. a. Beilage 2) . . . . .	46
16	Geomorphologie am Zusammenfluss von Gállego und Aurín . . . . .	50
17	Geomorphologie im Aragón-Tal nördlich von Jaca . . . . .	51
18	Pleistozäne Formen im Untersuchungsgebiet (s.a. Beilage 1) . . . . .	54
19	Geomorphologie und Glazialchronologie im Gállego-Tal bei Sabiñánigo, Teilgebiet 5 . . . . .	56
20	Geomorphologie und Glazialchronologie im Aragón-Tal nördlich von Jaca, Teilgebiet 2 . . . . .	58
21	Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 1 (s. a. Beilage 1) . . . . .	62
22	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 1 (s. a. Beilage 1) . . . . .	63
23	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 2 (s. a. Beilage 1) . . . . .	64
24	Horizontabfolge Profil 217 . . . . .	65
25	Profil 217, toniges Aggregat mit glänzenden Flächen . . . . .	65
26	Laborergebnisse Profil 217 . . . . .	66
27	Horizontabfolge Profil 166 . . . . .	67
28	Laborergebnisse Profil 166 . . . . .	68
29	Situmetrie des Grobbodens in Profil 166, 20–63 cm unter GOK . . . . .	69

30	Dreiecksdiagramm Situmetrie . . . . .	70
31	Horizontabfolge in Profil 194 . . . . .	71
32	Laborergebnisse Profil 194 . . . . .	71
33	Horizontabfolge Profil 195, 260–400 cm unter GOK . . . . .	72
34	Profil 195, Toncutane auf Aggregat, 350 cm unter GOK . . . . .	72
35	Laborergebnisse Profil 195 . . . . .	73
36	Situmetrie des Grobbodens in Profil 195, 377–400 cm unter GOK . . . . .	74
37	Blick von Süden auf Profil 211 (neben dem blauen Rucksack) auf dem West- hang der Seitenmoräne . . . . .	75
38	Horizontabfolge Profil 211. . . . .	75
39	Laborergebnisse Profil 211 . . . . .	77
40	Horizontabfolge Profil 167 . . . . .	77
41	Laborergebnisse Profil 167 . . . . .	79
42	Situmetrie des Grobbodens Profil 167: 24–100 cm unter GOK . . . . .	79
43	Weganschnitt an der Seitenmoräne mit Profil 197 . . . . .	80
44	Übersicht der Mikromorphologie Profil 197 . . . . .	81
45	Übersicht Mikromorphologie Profil 197 . . . . .	81
46	Illuviale Cutane (LPL, Profil 197) . . . . .	81
47	Illuviale Cutane (GPL, Profil 197) . . . . .	81
48	Sparitische Ausfällung von Calciumcarbonat und Mikrit in Grobpore (LPL, Profil 197) . . . . .	82
49	Sparitische Ausfällung von Calciumcarbonat und Mikrit in Grobpore (GPL, Profil 197) . . . . .	82
50	Verkittung der Matrix mit Calciumcarbonat (LPL, Profil 197) . . . . .	82
51	Verkittung der Matrix mit Calciumcarbonat (GPL, Profil 197) . . . . .	82
52	Situmetrie des Grobbodens Profil 197 . . . . .	83
53	Talparallele Kritzen im Anstehenden 40 m nördlich von Profil . . . . .	84
54	Horizontabfolge Profil 198 . . . . .	84
55	Laborergebnisse Profil 198 . . . . .	86
56	Situmetrie des Grobbodens Profil 198: 21 cm bis 90 cm unter GOK . . . . .	86
57	Horizontabfolge Profil 212. . . . .	87
58	Laborergebnisse Profil 212 . . . . .	88
59	Übersicht Profil 202, Länge des Maßstabs: 200 cm . . . . .	89
60	Horizontabfolge Profil 202 an der Basis des Hangsturzes . . . . .	89
61	Laborergebnisse Profil 202 . . . . .	90
62	Horizontabfolge Profil 203 . . . . .	91
63	Freiliegender Grobboden um Profil 203 . . . . .	91

64	Erodierter Hang oberhalb von Profil 185 auf 1400 m ü. M. . . . .	92
65	Horizontabfolge Profil 185 . . . . .	92
66	Von Oberflächenabfluss verlagerte Streureste und Äste hinter einem hang- parallel liegendem Stamm neben Profil 185 . . . . .	93
67	Profil 186 befindet sich am linken Wegrand . . . . .	94
68	Oberer Teil von Profil 186 . . . . .	94
69	Laborergebnisse Profil 186 . . . . .	94
70	Horizontabfolge Profil 188 . . . . .	95
71	Horizontabfolge Profil 190 . . . . .	96
72	Laborergebnisse Profil 190 . . . . .	97
73	Übersicht Mikromorphologie Profil 190 (35–43 cm) . . . . .	100
74	Übersicht Mikromorphologie Profil 190 (82–90 cm) . . . . .	100
75	Fragmentierter Mittelkies (Profil 190, 35–43 cm, LPL) . . . . .	100
76	Toncutane (Profil 190, 35–43 cm, LPL) . . . . .	100
77	Toncutane (Profil 190, 35–43 cm, GPL) . . . . .	101
78	Sortierungen im Feinboden (Profil 190, 35–43 cm, LPL) . . . . .	101
79	Sortierungen im Feinboden (Profil 190, 35–43 cm, GPL) . . . . .	101
80	Runde Intraklasten (Profil 190, 35–43 cm, LPL) . . . . .	101
81	Runde Intraklasten (Profil 190, 35–43 cm, LPL) . . . . .	101
82	Sortierung des Feinbodens (Profil 190, 35–43 cm, GPL) . . . . .	101
83	Illuviale Cutane im II Bt (Profil 190, 82–90 cm, LPL) . . . . .	102
84	Illuviale Cutane im II Bt (Profil 190, 82–90 cm, GPL) . . . . .	102
85	Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, LPL) . . . .	102
86	Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, GPL) . . .	102
87	Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, LPL) . . .	102
88	Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, GPL) . . .	102
89	Profil 192 in feinkiesigem Substrat über anstehendem Kalksandstein .	103
90	Horizontabfolge Profil 192 . . . . .	103
91	Feldweg neben Profil 193 . . . . .	104
92	Horizontabfolge Profil 193 . . . . .	104
93	Horizontabfolge Profil 181 . . . . .	105
94	Laborergebnisse Profil 181 . . . . .	106
95	Profil 180 im 4 m bis 8 m mächtigen <i>till</i> über dem Anstehenden . . . . .	107
96	Situmetrie des Grobbodens Profil 180 . . . . .	107
97	Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 2 (s. a. Beilage 1) . . . . .	110
98	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 3 (s. a. Beilage 1) . . . . .	111
99	Terrassierter Hang nördlich Profil 155 . . . . .	113

100	Horizontabfolge Profil 155 . . . . .	113
101	Laborergebnisse Profil 155 . . . . .	113
102	Horizontabfolge – Profil 158. . . . .	114
103	Laborergebnisse Profil 158 . . . . .	115
104	Horizontabfolge Profil 204 . . . . .	115
105	Laborergebnisse Profil 204 . . . . .	116
106	Situmetrie des Grobbodens Profil 204 . . . . .	117
107	Überblick Mikromorphologie Profil 204, 50–54 cm unter GOK . . . . .	118
108	Grobsand mit Wurzelröhre und Mikrit (Profil 204, LPL) . . . . .	118
109	Grobsand mit Wurzelröhre und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, GPL) . . . . .	119
110	Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, LPL) . . . . .	119
111	Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, GPL) . . . . .	119
112	Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, Schräglicht) . . . . .	119
113	Horizontabfolge Profil 159 . . . . .	120
114	Laborergebnisse Profil 159 . . . . .	120
115	Horizontabfolge Profil 231 . . . . .	121
116	Laborergebnisse Profil 231 . . . . .	122
117	Übersicht Mikromorphologie Profil 231, 40–48 cm unter GOK . . . . .	123
118	Grobsand aus 97–110 cm unter GOK mit Ausfällungen von Sekundärcarbonat	125
119	Wurzelröhre (Profil 231, 40–48 cm, LPL) . . . . .	125
120	Wurzelröhre (Profil 231, 40–48 cm, GPL) . . . . .	125
121	Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, LPL) . . . . .	126
122	Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, GPL) . . . . .	126
123	Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, λ+GPL) . . . . .	126
124	Groporen in der nicht aggregierten Bodenmatrix (Profil 231, 40–48 cm, LPL) . . . . .	126
125	Groporen in der nicht aggregierten Bodenmatrix (Profil 231, 40–48 cm, GPL) . . . . .	126
126	Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, LPL) . . . . .	126
127	Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, GPL) . . . . .	127
128	Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, λ+GPL) . . . . .	127
129	Verwitterter Biotit (Profil 231, 40–48 cm, LPL) . . . . .	127
130	Verwitterter Biotit (Profil 231, 40–48 cm, GPL) . . . . .	127

131	Profil 149 am Südhang der Seitenmoräne . . . . .	128
132	Horizontabfolge Profil 149 . . . . .	128
133	Plattige Calcitausfällungen im <i>till</i> von Profil 149 . . . . .	129
134	Profil 149, Seitenansicht des massiv verkitteten <i>tills</i> , 40 cm unter GOK . . . . .	129
135	Laborergebnisse Profil 149 . . . . .	129
136	Horizontabfolge Profil 151 . . . . .	130
137	Calcitanhaftung an der Unterseite eines Steines in Profil 151 . . . . .	130
138	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 4 (s. a. Beilage 1) . . . . .	132
139	Von Runsen zerschnittener Hang mit Profil 216 . . . . .	133
140	Horizontabfolge Profil 216 . . . . .	133
141	Laborergebnisse Profil 216 . . . . .	134
142	Übersicht Mikromorphologie Profil 216, 18–26 cm unter GOK . . . . .	135
143	Übersicht Mikromorphologie Profil 216, 55–63 cm unter GOK . . . . .	135
144	Ausfällung von Calcit (Profil 216, 55–63 cm, LPL) . . . . .	136
145	Ausfällung von Calcit (Profil 216, 55–63 cm, GPL) . . . . .	136
146	Nadelförmiger Calcit in Pore (Profil 216, 55–63 cm, LPL) . . . . .	136
147	Nadelförmiger Calcit in Pore (Profil 216, 55–63 cm, GPL) . . . . .	136
148	Biogene Kristallisation in Wurzel (Profil 216, 18–26 cm, LPL) . . . . .	137
149	Biogene Kristallisation in Wurzel (Profil 216, 18–26 cm, GPL) . . . . .	137
150	Horizontabfolge Profil 145 . . . . .	137
151	Horizontabfolge Profil 146 . . . . .	138
152	Laborergebnisse Profil 146 . . . . .	138
153	Horizontabfolge Profil 147 . . . . .	140
154	Laborergebnisse Profil 147 . . . . .	140
155	Panoramablick nach Süden auf Transekt 5 . . . . .	142
156	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 5 (s. a. Beilage 1) . . . . .	143
157	Felshumusboden Profil 228 . . . . .	144
158	Horizontabfolge Profil 227 . . . . .	144
159	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 227, 130–160 cm unter GOK . . . . .	145
160	Laborergebnisse Profil 227 . . . . .	146
161	Horizontabfolge Profil 229 . . . . .	146
162	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 229, 50–60 cm unter GOK . . . . .	148
163	Laborergebnisse Profil 229 . . . . .	148
164	Horizontabfolge Profil 226 . . . . .	149
165	Laborergebnisse Profil 226 . . . . .	149
166	Horizontabfolge Profil 225 . . . . .	151
167	Calcitkruste an der Unterseite von Grobboden . . . . .	151

168	Laborergebnisse Profil 225 . . . . .	151
169	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 6 (s. a. Beilage 1) . . . . .	153
170	Horizontabfolge Profil 163 . . . . .	154
171	Laborergebnisse Profil 163 . . . . .	154
172	Horizontabfolge Profil 142 . . . . .	155
173	Laborergebnisse Profil 142 . . . . .	155
174	Situmetrie des Grobbodens Profil 142, 20–67 cm unter GOK . . . . .	156
175	Horizontabfolge Profil 141 . . . . .	157
176	Horizontabfolge Profil 140, oberer Teil des Aufschlusses . . . . .	158
177	Horizontabfolge Profil 140, unterer Teil des Aufschlusses . . . . .	158
178	Situmetrie des Grobbodens Profil 140 . . . . .	160
179	Profil 140, sekundäre Carbonate im <i>till</i> . . . . .	160
180	Übersicht Mikromorphologie Profil 140 . . . . .	160
181	Sekundärcarbonat und Schluffeintrag (Profil 140, LPL) . . . . .	161
182	Sekundärcarbonat und Schluffeintrag (Profil 140, GPL) . . . . .	161
183	Verwitterung im <i>till</i> (Profil 140, LPL) . . . . .	161
184	Verwitterung im <i>till</i> (Profil 140, GPL) . . . . .	161
185	Horizontabfolge Profil 162 . . . . .	162
186	Laborergebnisse Profil 162 . . . . .	163
187	Horizontabfolge Profil 164 . . . . .	164
188	Übersicht Mikromorphologie Profil 164, 48–53 cm unter GOK . . . . .	164
189	Situmetrie des Grobbodens Profil 164, 20–80 cm unter GOK . . . . .	166
190	Laborergebnisse Profil 164 . . . . .	167
191	Toncutane in Lösungsporen von Sandstein (Profil 164, LPL) . . . . .	167
192	Toncutane in Lösungsporen von Sandstein (Profil 164, GPL) . . . . .	167
193	Sternporen (Profil 164, LPL) . . . . .	167
194	Sternporen (Profil 164, GPL) . . . . .	167
195	Sternporen (Profil 164, GPL+Lambda) . . . . .	168
196	<i>Granostriations</i> um Mittelsand (Profil 164, LPL) . . . . .	168
197	<i>Granostriations</i> um Mittelsand (Profil 164, GPL) . . . . .	168
198	<i>Granostriations</i> um Mittelsand (Profil 164, GPL+Lambda) . . . . .	168
199	Horizontabfolge Profil 205 . . . . .	169
200	Laborergebnisse Profil 205 . . . . .	169
201	Horizontabfolge Profil 206 . . . . .	170
202	Laborergebnisse Profil 206 . . . . .	171
203	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 63–75 cm unter GOK . . . . .	172
204	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 88–100 cm unter GOK . . . . .	172

205	Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 3 (s. a. Beilage 1) . . . . .	175
206	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 7 (s. a. Beilage 1) . . . . .	176
207	Horizontabfolge Profil 220 . . . . .	177
208	Plattengefüge unterhalb der GOK in Profil 220 . . . . .	178
209	Profil 220, Kalkpseudomycelien an der Obergrenze des II Bct+elCv (Schaftbreite des Stiftes 3 mm) . . . . .	178
210	Laborergebnisse Profil 220 . . . . .	179
211	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 220, 0–19 cm unter GOK . . . . .	179
212	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 220, 58–81 cm unter GOK . . . . .	180
213	Horizontabfolge Profil 221 . . . . .	181
214	Horizontabfolge Profil 222 . . . . .	181
215	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 221, 34–51 cm unter GOK . . . . .	182
216	Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 222, 100–116 cm unter GOK . . . . .	184
217	Laborergebnisse Profil 221 . . . . .	184
218	Laborergebnisse Profil 222 . . . . .	185
219	Übersicht Mikromorphologie Profil 221, 36–44 cm unter GOK . . . . .	185
220	Biogene Calcitanreicherung im Kolluvium (LPL, Profil 221) . . . . .	185
221	Biogene Calcitanreicherung im Kolluvium (GPL, Profil 221) . . . . .	186
222	Turbationsmerkmale im Kolluvium (LPL, Profil 221) . . . . .	186
223	Turbationsmerkmale im Kolluvium (GPL, Profil 221) . . . . .	186
224	Wurzelröhre mit Wurzelrest (LPL, Profil 221) . . . . .	186
225	Calciumoxalat in Wurzelrinde (GPL, Profil 221) . . . . .	186
226	Baugrube mit Profil 223 und Profil 224 . . . . .	187
227	Horizontabfolge Profil 224 . . . . .	188
228	Horizontabfolge Profil 223, 170 cm unter GOK . . . . .	188
229	Laborergebnisse Profile 224, 223 und 219 . . . . .	189
230	Röntgendiffraktion der Tonfraktion 224, 52–75 cm unter GOK . . . . .	190
231	Profil 224: Oberseite ohne Calcitausfällungen, Entnahmetiefe 65 cm unter GOK. . . . .	190
232	Profil 223, rotbraune Tonüberzüge an Kies und Aggregaten . . . . .	190
233	Profil 224, Toneintrag und Sekundärcarbonate . . . . .	192
234	Kalksandstein mit Calcitkruste an der Unterseite und ganzseitiger Verwitterungsrinde . . . . .	192
235	Profil 224 Verwitterung des Grobbodens . . . . .	193
236	Horizontabfolge Profil 219 . . . . .	193
237	Mikromorphologie Profil 223, 220–228 cm unter GOK . . . . .	194
238	Mikromorphologie Profil 224, 35–43 cm unter GOK . . . . .	194

239	Mikromorphologie Profil 224, 60–68 cm unter GOK . . . . .	195
240	Mikromorphologie Profil 224, 63–71 cm unter GOK . . . . .	195
241	Toncutan in Grobkies (Profil 223, LPL) . . . . .	195
242	Toncutan in Grobkies (Profil 223, GPL) . . . . .	195
243	Toncutane zwischen Kies (Profil 223, LPL) . . . . .	196
244	Toncutane zwischen Kies (Profil 223, GPL) . . . . .	196
245	Toncutane zwischen Kies (Profil 223, Schräglicht) . . . . .	196
246	Toncutane zwischen Kies (Profil 223, $\lambda$ +GPL) . . . . .	196
247	Reliktische Bodenbildung und Umlagerung im M (Profil 224, 35–43 cm LPL)	196
248	Reliktische Bodenbildung und Umlagerung im M (Profil 224, 35–43 cm GPL)	196
249	Toneintrag in Grobboden (Profil 224, 35–43 cm, LPL) . . . . .	197
250	Toneintrag in Grobboden (Profil 224, 35–43 cm, GPL) . . . . .	197
251	Fragmentierte Toncutane (Profil 224, 60–68 cm, LPL) . . . . .	197
252	Fragmentierte Toncutane (Profil 224, 60–68 cm, GPL) . . . . .	197
253	Calcitkruste an der Unterseite von Kies (Profil 224, 60–68 cm unter GOK, LPL) . . . . .	197
254	Calcitkruste an der Unterseite von Kies (Profil 224, 60–68 cm unter GOK, GPL) . . . . .	197
255	Morphologie der Calcitanreicherung (Profil 224, Calcitkruste, LPL) . . . . .	198
256	Morphologie der Calcitanreicherung (Profil 224, Calcitkruste, GPL) . . . . .	198
257	Verkittete Intraklasten (Profil 224, Calcitkruste, LPL) . . . . .	198
258	Verkittete Intraklasten (Profil 224, Calcitkruste, GPL) . . . . .	198
259	Morphologie des sekundären Calcits (Profil 224, Calcitkruste, LPL) . . . . .	199
260	Morphologie des sekundären Calcits (Profil 224, Calcitkruste, GPL) . . . . .	199
261	Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 4 (s. a. Beilage 1) . . . . .	201
262	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 8 (s. a. Beilage 1) . . . . .	202
263	Horizontabfolge Profil 214 . . . . .	203
264	Laborergebnisse Profil 214 . . . . .	204
265	Übersicht Mikromorphologie Profil 214, 27–35 cm unter GOK . . . . .	206
266	Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214, LPL) . . . . .	206
267	Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214, GPL) . . . . .	206
268	Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214, $\lambda$ +GPL) . . . . .	206
269	Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 214, LPL) . . . . .	207
270	Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 214, GPL) . . . . .	207
271	Biogene Kristallisation (Profil 214, LPL) . . . . .	207
272	Biogene Kristallisation (Profil 214, GPL) . . . . .	207
273	Phytolith aus Calciumoxalat in der Wurzelrinde (Profil 214, GPL) . . . . .	207

274	Phytolith aus Calciumoxalat in der Wurzelrinde (Profil 214, Phasenkontrast).	207
275	Horizontabfolge Profil 215 . . . . .	208
276	Laborergebnisse Profil 215 . . . . .	209
277	Horizontabfolge Profil 170 . . . . .	210
278	Laborergebnisse Profil 170 . . . . .	211
279	Horizontabfolge Profil 172 . . . . .	212
280	Laborergebnisse Profil 172 . . . . .	212
281	Horizontabfolge Profil 171 . . . . .	213
282	Laborergebnisse Profil 171 . . . . .	214
283	Situmetrie des Grobbodens Profil 171, 33–80 cm unter GOK . . . . .	214
284	Laborergebnisse Profil 173 . . . . .	216
285	Horizontabfolge Profil 173 . . . . .	217
286	Übersicht Mikromorphologie Profil 173, 14–22 cm unter GOK . . . . .	217
287	Intraklasten aus Sandstein eingebettet in lehmiger Matrix (Profil 173, 14–22 cm, LPL) . . . . .	219
288	Intraklasten aus Sandstein eingebettet in lehmiger Matrix (Profil 173, 14–22 cm, GPL) . . . . .	219
289	Sandsteinfragment (Profil 173, 14–22 cm, LPL) . . . . .	219
290	Sandsteinfragment (Profil 173, 14–22 cm, GPL) . . . . .	219
291	Rezente Toncutane an der GOK zugewandten Seite der Poren (Profil 173, 14–22 cm, LPL) . . . . .	220
292	Rezente Toncutane an der GOK-zugewandten Seite der Poren (Profil 173, 14–22 cm, GPL) . . . . .	220
293	Laborergebnisse Profil 175 . . . . .	221
294	Horizontabfolge Profil 175 . . . . .	223
295	Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 0–8 cm unter GOK . . . . .	223
296	Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 8–16 cm unter GOK . . . . .	224
297	Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 55–63 cm unter GOK . . . . .	224
298	Biogene Calciumanreicherung im Oberboden (Profil 175, 0–8 cm, LPL) . . . . .	225
299	Verbraunung in der Matrix und Tonverlagerung (Profil 175, 8–16 cm, LPL) . . . . .	225
300	Verbraunung in der Matrix und Tonverlagerung (Profil 175, 8–16 cm, GPL) . . . . .	225
301	Biogene Calciumanreicherung im Al-Bv (Profil 175, 8–16 cm, LPL) . . . . .	225
302	Biogene Calciumanreicherung im Al-Bv (Profil 175, 8–16 cm, GPL) . . . . .	226
303	Variationen der Kristallmorphologie von Calciumoxalat (Profil 175, 8–16 cm, GPL) . . . . .	226
304	Calcit ausfällungen an der Unterseite von Grobboden und im Porenraum (Profil 175, 55–63 cm, LPL) . . . . .	226

305	Calcitausfällungen an der Unterseite von Grobboden und im Porenraum (Profil 175, 55–63 cm, GPL) . . . . .	226
306	Verkittung des Feinbodens (Profil 175, 55–63 cm, LPL) . . . . .	226
307	Verkittung des Feinbodens (Profil 175, 55–63 cm, GPL) . . . . .	226
308	Brücken aus nadelförmigem Calcit (Profil 175, 55–63 cm, LPL) . . . . .	227
309	Brücken aus nadelförmigem Calcit (Profil 175, 55–63 cm, GPL) . . . . .	227
310	Situmetrie des Grobbodens Profil 175: 20–46 cm unter GOK . . . . .	227
311	Situmetrie des Grobbodens Profil 175: 46–80 cm unter GOK . . . . .	228
312	Horizontabfolge Profil 174 . . . . .	229
313	Laborergebnisse Profil 174 . . . . .	229
314	Übersicht Mikromorphologie Profil 174, 4–12 cm unter GOK . . . . .	232
315	Übersicht Mikromorphologie Profil 174, 14–22 cm unter GOK . . . . .	232
316	Toneintrag in Kies (Profil 174, 4–12 cm, LPL) . . . . .	233
317	Toneintrag in Kies (Profil 174, 4–12 cm, GPL) . . . . .	233
318	Intraklasten einer früheren Bodenbildung (Profil 174, 4–12 cm, LPL.) . . . .	233
319	Intraklasten einer früheren Bodenbildung (Profil 174, 4–12 cm, GPL) . . . .	233
320	Rezente Pedogenese (Profil 174, 4–12 cm, LPL) . . . . .	233
321	Rezente Pedogenese (Profil 174, 4–12 cm, GPL) . . . . .	233
322	Reliktische und rezente Merkmale (Profil 174, 4–12 cm, LPL) . . . . .	234
323	Reliktische und rezente Merkmale (Profil 174, 4–12 cm, GPL) . . . . .	234
324	Sedimenteintrag im Btv (Profil 174, 14–22 cm, LPL) . . . . .	234
325	Sedimenteintrag im Btv (Profil 174, 14–22 cm, GPL) . . . . .	234
326	Biogene Calciumanreicherung im Bvt (Profil 174, 14–22 cm, LPL) . . . . .	234
327	Biogene Calciumanreicherung im Bvt (Profil 174, 14–22 cm, GPL) . . . . .	234
328	Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 5 (s. a. Beilage 1) . . . . .	236
329	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 9 (s. a. Beilage 1) . . . . .	237
330	Horizontabfolge Profil 178 . . . . .	238
331	Verkittung der grobbodenreichen Basislage im II elCck, 3 m südlich von Profil 178 . . . . .	238
332	Horizontabfolge Profil 177 . . . . .	239
333	Horizontabfolge Profil 199 . . . . .	240
334	Laborergebnisse Profil 199 . . . . .	241
335	Horizontabfolge Profil 208 . . . . .	242
336	Laborergebnisse Profil 208 . . . . .	242
337	Profil 209 in dem von Runsen zerschnittenen Hangfuß . . . . .	244
338	Aufschluss Profil 209 . . . . .	244

339	Von Buchsbestand fixierte Reste eines 4 dm mächtigen skelettreichen Sediments über dem anstehenden Mergel . . . . .	246
340	Von Baumwurzeln fixierter Rest einer 1,2 m mächtigen Basislage . . . . .	246
341	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 10 (s. a. Beilage 1) . . . . .	246
342	Horizontabfolge Profil 128 . . . . .	247
343	Horizontabfolge Profil 129 . . . . .	247
344	Horizontabfolge Profil 111 . . . . .	248
345	Laborergebnisse Profil 111 . . . . .	249
346	Horizontabfolge Profil 110 . . . . .	250
347	Laborergebnisse Profil 110 . . . . .	251
348	Situmetrie des Grobbodens Profil 110. . . . .	252
349	Horizontabfolge Profil 119 . . . . .	252
350	Situmetrie des Grobbodens Profil 119 . . . . .	253
351	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 11 (s. a. Beilage 1) . . . . .	257
352	Horizontabfolge Profil 126 . . . . .	258
353	Horizontabfolge Profil 125 . . . . .	259
354	Profil 125, Calcitkrusten mit Kiesanhaftungen an der Unterseite von Steinen aus dem II elCc . . . . .	259
355	Horizontabfolge Profil 101 . . . . .	260
356	Laborergebnisse Profil 101 . . . . .	261
357	Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 5–13 cm unter GOK . . . . .	264
358	Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 60–68 cm unter GOK . . . . .	264
359	Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 78–86 cm unter GOK . . . . .	264
360	Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 132–140 cm unter GOK . . . . .	264
361	Intensive Verbraunung und schwache Lessivierung (Profil 101, 5–13 cm, LPL)	265
362	Intensive Verbraunung und schwache Lessivierung (Profil 101, 5–13 cm, GPL)	265
363	Stabilisierung reliktscher Poren mittels Eiseneintrags (Profil 101, 60–68 cm, LPL) . . . . .	265
364	Stabilisierung reliktscher Poren mittels Eiseneintrags (Profil 101, 60–68 cm, GPL) . . . . .	265
365	Umgelagerte Pedorelikte (Profil 101, 60–68 cm, LPL) . . . . .	265
366	Umgelagerte Pedorelikte (Profil 101, 60–68 cm, GPL) . . . . .	265
367	Rezente Überprägung der Pedorelikte (Profil 101, 78–86 cm, LPL) . . . . .	266
368	Rezente Überprägung der Pedorelikte (Profil 101, 78–86 cm, GPL) . . . . .	266
369	Biogene Calcitumlagerung aus der Matrix in den Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, LPL) . . . . .	266

370	Biogene Calcitumlagerung aus der Matrix in den Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, GPL) . . . . .	266
371	Calcit ausfällung auf polygenetischen Toncutanen (Profil 101, 132–140 cm, LPL) . . . . .	266
372	Calcit ausfällung auf polygenetischen Toncutanen (Profil 101, 132–140 cm, GPL) . . . . .	266
373	Radial-nadelige Kristallisation auf dünnem Toncutan (Profil 101, 132–140 cm, GPL) . . . . .	267
374	Matrix aus mikritischem Calcit mit radial-nadeliger Kristallisation im Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, GPL) . . . . .	267
375	Horizontabfolge Profil 100, 0–170 cm unter GOK . . . . .	268
376	Horizontabfolge an der Basis von Profil 100 . . . . .	268
377	Laborergebnisse Profil 100 . . . . .	269
378	Horizontabfolge Profil 127. . . . .	269
379	Laborergebnisse Profil 127 . . . . .	270
380	Horizontabfolge Profil 117 . . . . .	272
381	Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden in Profil 117 . . . . .	272
382	Laborergebnisse Profil 117 . . . . .	272
383	Übersicht Mikromorphologie Profil 117, 19–27 cm unter GOK. . . . .	274
384	Übersicht Mikromorphologie Profil 117, 34–42 cm unter GOK . . . . .	274
385	Pedorelikte in Profil 117, 19–27 cm, LPL . . . . .	275
386	Pedorelikte in Profil 117, 19–27 cm, GPL . . . . .	275
387	Toneinspülung im Pedorelikt (Profil 117, 19–27 cm, LPL) . . . . .	275
388	Toneinspülung im Pedorelikt (Profil 117, 19–27 cm, GPL) . . . . .	275
389	Toneinspülung in Lösungspore von Kies (Profil 117, 19–27 cm, LPL) . . . . .	276
390	Toneinspülung in Lösungspore von Kies (Profil 117, 19–27 cm, GPL) . . . . .	276
391	Schwach ausgeprägte Toneinspülung im Btv (Profil 117, 34–42 cm, LPL) . . . . .	276
392	Schwach ausgeprägte Toneinspülung im Btv (Profil 117, 34–42 cm, GPL) . . . . .	276
393	Pilzmycel in Lösungsporen (Profil 117, 34–42 cm, LPL) . . . . .	276
394	Pilzmycel in Lösungsporen (Profil 117, 34–42 cm, GPL) . . . . .	276
395	Horizontabfolge Profil 123 . . . . .	277
396	Laborergebnisse Profil 123 . . . . .	278
397	Aufschluss an der Kante der Terrasse mit Profil 230 . . . . .	278
398	Horizontabfolge Profil 230 . . . . .	279
399	Laborergebnisse Profil 230 . . . . .	280
400	Profil 230: Lösskindl aus dem II eCkc . . . . .	281
401	Profil 230: Teilweise hohler Lösskindl aus dem II eCkc . . . . .	281

402	Übersicht Mikromorphologie Profil 230, II elCkc, 63–71 cm unter GOK . . .	281
403	Übersicht Mikromorphologie Profil 230, II elCkc, 108–116 cm unter GOK . .	281
404	Calcit ausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, LPL) . . . . .	282
405	Calcit ausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, GPL) . . . . .	282
406	Calcit ausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, LPL) . . . . .	282
407	Calcit ausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, GPL) . . . . .	282
408	Tonverlagerung in carbonathaltigem Bodenmilieu (Profil 230, 108–116 cm, LPL) . . . . .	282
409	Tonverlagerung in carbonathaltigem Bodenmilieu (Profil 230, 108–116 cm, GPL) . . . . .	282
410	Schluffeintrag und Calcit ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, LPL) . . . . .	283
411	Schluffeintrag und Calcit ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, GPL) . . . . .	283
412	Polygenetisches Cutan mit Calcit ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, LPL) . .	283
413	Polygenetisches Cutan mit Calcit ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, GPL) .	283
414	Laborergebnisse Profil 210 . . . . .	285
415	Horizontabfolge Profil 210 . . . . .	286
416	Übersicht Mikromorphologie Profil 210, 40–48 cm unter GOK . . . . .	286
417	Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, LPL) . . . . .	286
418	Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, GPL) . . . . .	286
419	Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, LPL) . . . . .	287
420	Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, GPL) . . . . .	287
421	Pedorelikte als Hinweis auf Umlagerungsvorgänge (Profil 210, LPL) . . . . .	287
422	Pedorelikte als Hinweis auf Umlagerungsvorgänge (Profil 210, GPL) . . . . .	287
423	Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 12 (s. a. Beilage 1) . . . . .	289
424	Horizontabfolge Profil 108 . . . . .	290
425	Laborergebnisse Profil 108 . . . . .	291
426	Horizontabfolge Profil 107 . . . . .	291
427	Laborergebnisse Profil 107 . . . . .	292
428	Horizontabfolge Profil 106 . . . . .	292
429	Horizontabfolge Profil 135 . . . . .	293
430	Horizontabfolge Profil 121 . . . . .	294
431	Horizontabfolge Profil 122 . . . . .	295
432	Horizontabfolge Profil 138 . . . . .	295

433	Horizontabfolge Profil 207 . . . . .	296
434	Horizontabfolge Profil 176 . . . . .	298
435	Übersicht Mikromorphologie Profil 176, 33-41 cm unter GOK . . . . .	298
436	Profil 176: Toncutane an Grobboden . . . . .	299
437	Profil 176: Toncutan an Bodenaggregat . . . . .	299
438	Laborergebnisse Profil 176 . . . . .	299
439	Toncutane und Schluffutane (Profil 176, LPL) . . . . .	300
440	Toncutane und Schluffutane (Profil 176, GPL) . . . . .	300
441	Schluffhauben (Profil 176, LPL) . . . . .	300
442	Schluffhauben (Profil 176, LPL) . . . . .	300
443	Ton- und Schluffeintrag in den Vesikeln (Profil 176, LPL) . . . . .	300
444	Ton- und Schluffeintrag in den Vesikeln (Profil 176, GPL) . . . . .	300
445	Horizontabfolge Profil 232 . . . . .	301
446	Übersicht Mikromorphologie Profil 232, 55–63 cm unter GOK . . . . .	301
447	Laborergebnisse Profil 232 . . . . .	302
448	Periglazialmerkmale und Lessivierung (Profil 232, LPL) . . . . .	304
449	Periglazialmerkmale und Lessivierung (Profil 232, GPL) . . . . .	304
450	Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 232, LPL) . . . . .	304
451	Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 232, GPL) . . . . .	304
452	Mehrphasige Lessivierung (Profil 232, LPL) . . . . .	305
453	Mehrphasige Lessivierung (Profil 232, GPL) . . . . .	305
454	Chronologische Einordnung der Befunde in die Landschaftsentwicklung (s. a. Tab. 2 und Beilage 2) . . . . .	328

# Tabellenverzeichnis

1	Differenzierung der pedogenen Eisenverbindungen (verändert nach Schwertmann, 1991) . . . . .	33
2	OSL-Alter . . . . .	95
3	Verteilung der Eisenoxide in den Profilen 231, 194 und 217. . . . .	321

## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsprojekts *Post-LGM-zeitliche Landschaftsentwicklung und Pedogenese in den Aragonesischen Pyrenäen* (DFG RA 931/3-1 und 931/3-2). Die Forschungsarbeiten wurden in mehreren mehrmonatigen Geländeaufenthalten in den spanischen Zentralpyrenäen, vor allem im Gállego- und Aragón-Tal durchgeführt, wobei insgesamt 133 Bodenprofile aufgenommen und über 60 Profile laboranalytisch untersucht wurden. Die ausführlichen bodenkundlichen Aufnahmen und Laboranalysen der relevanten Profile wurden in dieser Arbeit bewusst im Ergebnisteil belassen, da nur die Kombination aus sedimentologischen und bodenkundlichen Befunden eine zuverlässige Identifikation der Sedimentfazies und Pedogenese ermöglicht. Eine Zusammenfassung der wichtigsten feldbodenkundlichen und laboranalytischen Aussagen ist den jeweiligen Profilen vorangestellt. Zur Erleichterung der Durchsicht sind die bodenkundlich-sedimentologischen (Beilage 1) und die chronologischen Befunde (Beilage 2) als Supplemente beigefügt.

Die vorliegende Arbeit war Teil meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der *Professur Geopedologie und Landschaftsentwicklung* der *Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg*. Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Thomas Raab, der mich als Betreuer dieser Arbeit herzlichst begleitet hat, sich für konstruktive Gespräche stets Zeit nahm und meine wissenschaftliche Entwicklung mittels internationaler Tagungsteilnahmen und Fortbildungskurse ermöglicht hat. Meinen Kollegen an der *Professur Geopedologie und Landschaftsentwicklung*, der *Professur Bodenschutz und Rekultivierung* und dem *Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften* danke ich für die Diskussionen und die angenehme Atmosphäre.

Für die Unterstützung während der langen und entbehrungsreichen Geländeaufenthalte möchte ich mich allen voran bei Stefan Schuhart, Ricarda Endler und Scarlett Fischer bedanken. Daneben danke ich Sebastian Heller, Florian Fochmann, Bosse Ritschl, Katrin Scholz und Bastian Pötzsch für die Unterstützung im Labor und Alexander Bonhage für die Unterstützung beim Drucksatz. Den Mitarbeitern des Labors des Lehrstuhls Bodenschutz und Rekultivierung Gabi Franke, Regina Müller, Anita Maletzki und Helga Köller danke ich für die laboranalytische Bewältigung des nicht enden wollenden Probenaufkommens.

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Dr. Jörg Völkel, Extraordinarius für *Geomorphologie und Bodenkunde* an der *Technischen Universität München*, für die Durchführung der Röntgendiffraktometrie und Prof. Dr. Andrew Murray vom *Nordic Laboratory for Luminescence Dating* in Roskilde für die Datierungen mittels optisch stimulierter Lumineszenz. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die Förderung des Forschungsprojekts.

Meiner Frau Gao Ya und meiner Tochter Asta Si danke ich herzlichst für das Vertrauen und den Rückhalt, und ich widme Euch diese Arbeit.



# 1 Einführung und Zielsetzung

## 1.1 Problemstellung

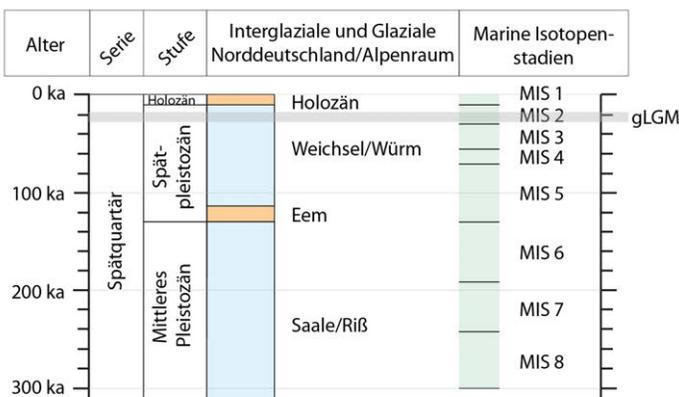
Die kausale und zeitliche Rekonstruktion der Landschaftsentwicklung unter Differenzierung der meist dynamischen, wechselwirkenden und oft nicht exklusiven Prozesse ist für das Verständnis und die Bewertung des aktuellen Landschaftsgefüges und dessen zukünftigen Wandels unabdingbar. Die Landschaften in Europa haben ihre maßgebliche Prägung mit den wechselnden Glazialen und Interglazialen während des Quartärs erfahren, wobei die südliche Grenze des Permafrostes während der Maximalphase der letzten Kaltzeit bis in den nördlichen Mittelmeerraum reichte (Vandenberghé et al., 2014). Das Skandinavische und das Britische Eisschild sind zu dieser Zeit weit nach Süden vorgedrungen und die Gletscher in den Pyrenäen und Alpen reichten bis in das Vorland hinein (Calvet et al., 2011; Ehlers et al., 2011; Fiebig et al., 2011; Gibbard & Clark, 2011). An die für das Mittelpleistozän dokumentierten großflächigsten Gletscherstände in Europa reichten die nachfolgenden Gletschervorstöße im Spätpleistozän nicht heran (Funder et al., 2011; Roskosch et al., 2015). Die Landschaftsentwicklung während der Glaziale ist in den vergletscherten Bereichen direkt von den Eismassen der Gletscher und in den angrenzenden, nicht vergletscherten Gebieten von periglazialen Prozessen geprägt. In den Warmzeiten unterliegen die Landschaften keineswegs einer morphodynamischen Ruhe, das im Vergleich zu den Kaltzeiten deutlich wärmere und i. d. R. auch feuchtere Klima sowie die stabilisierend wirkende Vegetationsbedeckung bedingen aber eine Dominanz biogener und pedogener Prozesse. Mit dem im Laufe des Holozäns immer intensiver werdenden anthropogenen Einfluss wird das komplexe Wirkungsgefüge der Landschaftsentwicklung um eine weitere Komponente ergänzt.

Durch Untersuchungen an marinen, glazialen und terrestrischen Archiven sind global bezüglich Ausmaß und Chronologie zumindest bis zum Beginn des Mittelpleistozäns vor 740 ka acht Glazialzyklen in groben Zügen bekannt (Augustin et al., 2004), doch zeigen sich beim regionalen Vergleich deutliche Abweichungen in Ausmaß und Chronologie der Vereisungen. Neben den kontrovers diskutierten Ursachen der Glaziale und dem Einfluss lokaler Faktoren (Paillard, 2015) sind methodisch bedingte Fehler bei der interdisziplinären Interpretation und Kombination der verschiedenen Archive noch offene Fragestellungen hinsichtlich der Rekonstruktion einer im globalen Maßstab schlüssigen Landschaftsentwicklung des Quartärs.

## 1.2 Hintergrund

Bereits für das letzte Glazial zeigen sich mehrdeutige Ergebnisse hinsichtlich der Chronologie der maximalen Vereisungen, die von einigen Autoren als Hinweis auf eine generelle Asynchronität zwischen den Vereisungen der Eisschilde und der Gebirgsvergletscherungen interpretiert werden (Thackray et al., 2008). Das *letzte glaziale Maximum* (LGM) wird in der Glaziologie verstanden als das maximale Volumen an Wasser, das dem globalen Wasserhaushalt in Form von Gletschereis auf den Landmassen entzogen wurde (Mix et al., 2001). Vor allem in der Geomorphologie wird der entlehnte Begriff LGM für die maximale räumliche Ausbreitung der Gletscher verwendet, wobei diese und die Niedrigstände des Meeresspiegels nicht unbedingt zeitlich koinzidieren müssen (Clark et al., 2009). Zur Differenzierung zwischen dem maximalen Volumen der Gletscher und ihrer maximalen Ausbreitung wird das mit den Tiefständen des Meeresspiegels einhergehende maximale Volumen der Gletscher als *global Last Glacial Maximum* (gLGM; Ono et al., 2004) definiert, während die zum Tiefstand des Meeresspiegels unabhängige maximale Ausbreitung der Gletscher als *local Last Glacial Maximum* (lLGM; Klein et al., 1999) bezeichnet wird. Das gLGM mit einer Differenz des Meeresspiegels zum heutigen Niveau von 120 m ist auf 26,5 ka bis 19 ka datiert (Abb. 1; Peltier & Fairbanks, 2006; Clark et al., 2009).

Hinsichtlich der Chronologie der maximalen Ausbreitung der Gletschervorstöße ergibt sich global betrachtet ein heterogenes Bild (Clark et al., 2009; Hughes et al., 2013). Der Laurentidische Eisschild hatte im *marinen Isotopenstadium* 4 (MIS 4) bereits eine ähnliche räumliche Ausbreitung wie im späteren MIS 2, während dessen das Eisvolumen aber größer als im MIS 4 war (Dyke et al., 2002; Stokes et al., 2012). Im Nordwesten Grönlands



**Abbildung 1:** MIS nach Lisiecki und Raymo (2005), Eem nach Dahl-Jensen et al. (2013), gLGM nach Clark et al. (2009), Holozän nach Walker et al. (2009), Bezeichnung der Glaziale und Interglaziale nach Litt et al. (2007) und Habbe et al. (2007)

wird das ILGM bereits um 60 ka erreicht, hingegen liegt der Maximalstand der Gletscher in den anderen Teilen Grönlands im gLGM (Funder et al., 2011). Die maximalen Ausdehnungen des Britisch-Irischen Eisschildes und des Skandinavischen Eisschildes waren synchron zum gLGM (Sejrup et al., 2000; Ballantyne, 2010; Graham et al., 2011; Everest et al., 2013), die Ausbreitungen im MIS 4 reichten nicht an die maximalen Gletscherstände im gLGM heran, wobei der Britisch-Irische Eisschild und der Skandinavische Eisschild im Nordseebecken während MIS 4 und MIS 2 konfluent waren (Carr et al., 2006). Der Skandinavische Eisschild variiert deutlich im Ostseeraum gegen Ende des gLGM, was auf die Dynamik des Baltischen und des Skandinavischen Gletscherstroms zurückgeführt wird (Heine et al., 2009; Houmark-Nielsen, 2011; Rinterknecht et al., 2012). Für die maximale räumliche Ausbreitung des Britisch-Irischen und des Skandinavischen Eisschildes im gLGM ist ebenfalls zu erwarten, dass die maximalen Glazialstände zum gLGM nicht alle zeitgleich erreicht wurden (Ballantyne, 2010; Böse et al., 2012).

In der Antarktis nehmen die Gletscher nach dem Eem ab 80 ka markant zu und die maximale Gletscherausbreitung wird um 15 ka erreicht (Huybrechts, 2002), wobei die Gletschervorstöße in der Westantarktis deutlich ausgeprägter sind als in der östlichen und zentralen Antarktis (Anderson et al., 2002). Die spätpleistozänen Vereisungen in Südamerika verliefen in den humiden Teilen der Anden synchron zum gLGM, in den ariden Bereichen der Anden erreichten die Gletscher die maximale Ausbreitung bereits im MIS 3 (Zech et al., 2008). Während des MIS 2 blieben die Gletschervorstöße in den ariden Anden hinter den MIS-3-zeitlichen Gletscherständen. Ebenso werden MIS-4- bzw. MIS-3-zeitliche Maximalstände mit einem erneuten, aber meist schwächer ausgeprägten Vorstoß im MIS 2, unter anderem aus der westlichen Mongolei (Rother et al., 2014), Sibirien (Sheinkman, 2011), Neuseeland (McCarthy et al., 2008), Taiwan (Hebenstreit et al., 2011) und Japan (Sawagaki & Aoki, 2011) beschrieben.

Die Gletscher in den Europäischen Alpen erreichten die maximale Ausbreitung synchron zum gLGM, frühere Glazialvorstöße im MIS 4 in den westlichen Alpen reichten nicht an die Ausbreitung der alpidischen Gletscher des gLGM heran (Ivy-Ochs et al., 2008). Untersuchungen zu den spätpleistozänen Vergletscherungen im Mittelmeerraum zeigen, dass bis auf die Vergletscherung der Alpen die Gletschervorstöße im Vergleich zum gLGM einige 1000 Jahre bis mehrere 10 000 Jahre früher stattfanden. Die maximale räumliche Ausdehnung der spätpleistozänen Gletscher ist meist für das MIS 4 oder MIS 3 belegt und war damit asynchron zum gLGM (Hughes & Woodward, 2008). In Italien wurde in den Apenninen die maximale Gletscherausbreitung bereits um 28 ka erreicht, bis 22 ka erfolgten mehrere erneute Vorstöße, die aber nicht an den Maximalstand von 28 ka heranreichten (Giraudi, 2012). Zwischen 49 ka und 35 ka kam es in den Apenninen bereits zu Gletschervorstößen, deren maximale Ausbreitung aber nicht gesichert ist. Auf der hinsichtlich der Glazialchronologie bisher nur spärlich untersuchten Balkanhalbinsel fanden im Spätplei-

stozän Gletschervorstöße vor allem während des MIS 2 statt (Woodward et al., 2008; Bavec & Verbič, 2011; Hughes et al., 2011b). Das Ausmaß und die Chronologie der Vereisungen werden aber kontrovers diskutiert (Hughes et al., 2011b; Djurovič, 2012; Hughes et al., 2012). Im Südwesten der Türkei waren die Gletschervorstöße um 35 ka schwächer ausgeprägt als während erneuter Gletschervorstöße um 22 ka, deren Maximalstand sich synchron zum gLGM einstellte (Sarıkaya et al., 2014; Çiner et al., 2015). Akçar et al. (2014) finden ebenfalls Hinweise auf MIS-3- oder MIS-4-zeitliche Gletschervorstöße in der Türkei, die ausgeprägtesten Vorstöße fanden in der Türkei aber während des gLGM statt. Spätpleistozäne Gletschervorstöße sind im Atlas auf 76 ka, 24 ka und 12 ka datiert, wobei der Vorstoß um 76 ka etwas weiträumiger als die jüngeren Vorstöße war (Hughes et al., 2011a). In den Pyrenäen weisen die bisherigen Untersuchungen zu den spätpleistozänen Vergletscherungen innerhalb des Gebirgszugs auf ein heterogenes Bild (Calvet et al., 2011). Einige Autoren favorisieren eine zum gLGM asynchrone Vereisung im Spätpleistozän mit maximalen Gletscherständen während MIS 4 und MIS 3 vor allem in den spanischen Zentralpyrenäen (García-Ruiz et al., 2003; Jiménez-Sánchez et al., 2013). Dagegen weisen mehrere Studien in den östlichen Pyrenäen auf eine Synchronität zum gLGM, bei der die spätpleistozäne maximale Gletscher- ausbreitung während MIS 2 erreicht wurde (Pallàs et al., 2006; Delmas et al., 2008; Palacios et al., 2015b).

Bei einer globalen Ursachenbetrachtung des Ausmaßes und der Chronologie der spätpleistozänen Vergletscherungen zeichnet sich derzeit noch kein eindeutiges Muster ab (Thackray et al., 2008). Während Gillespie & Molnar (1995) für reliefbedingte Vergletscherungen ein früheres Erreichen der Maximalstände als für reliefunabhängige Vergletscherungen vorgeschlagen haben, belegen jüngere Studien, dass sich die reliefunabhängigen Vergletscherungen ebenfalls uneinheitlich verhalten haben (Hughes et al., 2013). Als Ursache für die Asynchronität der Gletschervorstöße werden einerseits klimatische Gründe angeführt (Zech et al., 2008; Sheinkman, 2011). Zum anderen können methodisch bedingte Fehler bei der Datierung von Sedimenten (Pallàs et al., 2006; Fuchs & Owen, 2008) und nur eingeschränkt miteinander vergleichbare Datierungsmethoden (Houmark-Nielsen et al., 2012) bei einigen Studien nicht ausgeschlossen werden. Des Weiteren werden bei glazialen Vorstößen nicht unbedingt eindeutige Formen und Sedimente gebildet bzw. können die glazialen Sedimente auch postsedimentär überprägt werden und damit zu Fehlinterpretationen führen. Zwar ist die Vergleichbarkeit spätholozäner Gletschervorstöße mit den spätpleistozänen Gletschervorstößen hinsichtlich der klimatischen Ursachen nur bedingt gegeben, dendrochronologische Untersuchungen zeigen in Kombination mit anderen Absolutdatierungen und gestützt von archivarischen Aufzeichnungen aber, dass spätholozäne Gletscherschwankungen zeitgleich in den Westalpen, Ostalpen und in Nordwestamerika stattgefunden haben (Le Roy et al., 2015).

### 1.3 Zielsetzung

Die entlang der Pyrenäen teilweise deutlich voneinander abweichenden Datierungen der spätpleistozänen Gletschervorstöße zum gLGM erfordern eine Überprüfung der bestehenden Chronologie mithilfe eines neuen, polymethodischen und interdisziplinären Ansatzes. Ziel der Arbeit ist die Darstellung der spätpleistozänen Landschaftsentwicklung im Sinne einer Pedochronosequenz in einer glazialmorphologischen Typusregion der Zentralpyrenäen (Penck, 1884), deren ILGM im MIS 3 bzw. MIS 4 nach bisherigem Kenntnisstand asynchron zum gLGM war und im MIS 2 keinen Gletschervorstoß in das ILGM-zeitliche Zehrgebiet erfahren hat (García-Ruiz et al., 2003; Jiménez-Moreno et al., 2013). Der Forschungsansatz kombiniert sedimentologische, geomorphologische und bodenkundliche Verfahren, um Sedimentfazies zu identifizieren und zu differenzieren. Darauf aufbauend soll die post-LGM-zeitliche Pedogenese dargestellt werden, wobei die aufgrund der dynamischen Landschaftsentwicklung im Spätquartär meist polygenetische Prägung der Sedimente und Böden besonders zu berücksichtigen ist (Kühn, 2003a; Raab et al., 2007; Lorz et al., 2013). Des Weiteren soll geklärt werden, ob im Spätpleistozän eine periglaziale Prägung oder Überprägung der Sedimente in Form solifluidaler Prozesse oder äolischen Eintrags stattgefunden hat, die zumindest in Mitteleuropa maßgeblich für die postsedimentäre Boden- und Landschaftsentwicklung verantwortlich ist (Raab et al., 2007; Müller & Thiemeyer, 2012). Ferner ist zu prüfen, inwieweit anthropogene Eingriffe eine Rolle gespielt haben, da Bodenerosion und Akkumulation von Kolluvien seit dem Neolithikum typische Prozesse der Landschaftsentwicklung sind (Reiß et al., 2009; Dreibrodt & Wiethold, 2015; Kramer & Bittmann, 2015).

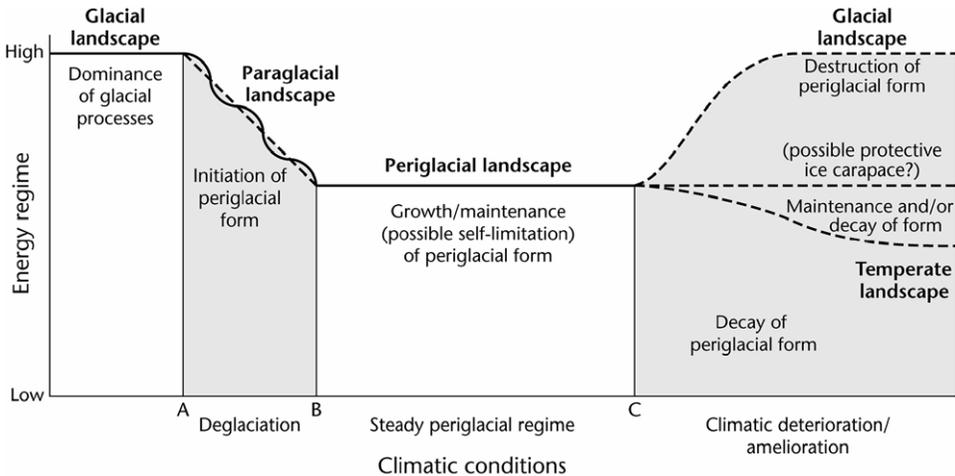
## 2 Prozesse der glazialen und interglazialen Landschaftsentwicklung im Spätquartär

### 2.1 Geomorphodynamik im Spätquartär

Die pleistozänen Kaltzeiten waren geomorphodynamische Aktivitätsphasen, welche maßgeblich das Relief und die Sedimentologie in Europa geformt haben. Spätpleistozäne Vergletscherungen prägten in Europa mit dem Skandinavischen Eisschild (Graham et al., 2011), dem Britischen Eisschild (Gibbard & Clark, 2011; Lee et al., 2011), der alpidischen Vereisung (Fiebig et al., 2011) und den lokalen Vereisungen der Mittelgebirge unter anderem im Bayerischen Wald (Raab & Völkel, 2003), den Vogesen (Flagellot, 1988), dem Schwarzwald (Rahm, 1987), dem Harz (Hövermann, 1987) und dem Zentralmassiv (Etlicher & De Goer De Herve, 1988) entweder direkt aufgrund der glazialen Dynamik oder indirekt im Periglazialraum die Landschaftsentwicklung.

#### 2.1.1 Glaziale und paraglaziale Landschaftsentwicklung

Die Glaziallandschaft wird einerseits von subglazialer Erosion der Festgesteine mittels Detersion und Detraktion geformt. Zum anderen entstehen nach dem supra-, intra- und subglazialen Transport meist allochthone glaziale Sedimente und Formen. In der vorliegenden Arbeit wird für die glazialen Sedimente der international gebräuchliche Begriff *till* verwendet, für die glazialen Formen der Begriff Moräne (Piotrowski, 1992). *Till* ist i. d. R. diamiktisch, d. h., das Substrat ist meist schlecht sortiert und enthält sowohl Grob- als auch Feinboden. Der *till* besteht oft aus allochthonem Substrat und ist ungeschichtet und kompakt. Die von der INQUA-Kommission erarbeitete Klassifizierung glazialer Sedimente (Dreimanis, 1989) nach Ablagerungsart bzw. Ablagerungsmilieu in *lodgement till*, *deformation till*, *melt-out till*, *gravity flow-till* bzw. postsedimentär überprägten *secondary till* ist aufgrund der diversen glazialen Formungsprozesse teilweise schwierig anwendbar und spätere Ergänzungen der diagnostischen Kriterien mitunter ambivalent (Bennett et al., 1999). Jüngere mikromorphologische Untersuchungen zeigen, dass *lodgement tills* meist maßgeblich von den



**Abbildung 2:** Glaziale, paraglaziale und periglaziale Formung (aus Slaymaker 2011, Seite 89)

definitionsgemäß den *melt-out tills* zugeordneten Deformationsprozessen geprägt sind, die durch hohe Porenwasserdrücke entstehen, und demnach eine Untergliederung subglazialer Sedimente nicht statthaft ist (van der Meer et al., 2003; Menzies et al., 2006). Eine Differenzierung der *tills* nach Ablagerungsort in subglazial und supraglazial ist mittels morphologischer und situmetrischer Untersuchungen des Skeletts unter Berücksichtigung eventueller postsedimentärer paraglazialer oder periglazialer Überprägung möglich und der Klassifizierung nach Ablagerungsmilieu vorzuziehen (Benn & Ballantyne, 1993; Benn & Ballantyne, 1994; Larsen & Piotrowski, 2003; Lukas et al., 2013). In subglazialen *tills* ist der Grobboden in Bewegungsrichtung des Gletschers orientiert, da es beim Fließen des Gletschers über die wassergesättigte Basis zu einer Scherung in der basalen Transportzone kommt (Menzies et al., 2006). Diese subglaziale Einregelung der Längsachsen des Grobbodens konnte im Laborversuch belegt werden (Hooyer & Iverson, 2000). Das Skelett der Seitenmoränen ist bei einer subglazialen Prägung ebenfalls in Fließrichtung des Gletschers eingeregelt, eine Orientierung des Skeletts orthogonal zur Fließrichtung und damit in Hangrichtung weist dagegen auf eine paraglaziale (Ballantyne & Benn, 1994) oder periglaziale Überprägung (Mills, 1977). Im Kulminationsbereich der Seitenmoränen ist bei einer supraglazialen Anlieferung das Skelett aufgrund gravitativer Verlagerung oft orthogonal zur Fließrichtung des Gletschers eingeregelt (Mills, 1977; Osborn, 1978; Small, 1983).

Mit dem Abschmelzen der Gletscher sind die vormals vergletscherten Glazialformen paraglazialen Bedingungen ausgesetzt (Slaymaker, 2011), auf die meist periglaziale Prozesse folgen (Abb. 2). Paraglaziale Bedingungen werden durch das Abschmelzen des Gletschers erreicht, wobei die Landschaft aufgrund des Abschmelzens des Gletschereises Widerhalt

einbüßt und mit den Schmelzwassern, einer fehlenden Vegetation und den oft instabilen Formen anfällig für Verlagerungsprozesse wird (McColl, 2012). Die oft kurze Paraglazi-  
alphase wird meist von periglazialen Bedingungen abgelöst, die beim Einsetzen von Perma-  
frost stabilisierend auf die Landschaft wirken können, allerdings mit im Tages- bzw. Jah-  
resrhythmus wirkenden periglazialen Prozessen ebenfalls landschaftsprägend sind.

### 2.1.2 Periglaziale Landschaftsentwicklung

Die periglaziale Prägung der Landschaften während des Pleistozäns beschränkt sich nicht  
alleine auf die unvergletscherten Bereiche. Auch die mit dem Abschmelzen der Gletscher  
vormals glazial geprägten Gebiete mit paraglazialer Formung sind potenziell durch Frost-  
oder Permafrost beeinflusst (French, 2000). Die Vegetationsbedeckung ist in periglazialen  
Landschaften meist nur spärlich und begünstigt somit die äolische Dynamik. Im nordeuro-  
päischen Tiefland, eine Typusregion für die periglaziale Landschaftsentwicklung während  
des Pleistozäns, weisen Decksande mit Steinpflastern auf periglaziale Umweltbedingungen  
im Spätpleistozän und vor allem während und infolge an das gLGM (Kasse, 2002; Hirsch et  
al., 2015). Im Südwesten Frankreichs deuten Dünen und Decksande auf vergleichbare peri-  
glaziale Bedingungen wie im nordeuropäischen Tiefland; Datierungen an Holzkohlen bele-  
gen ein ähnliches Alter der Decksandgenese wie im nordeuropäischen Tiefland (Bertran et  
al., 2009). Während in Südfrankreich die Sande vor allem aus Westen vom Küstenbereich  
mit dem während des gLGM abgesenkten Meeresspiegels in das nördliche Pyrenäenvor-  
land antransportiert wurden, sind entlang der glazial gespeisten Flüsse im nördlichen Py-  
renäenvorland gLGM-zeitliche Löss sedimentiert (Hubschman, 1975; Bertran et al., 2011).  
Allerdings erreichen diese Löss nicht die Mächtigkeiten der Löss in Mittel- und Osteu-  
ropa entlang der von den alpidischen und skandinavischen Vereisungen gespeisten Flüsse  
(Haase et al., 2007).

Löss ist wie der Decksand ein periglaziales Sediment, das aufgrund der Textur eine äo-  
lische Verlagerung erfahren hat (Smalley et al., 2011). Während Pécsi (1990) „typischen“  
Löss als äolisch transportiertes, poröses, ungeschichtetes und carbonathaltiges Lockerse-  
diment mit einem hohen Grobschluffanteil definiert, zeigen Untersuchungen von Smalley  
et al. (2011), dass eine einfachere Definition von Löss, wie ähnlich bereits vorgeschlagen von  
Pye (1987), geeigneter ist, um Löss zu charakterisieren: „[loess] is a deposits of wind-blown  
dust“ (Smalley et al., 2011, Seite 10). Bereits die Forderung eines Carbonatgehalts schränkt  
die Anwendbarkeit der Lössdefinition von Pécsi (1990) massiv ein, da der Transport von  
Calciumcarbonaten in der Korngrößenfraktion von Löss nur bei kalkhaltigen Gesteinen  
im Herkunftsgebiet des Löss gegeben ist (Adamson et al., 2014). Die Differenzierung ver-  
schiedener Lössvarianten nach Textur in typischer Löss, Derasionslöss, Tonlöss und Sand-  
löss (Pécsi & Richter, 1996) zeigt die möglichen Korngrößenzusammensetzungen des Löss

und die damit verbundene Problematik einer Definition von Löss anhand der Korngröße. Der in Löss dominierende Quarz in Schluffgröße ist das Ergebnis glazialer Verwitterung, bei der Sand zu Schluff zermahlen wird (Smalley et al., 2014). Laborversuche mit experimentellem Zermahlen von Quarzsand zeigen, dass Schluff mit einer Textur von 10 µm bis 20 µm gebildet wird, wobei nicht alleine die Kraft beim Zermahlen, sondern auch kristalline Defekte einen Einfluss auf die entstehende Korngröße haben (Langroudi et al., 2014). Der glazigen gebildete Schluff wird über die glazialen Schmelzwasser vom Gletscher wegtransportiert und kann bei Niedrigwasser von den Flussterrassen ausgeblasen werden (Smalley et al., 2014). Der äolische Transport von Körnern mit einem Durchmesser von mehr als 20 µm erreicht bei normalen Windgeschwindigkeiten meistens nicht mehr als 30 km (Pye, 1995). Aufgrund der Vegetationsarmut in periglazialen Landschaften ist eine wiederholte Remobilisierung und damit Verlagerung über größere Distanzen zu erwarten (Smalley et al., 2011). Maus & Stahr (1977) konnten am Rhein zeigen, dass die Transportreichweite der Lössverwehung von der Niederterrasse des Rheins bereits nach einem Kilometer Distanz markant abnimmt. In einer Entfernung von 20 km zur Niederterrasse war kein Löss mehr vom Rhein antransportiert worden und eine lokale Komponente dominierte. In Periglazialgebieten unterliegen Lössse somit meist einer ständigen Remobilisierung (van Loon, 2006), solange nicht Vegetation oder biogene Krusten äolisch antransportiertes Substrat fixieren (Green & Broady, 2003; Smalley et al., 2011; Fischer et al., 2013). Warm-aride Gebiete wie die Sahara und die Arabische Halbinsel, die als Herkunftsort für den Löss im östlichen Mittelmeerraum betrachtet werden (Ben Israel et al., 2015), werden immer noch kontrovers als Zwischenlager für (glazigenen) Löss (Smalley et al., 2014) oder als eine *in situ*-Bildung mittels intensiver Verwitterung diskutiert (Nahon & Trompette, 1982; Tsoar & Pye, 1987). Die in Lössen häufig vorgefundenen Tonanteile (Fink, 1973; Dare-Edwards, 1984; Hesse & McTainsh, 2003) sind vor allem bei hohen Anteilen an Quarz nicht unbedingt ein Verwitterungsprodukt, sondern der Verlagerung miteinander aggregierter Tonpartikel oder Schluffpartikel als Pseudoschluff bzw. Pseudosand geschuldet. Die Aggregation erfolgt mittels Wasserfilmen, Salzen (Pye, 1987) oder aufgrund von Gefrietrocknung (Lewkowicz, 1998). Anhaftungen von Ton und Schluff an Sandkörnern, die während des Transports nicht zerstört wurden, konnten mikromorphologisch auch in Decksanden in Nordpolen beobachtet werden (Hirsch et al., 2015).

Die Auswirkungen von Frost auf Böden oder Sedimente ist, solange es sich um ein offenes System handelt, nicht primär der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren zu Eis geschuldet. Frostsprengung oder Frosthub werden meist im Zusammenhang mit Segregationseis durch Kryosuktion verursacht (Hallet et al., 1991; Hallet, 2006; Murton et al., 2006). Da Kapillarkräfte dem Gefrieren von Wasser teilweise entgegenwirken, ist in lehmigen Böden die Unterkühlung von Wasser unterhalb des Gefrierpunkts möglich, sodass bei

Temperaturen bis zu  $-12^{\circ}\text{C}$  in Böden noch flüssiges Wasser vorhanden ist (Boike, 1997). Das trotz der Gefronnis noch flüssige Kapillarswasser wandert aufgrund der Saugspannung zur Gefrierfront. Des Weiteren führt die gasförmige Verlagerung von Wasser an die Gefrierfront zur Zunahme des Segregationseises (Williams & Smith, 1991). Aufgrund des höheren Anteils an Mittel- und Feinporen haben schluffreiche Böden eine wesentlich höhere Frostsuszeptibilität und damit mehr Segregationseis als sandiger Boden (Huijzer, 1993). In tonreichen Böden ist der Anteil ungefrorenen Wassers bei  $0^{\circ}\text{C}$  zwar größer als in schluffreichen Böden, aufgrund der kleineren Poren ist die Verlagerung des Wassers aber nur bedingt möglich (Williams & Smith, 1991).

Mikromorphologische Untersuchungen, die teilweise von Laborversuchen gestützt sind, an rezent von periglazialen Bedingungen geprägten Böden zeigen, dass periglaziale Prozesse in Böden oft eindeutige diagnostische Merkmale erzeugen, die als Relikte eine spätere Pedogenese überdauern können (van Vliet-Lanoë, 1985). Eislinsen entstehen in Böden mit hohen Anteilen an Schluff und den damit verbundenen höheren Kapillarkräften, wobei ein platteres Gefüge gebildet wird (Huijzer, 1993). Eislinsen sind senkrecht zur Forstrichtung orientiert, in Kombination mit Schrumpfrissen ergibt sich ein polygonales Rissmuster (Czeratzki, 1956). In skelettführenden Substraten verursacht die höhere Wärmeleitfähigkeit von Steinen gegenüber der porenreichen Feinbodenmatrix die Entstehung von Eislinsen an der Unterseite des Grobbodens, was bei mehreren Frostzyklen zu Frosthub und einer Vertikalstellung führen kann (Kaplar, 1965).

Frostzyklen führen in Böden zu einer Stabilisierung der Aggregate. Der Druck der Eiskristalle beim Gefrieren auf Bodenaggregate (Czeratzki, 1956) und die Kryosuktion (van Vliet-Lanoë, 1985) verdichten und verfestigen die Aggregate. In periglazial geprägten, oberflächennahen Substraten finden sich häufig runde Intraklasten, in der Mikromorphologie als *nodules* bezeichnete Aggregate, die aufgrund wiederholter Frosteinwirkung in porenreichen Substraten *in situ* entstehen (Pawluk, 1988). Die Bedeutung von Kryosuktion und Frostsuszeptibilität für die Bildung runder *nodules* aus tonig-lehmigen Substraten konnte im Laborversuch belegt werden (Pawluk, 1988). *Nodules* können beim Wechsel von Gefrieren und Tauen an Schichtgrenzen durch Auspressung (*flame structure*) aus tonigem Substrat entstehen (Harris et al., 2000). Für periglaziale Sedimente beschreibt Stephan (1996) von ihm als „Mosaikgefüge“ bezeichnete nestartige Konzentrationen von Quarzkörnern in Feinsand- und Grobschluffgröße, die ohne direkten Kontakt der Quarzkörner in einer tonigen Matrix eingebettet sind. *Nodules* mit ähnlichen Merkmalen werden für periglaziale Sedimente in Russland beschrieben (Koniscev et al., 1973). Aufgrund der Stabilität der mittels Frostzyklen gebildeten *nodules* werden diese bei einer kolluvialen Verlagerung nicht unbedingt zerstört (Fox & Protz, 1981; Smith et al., 1991). In den periglazialen Deckschichten wurden unter anderem in der Mittelalage *nodules* einer früheren Bodenbildung

beschrieben (von Buch, 1969; Felix-Henningsen et al., 1991; Müller & Thiemeyer, 2012). Bei einer solifluidalen oder kolluvialen Verlagerung führen eventuelle Rotationsbewegungen ebenfalls zu einer Abrundung der Aggregate (van Vliet-Lanoë, 1982).

In periglazialen Sedimenten oder Böden können mikromorphologisch häufig runde Poren vorgefunden werden. Diese als Vesikel bezeichneten ovalen bis länglichen Poren mit glatten Rändern (Stoops, 2003) sind aber kein diagnostisches Merkmal für kalt-aride Klimate (Bunting, 1977; Bockheim, 2010), da Vesikel auch in warm-ariden Klimaten entstehen können (Mücher & De Ploey, 1984; Yonovitz & Drohan, 2009). Die Vesikel bilden sich bei der Trocknung der Aggregate und einer darauffolgenden Wiederbefeuchtung, die zu einem Entweichen der Bodenluft aus der Bodenmatrix und damit zur Entstehung von Poren führt (van Vliet-Lanoë, 1985). Vesikel formen sich vor allem oberflächennah (Dietze et al., 2012), können unter periglazialen Bedingungen aber auch an der Untergrenze des *active layers* gebildet werden (van Vliet-Lanoë, 1985). Da Vesikel bei jeder stärkeren Durchfeuchtungsphase gebildet werden, ist ihre Entstehungszeit kurz, in einem initialen Oberboden wurden bereits unter nicht periglazialen Bedingungen nach drei Jahren ausgeprägte Vesikel gefunden (Badorreck et al., 2013). Laborversuche mit der Simulierung von Frostzyklen des rezenten Klimas der südlichen Alpen zeigen, dass Vesikel auch unter dem derzeitigen Klima im Winter entstehen können (Coutard & Mücher, 1985).

Die in skelettführenden Substraten häufig mikromorphologisch vorgefundenen Schluffhauben werden ebenfalls meist mit periglazialen Bedingungen assoziiert. Schluffhauben entstehen einerseits mittels Frostsorrtierung, bei der grobes Material nach oben zur Gefrierfront verlagert wird und feines Material nach unten wandert und sich dabei auf der Oberseite des größeren Materials ansammelt (van Vliet-Lanoë, 1982). Diese Frostsorrtierung konnte in Laborversuchen belegt werden (Corte, 1966), ist aber nicht zwingend diagnostisch für eine periglaziale Prägung. Schluff kann in porenreichen Substraten ebenfalls mit dem Sickerwasser bei ausreichendem Porendurchmesser und Konnektivität der Poren verlagert werden und Schluffkappen bilden (Frenot et al., 1995), was ebenfalls in Laborversuchen nachgestellt werden konnte (Locke, 1986) und auch als Ursache für die nicht periglazialen Schluffhauben in Basislagen gilt (Völkel, 1994).

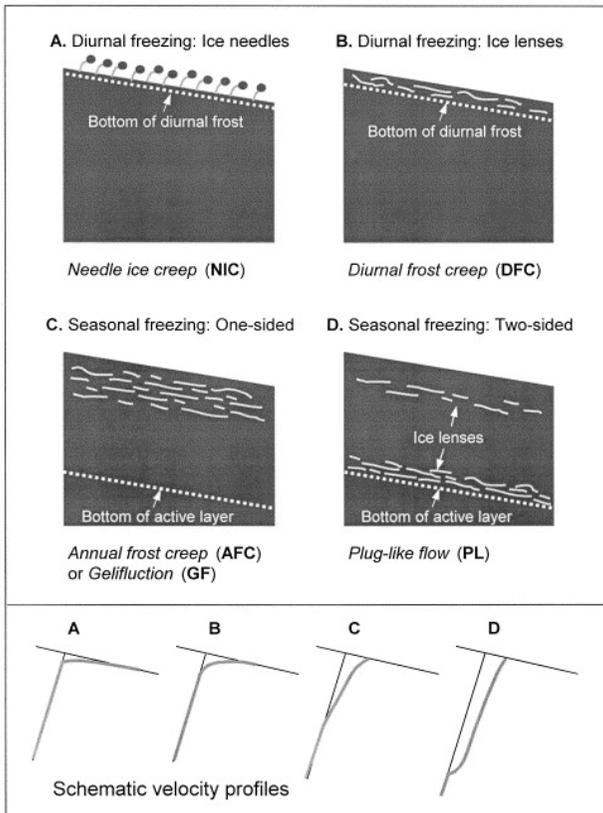
### **2.1.3 Solifluktion und periglaziale Deckschichten**

Die solifluidale Verlagerung wird im Folgenden im Sinne der *amorphen Solifluktion* nach Semmel (1985) behandelt und schließt die meist nicht auf Periglazialgebiete beschränkten Blockströme oder *stratified slope deposits* aus (Bertran & Texier, 1999; van Steijn et al., 2002), wobei Solifluktion ebenfalls nicht auf Periglazialgebiete beschränkt ist. Solifluktion kann prozessual in Frostkriechen und Durchtränkungsfließen untergliedert werden

(Jaesche, 1999; Matsuoka, 2001). Während die Verlagerung des Frostkriechens durch Kamm- eis und Frostlinsen aufgrund der Frostwechsel mit den Tageswechseln im Jahresverlauf potenziell häufig ist (Abb. 3), sind die damit verbundenen Massenverlagerungen aufgrund von Wassermangel über das Jahr hinweg gegenüber dem Durchtränkungsfließen meist nur gering (Matsuoka & Hirakawa, 2000). Da Durchtränkungsfließen meist von Frostkriechen begleitet wird und die Differenzierung der beiden Prozesse in reliktschen Sedimenten oft nur schwerlich möglich ist, wird in der vorliegenden Arbeit bevorzugt der übergeordnete Begriff Solifluktion verwendet. Solifluktion bzw. Durchtränkungsfließen ist die elasto- plastische hangabwärtige Substratbewegung, die ausgelöst wird, wenn bei positivem Poren- wasserdruck die Fließgrenze überschritten wird (Harris et al., 2003). Das Erreichen der Fließgrenze wird einerseits induziert mittels einer stauend wirkenden Barriere im Unter- grund in Form von Permafrost oder einem sedimentologischen Wechsel und andererseits durch Vorhandensein bzw. Zufuhr großer Wassermengen, beispielsweise bei Schneeschmel- ze. Schneebedeckung beeinflusst neben der Wasserzufuhr bei der Schneeschmelze maßgeb- lich die Solifluktion aufgrund der isolierenden Wirkung des Schnees, der ein Gefrieren des *active layers* verzögern und damit die Bedingungen für Solifluktion aufrechterhalten kann (Jaesche et al., 2003). Des Weiteren stellt der Feinbodenanteil einen wichtigen Faktor zur Solifluktion dar, wobei sich ein hoher Schluffanteil und der damit verbundene hohe Po- renanteil, positiv auf die Frostsuszeptibilität auswirken (Furrer, 1972; Furrer & Bachmann, 1972). Hohe Schluff- und Tongehalte im Feinboden ermöglichen auch die Verlagerung von Großblöcken mittels Solifluktion, da die Großblöcke aufgrund der nur geringen Dichte- unterschiede und der Kohäsion des wasserreichen Sediments aufschwimmen (Rodine & Johnson, 1976).

Beim Vorhandensein einer sedimentologischen Barriere ist Permafrost keine zwingende Voraussetzung für Solifluktion und kann bei einem geringmächtigen *active layer* aufgrund des Frierens sogar hinderlich wirken (Benedict, 1976). Während bei kontinuierlichem Per- mafrost zwei Gefrierfronten auftreten (Abb. 3), dringt bei degradierendem Permafrost oder einer stauend wirkenden sedimentologischen Barriere bei Frosteinwirkung nur eine Ge- frierfront von der Geländeoberkante (GOK) in den Boden ein (Matsuoka, 2001).

Bei nur einer Gefrierfront beginnt die Bildung von Segregationseis direkt unterhalb der GOK und dringt erst bei stärkerem Frost oder einer geringen Isolationsschicht tief in den Boden ein. Das Tauen erfolgt von der GOK ausgehend zur Tiefe hin und aufgrund der wasserstauenden Wirkung des darunterliegenden, noch gefrorenen Bodens und des ho- hen Wasseranteils nimmt die Verlagerungsdynamik mit der Tiefe ab (Kern-Luetsch & Harris, 2008). Eine verstärkte Solifluktion ist bei degradierendem Permafrost mittels einer hohen Schneedecke möglich, wenn aufgrund der isolierenden Wirkung des Schnees der *active layer* während des Winters erhalten bleibt (Zhou et al., 2014). Bei kontinuierlichem



**Abbildung 3:** Varianten der Solifluktion und vertikale Verlagerungsdynamik (aus: Matsuoka, 2001, S. 109); A: Frostkriechen mittels Nadeleis, B: Frostkriechen mittels Eislinsen, C: Solifluktion bzw. „Durchtränkungsfließen“ bei einer Gefrierfront über Permafrost oder einer sedimentologischen Barriere, D: pflugartige Solifluktion bei zwei Gefrierfronten

Permafrost ist die Solifluktion pflugartig (Abb. 3), wobei die Verlagerungsdistanzen größer sind als bei der Solifluktion mit einer Gefrierfront (Kern-Luetschg & Harris, 2008). Ursache ist die sogenannte *transition zone* an der Permafrosttafel, die im gefrorenen Zustand besonders viele Eislinsen aus Segregationseis enthält und im getauten Zustand aufgrund der hohen Wasseranteile als Gleitebene wirkt (Shur et al., 2005). Hohe Feinbodenanteile in der *transition zone* fördern die Bildung von Eislinsen und damit die pflugartige Solifluktion (Matsuoka & Hirakawa, 2000).

Sowohl der Grobboden als auch der Feinboden sind in solifluidal geprägten Sedimenten oft von einer hangparallelen Ausrichtung der Längsachsen gekennzeichnet (Harris & Ellis, 1980). Die Einregelung erfolgt durch die von Scherung verursachte kollektive Bewegung des Sediments und ist oft dachziegelartig (Nelson, 1985; Bertran et al., 1997). Aufgrund der Längsachsenorientierung des Grobbodens in Hangrichtung lassen sich solifluidale von fluvialen Sedimenten unterscheiden, da Letztere zwar auch durch eine dachziegelartige Lagerung charakterisiert die Längsachsen aber orthogonal zur Transportrichtung orientiert sind

(Furrer & Bachmann, 1968; Stäblein, 1970). Situmetrische Untersuchungen und statistische Auswertungen mittels Eigenvektoren zur Prüfung und Übertragung der Befunde (Benn, 2004) zeigen, dass das Skelett in rezenten solifluidalen Sedimenten eine sehr einheitliche Streichrichtung und Fallrichtung hat (Isotropie-Indizes von 0,2 bis 0,17 und Elongations-Indizes von 0,48 bis 0,86 (Bertran et al., 1997)). Nur im Frontbereich von Solifluktionsloben ist das Skelett meist schwächer eingeregelt. Smith (1956) beschreibt in solifluidal geprägten Sedimenten auf Spitzbergen eine hangparallele Einregelung der Längsachsen von Grobboden, wobei die Einfallswinkel kleiner als die rezente Hangneigung sind und sich somit eine dachziegelartige Ausrichtung der Klasten ergibt. Das leichte Kippen wird in reliktschen und rezenten solifluidalen Sedimenten vorgefunden (Ragg & Bibby, 1966; Mills, 1983; Millar & Nelson, 2001a). Eine dachziegelartige Lagerung ist in solifluidalen Sedimenten mit nur einem geringen Feinbodenanteil meist der gegenseitigen Behinderung der Klasten bei der Solifluktion geschuldet (Ildefonse et al., 1992). Des Weiteren kann Frosthub oder Bioturbation die Neigungswinkel des Skeletts postsolifluidal beeinflussen (Millar, 2006) oder in reliktschen Sedimenten auf eine höhere Erosionsbasis weisen (Stolz & Grunert, 2012). Die Morphologie des Skeletts beeinflusst ebenfalls eine potenzielle Einregelung, plattiges Skelett neigt eher zu einer Einregelung (Millar & Nelson, 2001b). Murenähnliche Freilandexperimente an gesättigtem Substrat mit Skelettkomponenten zeigen, dass die Einregelung des Grobbodens parallel zur Fließrichtung bereits innerhalb von 10 m erfolgt (Major, 1998).

Das Konzept der periglazialen Deckschichten bestehend aus Hauptlage, Mittellage und Basislage wurde vor allem in Mitteleuropa in den Mittelgebirgen entwickelt (u. a. Schilling & Wiefel (1962) und Semmel (1964), zusammengefasst in Raab et al. (2007) und Kleber & Terhorst (2013)), weswegen hier die meisten Befunde vorliegen (Semmel & Terhorst, 2010). Inzwischen sind neben Mitteleuropa periglaziale Deckschichten in den Rocky Mountains, den Alpen und in Russland beschrieben (Kleber et al., 2013a).

Soweit die Hauptlage nicht postsedimentär erodiert oder umgelagert wurde, eine meist auf steile Standorte beschränkte, schutthaltige Oberlage fehlt oder ein Kolluvium vorhanden ist, schließt die Hauptlage die Schichtenfolge der periglazialen Deckschichten im Hangenden ab (Raab et al., 2007). Hauptlagen sind in während des Pleistozäns periglazial geprägten Gebieten weit verbreitet und enthalten neben einem markanten Grobbodenanteil eine allochthone äolische Komponente. Des Weiteren hat die Hauptlage eine auffallend konstante Mächtigkeit von  $50 \pm 20$  cm. Die Hauptlagen entstehen unter kaltzeitlichen Bedingungen und sind von Kryoturbation und Lössseintrag geprägt. Ob eine solifluidale Komponente bei der Entstehung der Hauptlagen beteiligt ist, wird kontrovers diskutiert (Kleber et al., 2013b). Das Skelett in Hauptlagen kann eingeregelt sein (Mailänder & Veit, 2001; Stolz & Grunert, 2012), an einigen Standorten ist aber das Skelett in den Hauptlagen nicht eingeregelt (Raab et al., 2007; Leopold et al., 2008), was auf das Fehlen einer solifluidalen Komponente oder

die Dominanz von Kryoturbation oder Bioturbation zurückgeführt wird. Die Hauptlage als jüngstes Glied der Deckschichtenabfolge ist, zumindest für Teile der mitteleuropäischen Mittelgebirge aufgrund der Funde von Hauptlagen unter organischen Sedimenten des Allerød/Bölling, in die Ältere oder Älteste Dryas einzuordnen (Völkel & Leopold, 2001). Nach Huber (2014) sind die Hauptlagen in den Rocky Mountains und im Bayerischen Wald während des gLGM und vor der Jüngeren Dryas entstanden. Hingegen wurden nach Hülle et al. (2009) die Hauptlagen während bzw. nach der Jüngeren Dryas gebildet. Aufgrund der Präsenz von Hauptlagen auf gLGM-zeitlichem *till* ist die Bildung der Hauptlagen grundsätzlich nach dem gLGM möglich (Raab & Völkel, 2003) und die Hauptlagendynamik endet mit den periglazialen Bedingungen (Sauer & Felix-Henningsen, 2006).

Die Mittellage enthält ebenfalls einen äolischen Eintrag und die in den Mittellagen häufig vorgefundenen hohen Anteile an Grus werden auf Frostsprengung zurückgeführt (Völkel, 1995a). Der Grobboden in den Mittellagen kann in Hangrichtung eingeregelt sein (Stolz & Grunert, 2012). Bodenchemische (Völkel, 1995b) und mikromorphologische Untersuchungen (Müller & Thiemeyer, 2012) belegen, dass in Mittellagen Pedorelikte vorhanden sind. Fragmentierte Toncutane und hohe Goethit-/Hämatit-Anteile, die durch ältere Bodenentwicklungen entstanden sind, weisen die Mittellage somit als periglazial umgelagertes Bodensediment aus. Des Weiteren können Mittellagen je nach Lokalität verschiedene sedimentologische Eigenschaften wie Grobbodenanteil und Textur aufweisen, was neben der pedogenen Vorprägung, die variablen Kennzeichen der beschriebenen Mittellagen (siehe Kleber et al., 2006) erklärt. Chronologisch ist die Mittellage in den Rocky Mountains von  $17,9 \pm 1,7$  ka bis  $20 \pm 2$  ka und im Bayerischen Wald von  $23,5 \pm 1,5$  ka und  $47 \pm 7$  ka bis  $95 \pm 5$  ka einzuordnen (Huber, 2014). Im Taunus sind Mittellagen, ebenfalls mittels OSL, zwischen 19 und 23 ka datiert (Hülle et al., 2009).

Die oft mehrschichtigen Basislagen enthalten keine äolischen Beimengungen, sind skelettreich und bestehen aus autochthonem bzw. parautochthonem Substrat (Raab & Völkel, 2003). Basislagen sind in den Periglazialgebieten weit verbreitet und fehlen meist nur an glazial geprägten Standorten, Hauptformungsprozess der Basislagen ist Solifluktion. Die Längsachsen des Skeletts sind in Hangrichtung eingeregelt, saigeres Anstehendes ist verstellt und verschleppt (Sauer & Felix-Henningsen, 2006; Stolz & Grunert, 2012). Auch bei hohen Tongehalten in der Basislage ist eine solifluidale Einregelung möglich (Schilling, 1990). In die Basislagen infiltrierendes Sickerwasser wird aufgrund der Orientierung des Grobbodens als Hangzugswasser verlagert (Raab et al., 2007; Huber, 2014). Von Basislagenkomplexen bedeckte Saprolithe sind trotz der Erosionsanfälligkeit des Saproliths nicht erodiert (Völkel, 1995a), was auf die fixierende Wirkung und die Persistenz des Permafrosts während der Kaltzeiten weist. Nach Felix-Henningsen et al. (1991) sind die Basislagen im Rheinischen Schiefergebirge rißzeitlich oder älter. Im Bayerischen Wald wurden auf

LGM-zeitlichen *tills* nur Mittellagen und Hauptlagen gefunden, die Basislagen fehlen auf den würmzeitlichen *tills* (Raab & Völkel, 2003). OSL-Datierungen an Basislagen im Bayerischen Wald weisen darauf hin, dass ein Großteil der dortigen Basislagen während des Würms aber vor dem LGM zwischen 32 ka bzw. 40 ka bis 80 ka entstanden ist und nur wenige Basislagen rißzeitlich sind (Huber, 2014). Die Zusammenstellung von Kleber et al. (2013b) zeigt, dass in den meisten Studien die Basislagen vor dem gLGM im Würm gebildet wurden.

## **2.2 Pedogenese im Spätquartär**

### **2.2.1 Periglaziale Bodenentwicklung**

Wie Untersuchungen in rezenten Periglazialgebieten nahelegen, war die Bodenentwicklung in Abhängigkeit der Geomorphodynamik im pleistozänen Periglazialraum meist von Humusanreicherung und Podsolierung geprägt (Blume, 2004). Aufgrund der intensiven Geomorphodynamik sind die reliktschen Bodenbildungen oft nicht erhalten geblieben oder von der späteren Bodenentwicklung überprägt bzw. maskiert. Reliktische Böden des spätpleistozänen Periglazialklimas in Mitteleuropa sind der von Podsolierung und Humusanreicherung geprägte *Usselo-Boden* (Kasse et al., 2007) und der *Bryansk-Boden* (Rusakov et al., 2007). Die Sukzession neu sedimentierter bzw. neu geformter Oberflächen mit biogenen Krusten aus Flechten, Moosen, Algen, Cyanobakterien, Bakterien und Pilzen als Initiatoren der Bodenentwicklung ist innerhalb von drei Jahren selbst in extremen Klimaten möglich (Colesie et al., 2014; Xiao et al., 2014). Auch können von Gletschervorstößen bedeckte Moose Jahrhunderte unter Gletschereis konserviert werden und mit dem Abschmelzen der Gletscher die konservierten Pflanzen die Sukzession umgehend initiieren (Roads et al., 2014). Ob neben Humusanreicherung und Podsolierung auch Lessivierung und Verbraunung unter periglazialen Bedingungen profilprägend wirken, wird kontrovers diskutiert. Für die in Mitteleuropa auf periglazial geprägten Substraten entwickelten Fahlerden wird die Verbraunung chronologisch auch teilweise mit periglazialen Bedingungen während des Spätpleistozäns assoziiert (Jäger & Kopp, 2004). Jüngere Studien an Decksanden ergeben jedoch Zweifel an der Theorie der alleinig periglazial bedingten Verbraunung (Hirsch et al., 2015). Lessivierung ist unter periglazialen Bedingungen möglich (van Vliet-Lanoë, 1990; Kühn, 2003a), in den periglazial beeinflussten Böden wird sie aber erst während des Holozäns horizontbildend (Rusakov & Sedov, 2012).

### **2.2.2 Lessivierung**

Die nicht auf die Tonfraktion beschränkte Lessivierung ist die Verlagerung von Kornfraktionen in ungelöster Form, wobei neben einem konnektiven Porenraum mit einem Porendurchmesser von mindestens 20 µm salzfreies Wasser als Transportmedium nötig ist

(Blume, 1964). Experimente mit primärporenreichen sandigen Substraten zeigen, dass die Verlagerung von Schluff möglich ist, Feinschluff wird gegenüber Grobschluff bevorzugt verlagert wird (Wright & Foss, 1968). Die Partikel werden in Suspension verlagert, wobei die Konnektivität von ausreichend großen Poren, die Verfügbarkeit von mobilisierbaren Feststoffen und eine Verlagerbarkeit der Suspension infolge Gravitation oder einem Suktionsgradienten folgend erforderlich ist (Blume, 1964). Bei ausreichender Saugwirkung kann die Suspension auch gegen die Gravitation verlagert werden (Brewer & Haldane, 1957).

Die Mobilisierung der Tonpartikel erfolgt mittels hydraulischer Gradienten in der instationären Phase, d. h. bei der Einstellung des Potenzialgleichgewichts, in der das Wasser in den Poren nicht in eine Richtung fließt, sondern durch die Poren „mäandriert“ (Lessing, 1989). Die Fließgeschwindigkeit in der stationären Phase ist bei der Ablösung der Tonpartikel weniger relevant. Die Sedimentation der Tonpartikel findet in Bereichen mit niedrigen hydraulischen Gradienten statt. Des Weiteren können Tonminerale auch in gefrierendem Wasser aufgrund des nicht gefrierenden Adsorptionswassers vor bzw. mit fortschreitender Gefrierfront verlagert werden (Corte, 1966; Rowell & Dillon, 1972), während gröbere Komponenten wie Schluff und Sand im Eis festfrieren. Zu berücksichtigen ist, dass partikulärer Transport wie Tonverlagerung kein alleiniger pedogener Prozess ist. Toncutane in subglazialen Sedimenten in der Antarktis belegen, dass Pedogenese keine Voraussetzung für Tonverlagerung ist (van der Meer et al., 1993; van der Meer & Menzies, 2011). Bereits die Kombination aus verlagerbarem Material, ein konnektiver Porenraum mit ausreichendem Porendurchmesser und salzfreies Wasser genügen zur Tonverlagerung.

Bei der Tonverlagerung wird vor allem Feinton verlagert, Mittelton und Grobton nur in geringeren Mengen (Kußmaul & Niederbudde, 1979). Schichtsilikate sind meist negativ geladen und können so oberhalb des Ladungsnullpunkts von pH 4 bis pH 7 verlagert werden. Oberhalb von pH 7 wirken Salze, in Böden vor allem Calciumcarbonat, bereits in geringen Konzentrationen koagulierend, unterhalb von pH 4 wirken freie Aluminiumionen koagulierend. Laborversuche belegen, dass Toneintrag in ein carbonathaltiges Sediment möglich ist, allerdings bei carbonathaltigen Bodenlösungen der Ton nicht mobilisiert wird (Goss et al., 1973; Aguilar et al., 1983). Die Existenz rezenter Toncutane in einem calciumcarbonatreichen Horizont weist damit auf den Antransport aus einem nicht carbonathaltigen Horizont (Altemüller & Bailly, 1976). Untersuchungen an Böden in Spanien und Tunesien belegen, dass Tonverlagerung aus entcarbonatisierten Horizonten in liegende und carbonatreiche Sedimente möglich ist bzw. sich ein post-illuvialer Carbonateintrag vollzogen hat (Aguilar et al., 1983; Zielhofer et al., 2009).

Der Salzgehalt der Lösung beeinflusst die Ausprägung der Toncutangenese (Brewer & Haldane, 1957; Keren & Sparks, 1995). Während Lösungen mit höheren Salzgehalten bei der

Flockung mit Kanten-Flächen-Kontakten eine Kartenhausstruktur der Tonmineralplättchen verursachen (Keren & Sparks, 1995), entsteht aus salzarmen Lösungen bei der Flockung eine Anlagerung der Tonminerale an den Kanten, was zu einer bandähnlichen Anordnung führt (Lagaly & Ziesmer, 2003). Des Weiteren begünstigt eine hohe Konzentration von Tonteilchen in der Suspension die Bildung von Tonteilchen über Kanten-Kanten-Kontakte bei der Flockung.

Die Lessivierung hat in Nordeuropa nach van Vliet-Lanoë (1990) im Spätpleistozän stattgefunden und reichte auf einigen Standorten bis in das frühe Holozän. In Norddeutschland fand Tonverlagerung auf Sedimenten der letzten Eiszeit noch im Spätpleistozän vor Beginn der Jüngeren Dryas statt, mit einer weiteren Lessivierungsphase im Holozän (Kühn, 2003a; Kühn, 2003b). Untersuchungen in den während des Pleistozäns unvergletscherten Polargebieten Alaskas belegen, dass eine Lessivierung mit sogenannten *mud coatings* unter kaltzeitlichen Bedingungen möglich ist (Kubiëna, 1970). Während der Schneeschmelze fließt eine feinbodenreiche Suspension über den gefrorenen und sandigen Boden und infiltriert beim Auftauen in den Sand, sodass *mud coatings* die Sandkörner umgeben. Jäger & Kopp (2004) nehmen für die Dauer der Lessivierung in Fahlerden und Parabraunerden auf gLGM-zeitlichen Sedimenten in Mitteleuropa ebenfalls nur einen kurzen Zeitraum nach dem gLGM und vor Beginn des Holozäns an, da eine ausreichende Durchfeuchtung als Transportmedium für die Lessivierung den Autoren zufolge nur mit dem austauenden Permafrost gegeben war. Weitere Studien in Norddeutschland setzen die Lessivierung ebenfalls in das Spätpleistozän, wobei die Tonverlagerung noch vor dem Beginn des Holozäns abgeschlossen sein soll (Kopp & Kowalkowski, 1990). Hoffmann & Blume (1977) dagegen betrachten die Lessivierung im Jungmoränengebiet Norddeutschlands als weitgehend holozänen Prozess.

Toncutane und Intraklasten sind sehr robust und zerbrechen bei Umlagerung nicht (van Vliet-Lanoë, 1985; Smith et al., 1991). In pleistozänen Lössen am Rhein lassen sich mikromorphologisch Toncutanbruchstücke eines reliktschen Eembodens neben rezenten Toncutanen und Ausfällungen von sekundärem Calcit nachweisen (Kühn et al., 2013). Mikromorphologische Untersuchungen an periglazialen Deckschichten im Spessart zeigen, dass die Mittellage fragmentierte Toncutane einer reliktschen Parabraunerde enthält (Müller & Thiemeyer, 2012). Toncutane können aufgrund von Alterung maskiert werden, wobei sich dies mikromorphologisch bei der Abschwächung der Doppelbrechung bei eingeregelter Toncutanen zeigt (Kubiëna, 1986). Die als „Granulierung“ bezeichnete Alterung ist zumindest teilweise das Ergebnis von Verwitterung der Tonminerale innerhalb der Toncutane (Remmelzwaal, 1979). Eine Überprägung der Toncutane mittels Granulierung wird häufig in den rubefizierten Böden des Mittelmeerraums vorgefunden (Fedoroff & Courty, 2013). Die sogenannten „Stresscutane“ oder „*slickensides*“ entstehen in tonigen Böden

mittels Scherung aufgrund wiederholten Quellens und Schrumpfens. Mikromorphologisch können Stresscutane aber von Toncutanen eindeutig unterschieden werden (Stoops, 2003).

### **2.2.3 Bodenentwicklung auf spätquartären Sedimenten im Mittelmeerraum**

Die Bodenentwicklung im Mittelmeerraum ist vom sommertrockenen Klima mit winterlichen Niederschlägen geprägt. Löss ist häufig das Ausgangssubstrat der Bodenentwicklung. Verlehmung, Tonverlagerung, eine oft ausgeprägte Sekundärcarbonatdynamik und Verbraunung bzw. Rubefizierung sind die dominierenden pedogenen Prozesse in mediterranen Böden (Zielhofer et al., 2009; Fedoroff & Courty, 2013).

#### **2.2.3.1 Verbraunung und Rubefizierung**

Die Biota in Böden tragen wesentlich zur Verbraunung aufgrund der Freisetzung organischer Säuren bei, wobei Pilze, Bakterien und Flechten die wichtigsten Komponenten der biogenen Verwitterung und Verbraunung sind (Henderson & Duff, 1963; Strasser et al., 1994; Schultze-Lam et al., 1996; van Breemen et al., 2000; Etienne & Dupont, 2002). Verbraunung ist meist der farbgebende Prozess in Böden, da unverwitterte Tonminerale oft eine graue Farbe haben. Unter aeroben Bedingungen sind Goethit und Hämatit die Produkte der Verwitterung eisenhaltiger Minerale, wobei die Bildung von Hämatit in Böden auch als Rubefizierung bezeichnet wird (Bronger et al., 1984). Hohe Hämatitgehalte verursachen eine Bodenfarbe von 7,5 YR bis 5 YR oder röter, Böden mit einer Farbe von 10 YR oder gelber haben hohe Gehalte an Goethit und sind meist frei von Hämatit (Schwertmann et al., 1982). Ferrihydrit ist ein metastabiles, schlecht kristallines Eisenoxid und bildet eine Vorstufe bei der Entstehung von Goethit und Hämatit. Ferrihydrit entsteht unter aeroben Bedingungen aus Fe(III)-haltigen Lösungen mit organischen Komplexen (Schwertmann et al., 1974), wobei mikrobielle Prozesse maßgeblich beteiligt sind (Fischer & Ottow, 1972; Lovley, 1995).

Hämatit entsteht durch Umkristallisation von Ferrihydrit, wobei trockene Bedingungen die Kristallisation von Hämatit fördern (Torrent et al., 1982). Untersuchungen an Böden in Spanien zeigen, dass im humiden Winter Ferrihydrit gebildet wird und in den trockenen Sommern zu Hämatit umkristallisiert (Torrent & Cabedo, 1986). Des Weiteren fördert eine neutrale Bodenlösung mit pH Werten zwischen pH 7 und pH 8 die Bildung von Hämatit gegenüber Goethit, da die geringste Löslichkeit von Ferrihydrit beim Ladungsnullpunkt bei pH 7 erreicht wird (Schwertmann et al., 1999). Hohe Gehalte an Aluminium und Tonmineralen fördern ebenfalls die Bildung von Hämatit gegenüber Goethit (Schwertmann et al., 2000b; Schwertmann et al., 2000a). Bei einer höheren Aluminiumverfügbarkeit werden anstatt rhomboedrischer eher traubige Hämatitkristalle gebildet (Michalet et al., 1993; Schwertmann et al., 2000b).

Goethit entsteht bei der Oxidation zweiwertigen Eisens, oder, falls organische Verbindungen hemmend wirken (Schwertmann, 1970), über Lösung von Ferrihydrit. Goethit entsteht in Böden eher bei einer sauren Bodenlösung um pH 4 (Kämpf & Schwertmann, 1983).

Neben Ferrihydrit, Goethit und Hämatit kann auf carbonathaltigem Substrat Siderit gebildet werden. Siderit entsteht in Böden mit neutraler oder alkalischer Bodenlösung und kohlendioxidhaltigem Bodenwasser aus zweiwertigem Eisen (van Schuylenborgh, 1973; Brooks, 1988). Abgestorbene organische Substanz in Verbindung mit einer alkalischen Bodenlösung und kurzzeitigen anaeroben Bedingungen und die Abwesenheit von Schwefel fördert die Bildung von Siderit aus zweiwertigem Eisen (Brümmer, 1973; Armenteros, 2010). Unter aeroben Bedingungen wird Siderit zu Goethit bzw. Ferrihydrit oxidiert (Schwertmann et al., 1974; Taylor, 1980). Im Gegensatz zur Oxidation von Pyrit, bei der die Bodenlösung stark in den sauren Bereich schwenkt, ändert sich der pH-Wert der Bodenlösung bei der Oxidation von Siderit kaum (Postma, 1983). Der gelbbraune Siderit ist oft als *hypocoating* in der Matrix ausgefällt (Stoops, 1983) und charakteristisch für die redoximorphen Horizonte in rezenten Gleyen (Landuydt, 1990), kalkhaltigen Pseudogleyen und Niedermoo ren (Schwertmann et al., 1974; McMillan & Schwertmann, 1998).

### **2.2.3.2 Terra Rossa**

Nach der aktuellen deutschen Bodensystematik werden rubefizierte Horizonte nur in ferralitischen Paläoböden oder in der Terra Rossa gesondert ausgewiesen (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Ein Bodentyp Terra Rossa ist in den aktuell international gebräuchlichen Bodenklassifikationen nicht aufgeführt, nach IUSS Working Group WRB (2014) wäre eine Terra Rossa als *chromic Luvisol* bzw. *chromic Cambisol* einzuordnen, nach Soil Survey Staff (1999) in die Klasse der *Rhodoxeralfs*.

Die Kriterien der Terra Rossa in der aktuellen deutschen Bodensystematik orientieren sich heute weiter an den Untersuchungen von Kubiëna (1950), der die Terra Rossa als reliktisches und tonreiches Residualprodukt einer intensiven Verwitterung von Kalkstein mit einer möglichen äolischen Sedimentbeimengung betrachtet. Wärmere Klimabedingungen sollen eine intensive Verwitterung und Rubefizierung gefördert haben, weswegen die Genese der Terra Rossa chronologisch mit dem Paläogen/Neogen (veraltet: Tertiär) assoziiert wurde (Klinge, 1958). Die von Klinge (1958) an Terrae Rossae in Spanien gezogenen Schlüsse konnten bereits widerlegt werden (Skowronek, 1978; Skowronek, 1979), die Terra Rossa in Spanien ist meist nicht vor dem Spätglazial oder Holozän entstanden. Muhs et al. (2010) konnten auf den Balearen zeigen, dass nicht die liegenden Kalksteine das Ausgangsgestein für die Bildung rubefizierter Böden bilden, sondern die Rubefizierung in Löss erfolgt. Somit sind viele der teilweise bis heute als Terra Rossa bezeichneten Böden (vgl. Priori et al., 2008;

Evans & Hartemink, 2014; Lucke et al., 2014) meist alleine aufgrund einer Rubefizierung als Terra Rossa aufgenommen, ohne dass ein residualer Charakter als Resultat einer intensiven Verwitterung von Kalksteinen vorliegt. Hinweise auf frühere Phasen der Rubefizierung finden sich im gesamten Mittelmeerraum, wobei oft Löss das Ausgangssubstrat ist (Alonso et al., 1994; Scarciglia et al., 2006). In den rubefizierten Böden sind oft Hinweise auf eine erosive Profilverkürzung oder eine kolluviale Umlagerung vorhanden (Scarciglia et al., 2006; Sandler et al., 2015). Charakteristische pedogene Merkmale der rubefizierten Böden sind neben der roten Farbe des Feinbodens (7,5 YR oder röter) Ausfällungen von Sekundärcarbonat vor allem an der Basis des rubefizierten Horizonts sowie Lessivierung und Eisen- und Manganausfällungen (Torrent, 1976; Torrent et al., 1983; Boero et al., 1992; Fedoroff, 1997; García Marcos & Santos Frances, 1997; Yaalon, 1997; Fedoroff & Courty, 2013; Zucca et al., 2014). Ravikovitch (1966) führt die Rubefizierung in den Terrae Rossae auf eine aszendente Carbonatverlagerung aus den liegenden primärcarbonathaltigen Substraten zurück, wobei sich die mit dem Eintrag von Carbonaten verursachte Erhöhung des pH-Werts positiv auf die Bildung von Hämatit auswirkt (Schwertmann et al., 1999). Eisen- und Manganausfällungen in rubefizierten Horizonten widersprechen nicht dem sommertrockenen Charakter der rubefizierten Böden, da die Eisen- und Manganoxide meist durch mikrobielle Reduktion unter anaeroben Bedingungen mobilisiert werden (Ottow, 1970; Ottow, 1973), wobei bereits ein sehr kurzer Zeitraum mit Wassersättigung von einem Tag zur Mobilisierung von Eisen und Mangan ausreicht (Veneman et al., 1976).

Rubefizierung ist in Europa nicht an das mediterrane Klima gebunden, sondern auch in Mitteleuropa auf LGM-zeitlichen Sedimenten vorhanden (Moll, 1970; Schwertmann et al., 1982; Hering & Bauriegel, 2005; Jankowski, 2012). Am nördlichen und südlichen Alpenrand beschreibt Moll (1970) auf glazialen Sedimenten eine autochthone und postglaziale Bodenbildung, die von Rubefizierung und teilweise auch von Lessivierung geprägt ist. Der Bodentyp wurde in Ermangelung vorhandener Klassen als „rubefizierte Parabraunerde“ bzw. „rubefizierte Braunerde“ bezeichnet. Im nördlichen Alpenvorland und im südlichen Rheintal sind auf kalkhaltigen fluvialen Sedimenten der letzten Eiszeit Böden mit rubefizierten Horizonten entwickelt (Schwertmann et al., 1982). Die Böden enthalten sowohl Hämatit als auch Goethit, wobei die Anteile an Hämatit im nordwestlichen Alpenvorland höher als im östlichen Alpenvorland sind, was Schwertmann et al. (1982) mit einer Abnahme der Jahresmitteltemperatur assoziieren. Auf spätpleistozänen und glazifluvialen Sedimente im östlichen Jura (Frankreich) beschreibt Bresson (1974) eine rezent noch stattfindende Rubefizierung auf entcarbonatisiertem Substrat. Der Boden ist von Lessivierung geprägt und die Untersuchungen mittels Mikromorphologie und Rasterelektronenmikroskopie (REM) zeigen, dass die Rubefizierung in Form von Auskristallisationen traubigen Hämatits auf den Toncutanen stattfindet. Die Matrix ist im Gegensatz zu den rötlichen Toncutanen

gelb. Die Tonmineralogie der Böden ist dabei von Kaolinit, Illit und Vermikulit geprägt. Auf sandigen Substraten der letzte Eiszeit sind in Dänemark, Nordostdeutschland und Zentralpolen sogenannte „Fuchserden“ oder *Rubic Arensols* beschrieben, deren Bodenentwicklung von Rubefizierung gekennzeichnet ist (Nornberg et al., 2004; Hering & Bauriegel, 2005; Janowski & Kittel, 2012). Die Fuchserden sind in der Bodenlandschaft oft fleckenartig mit einer horizontalen Ausdehnung von etwa 20 m ausgebildet. Die vertikale Mächtigkeit des rotbraunen Horizonts beträgt bis zu 0,5 m, der Feinboden in den Fuchserden ist rotbraun (5 YR bis 7,5 YR). Die Fuchserdengenese ist bisher noch nicht geklärt, eine thermische Umformung von Goethit nach Hämatit allerdings widerlegt (Nornberg et al., 2009). Eine präweichselzeitliche Pedogenese ist aufgrund des spätpleistozänen Alters der Substrate ausgeschlossen.

### **2.2.3.3 Tonmineralogie**

Tonminerale sind in Böden aufgrund der dynamischen und heterogenen Bedingungen oft als Übergangminerale oder Schichtminerale mit regelmäßiger oder unregelmäßiger Wechsellagerungsstruktur vorhanden, wobei die Strukturen oft unvollständig bzw. uneinheitlich ausgeprägt sind (Tributh, 1976; Reynolds, 1980; Velde & Meunier, 2010). Pedogenetische Untersuchungen mittels Tonmineralogie werden erschwert, da Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Lagerstättentonen nur bedingt übertragbar sind. Auch die Differenzierung zwischen lithologischer Vererbung der Tonminerale und *in situ*-Bildung bzw. Umbildung ist problematisch. Bei den in Böden häufig vorkommenden quellfähigen Schichtsilikaten, deren Zwischenschichtkationen austauschbar gegen hydratisierte Kationen sind, wird zwischen Vermikulit mit einer Schichtladung von 0,6 bis 0,9 je Formeleinheit und den Smektiten mit einer Schichtladung von 0,2 bis 0,6 unterschieden, wobei auch Übergangsformen mit den Eigenschaften von Smektiten und Vermikuliten vorkommen können (Walker, 1958; Mosser-Ruck et al., 2005; Guggenheim et al., 2006). Neben den quellfähigen Schichtsilikaten enthalten die Böden im Mittelmeerraum Illite, Chlorite, Übergangminerale, Wechsellagerungsminerale und Kaolinite. Mehrere Studien belegen, dass diese Tonminerale unter pedogenen Bedingungen entstehen können, oft aber auch lithogen vererbt sind (Wilson, 1999).

Die Verlehmung erfolgt in den Böden meist über die Verwitterung von Glimmern, wobei aus dem gegenüber Muskovit weniger verwitterungsresistenten Biotit neben Goethit bzw. Hämatit Illite und quellfähige Schichtsilikate mit einer permanenten Ladung gebildet werden (Banfield & Eggleton, 1988; Boero et al., 1992). Laborexperimente zeigen, dass bei der Verwitterung von Biotit unter aeroben Bedingungen in saurer Lösung (pH 3 und pH 6) Vermikuliten und Wechsellagerungsminerale aus Vermikuliten und Chloriten entstehen, sich unter alkalischen Bedingungen (pH 9,8) dagegen Smektite bilden (Kautz, 1969). Während

pedogener Illit häufig in der Feintonfraktion vorkommt, ist pedogener Vermikulit selten in der Feintonfraktion, sondern meist in der Mittelton- und Grobtonfraktion vorhanden (Bronger et al., 1976). Untersuchungen an Lössprofilen in Norditalien (Terhorst & Ottner, 2003), Zentralitalien (Priori et al., 2008; Costantini et al., 2009), Sizilien (Wagner et al., 2007) und dem Südosten Spaniens (Wagner et al., 2012) zeigen die Präsenz von Illit, Vermikulit, Wechsellagerungsmineralen, Chlorit und Kaolinit, Letzteres vor allem in den liegenden Lössen. In Lössen Marokkos kommt Kaolinit nur in Böden aus dem Jung- und Mittelpleistozän vor (Bronger & Bruhn-Lobin, 1997). Kaolinite entstehen in Böden ausschließlich unter sauren Bedingungen und pedogene Kaolinite sind meist nur in Böden auf älteren Formen zu finden (Wilson, 1999). Kaolinit ist in den als Terra Rossa bezeichneten Böden oft allochthon, da die hohe Kationenverfügbarkeit in den Terrae Rossae eher Illitisierung und Smektitbildung fördert (Singer, 2007; Sandler et al., 2015). Pedogener Kaolinit ist in Gebieten mit gut drainenden Böden und hohen Niederschlägen am häufigsten (Sandler et al., 2015).

Die häufig unter abiotischen Bedingungen betrachtete Bildung bzw. Umwandlung von Tonmineralen (Niederbudde & Fischer, 1980) wird in jüngeren Studien durch eine größere Berücksichtigung einer biogenen Komponente erweitert. Böden mit hohem Anteil an Tonmineralen sind aufgrund der Austauschbarkeit von Kalium durch Pflanzen ein großes Reservoir für Kalium (Tributh, 1976). Einerseits wirkt die Vegetation als Basenpumpe einem Basenaustrag entgegen (Barré et al., 2009), andererseits zeigen Studien, dass bisher als nicht pflanzenverfügbar geltendes Kalium in Dreischichtmineralen doch von einigen Pflanzen aufgenommen werden kann (Barré et al., 2007). Die Kaliumaufnahme von Pflanzen aus Illiten erfolgt durch die Absenkung des Kaliumgehalts der Bodenlösung unter eine kritische Grenze, ab der Kalium aus Illit freigesetzt wird und Illit zu Vermikulit aufweitet (Hinsinger & Jaillard, 1993). Der Austausch gegen Kalium erfolgt über die Abgabe einwertiger oder zweiwertiger Kationen wie Natrium, Calcium oder Magnesium (Rausell-Colom et al., 1965). Mineralogische Untersuchungen an bis zu 80 Jahren agrarwirtschaftlich genutzten Flächen zeigen, dass innerhalb von 30 Jahren die Gehalte an Illit aufgrund pflanzlichen Entzugs von Kalium signifikant abnehmen (Li et al., 2003). Auf carbonathaltigem Substrat führt der pflanzeninduzierte Entzug von Kalium zu einer Abnahme des Illits und einer Zunahme an Smektit (Tributh, 1976) bzw. Vermikulit (Hinsinger & Jaillard, 1993).

#### **2.2.4 Calciumcarbonatdynamik**

Sekundärcarbonat ist sowohl in kalt-ariden (Foley et al., 2006) als auch in warm-ariden Klimaten (Zhou & Chafetz, 2009) in Böden vorhanden. Für warm-aride Klimate wurde lange eine abiogene Ausfällung mittels physikalisch-chemischer Prozesse als maßgeblich

für die Entstehung von Sekundärcarbonat betrachtet (Gile et al., 1966). Mittels Laborversuchen konnte belegt werden, dass in sterilen Bodensäulen unter ariden Bedingungen kein bzw. kaum Sekundärcarbonat ausgefällt wird, im Gegensatz zu mit Mikroorganismen geimpften Säulen, in denen Bakterien und Pilze Sekundärcarbonat ausfällen (Monger et al., 1991). Zwar kann Sekundärcarbonat gemäß Untersuchungen der Kristallform und chemischen Zusammensetzung von Sekundärcarbonat unter abiogenen Bedingungen entstehen, aufgrund des Reichtums an Mikroorganismen in Böden dominieren allerdings biogen oder teilweise biogen induzierte Prozesse bei der Ausfällung von Sekundärcarbonat (zusammengefasst bei Goudie (1996) und Monger (2002)). Aufgrund der immensen Bedeutung des Carbonatgehalts für andere pedogene Prozesse wie Verbraunung und Lessivierung stellt die Calciumcarbonatdynamik für eine paläopedologische Interpretation, vor allem hinsichtlich der biogenen Komponente, einen wichtigen Faktor dar. Des Weiteren ist Calcit ein großer Kohlenstoffspeicher in Böden (Tan et al., 2014) und obwohl pedogener Calcit nur einen geringen Anteil am Substrat der Böden hat, ist die Dynamik sekundärer Carbonate aufgrund der meist sehr geringen Zeit zur Ausfällung pedogener Carbonate hoch (Becze-Deák et al., 1997). Isotopenanalysen am Kohlenstoff von Sekundärcarbonaten belegen, dass der Kohlenstoff pedogener Carbonate aus atmosphärischem Kohlendioxid stammt (Hasinger et al., 2015).

Anhand der Kristallmorphologie und Anordnung der Kristalle können teilweise verschiedene Entstehungsbedingungen differenziert werden. Während die subglaziale Kalkanreicherung und die Entstehung von Kalkkrusten an Steinen mit einer abiotischen Genese assoziiert werden, ist die Genese von nadelförmigem Calcit, Rhizolithen und Calciumoxalat in Böden meist teilweise oder gänzlich biogen. Oft ist eine prozessuale Differenzierung der Genese, wie für die sogenannten Lösskindl, aber auch nicht möglich.

#### **2.2.4.1 Subglaziale bzw. kryogene Kalkanreicherung**

Aufgrund der stark kohlendioxidhaltigen Schmelzwasser kann an der Basis des Gletschers Calcit gelöst und wieder ausgefällt werden (Ford et al., 1970; Page, 1971). Die Lösung des Calcits mit dem kohlen-sauren und durch subglaziale Hindernisse unter Druck stehenden Wasser, die Ausfällung des Calcits beim Gefrieren der calciumhydrogencarbonathaltigen Lösung (Page, 1971; Hallet, 1976). Die Calcitkristalle sind traubig, die einzelnen kugelartigen Ausfällungen haben Durchmesser von 2 µm bis 5 µm (Cilek, 2001).

#### **2.2.4.2 Kalkkrusten an Steinen**

Kalkkrusten an Grobböden sind in carbonathaltigen Böden in kalt-ariden, warm-ariden und semi-humiden Klimaten oft vorhanden (Pustovoytov, 2003). Die Faktoren Klima, Aus-

gangsmaterial, Tiefe unter GOK, Größe des Skeletts und Aufbau der Krusten bestimmen das Wachstum der Krusten, wobei die Krustendicke pro 1000 Jahre um bis zu 1 mm zunehmen kann. Untersuchungen in rezenten Permafrostgebieten in Spitzbergen belegen, dass das Wachstum der Kalkkrusten in kalt-ariden Klimaten möglich ist und von der Unterseite des Grobbodens ausgeht (Forman & Miller, 1984). Nur in warm-ariden Landschaften mit einem Niederschlagsmaximum im Sommer kann die Entwicklung der Kalkkrusten auf die Oberseite des Grobbodens beschränkt sein (Amundson et al., 1997). Kalkkrusten an der Unterseite von Grobboden sind nicht auf carbonathaltige Gesteine beschränkt, wenngleich an carbonathaltigen Steinen meist ausgeprägter (Treadwell-Steitz & McFadden, 2000). Während an der Unterseite des Grobbodens Kalkkrusten ausgefällt werden, ist die Oberseite des Grobbodens oft von Lösungsverwitterung angegriffen.

Das eigentliche Kristallwachstum ist in warm-ariden Klimaten der kontinuierlichen Verdunstung des Wassers bis zur Sättigung und bei anhaltender Verdunstung der Ausfällung von Calcit geschuldet. Hohe Magnesiumanteile in der Bodenlösung oder eine langsame Abnahme der Bodenfeuchte begünstigen ein sparitisches Kristallwachstum bei Calcit (Folk, 1974; Chadwick et al., 1989). Tonminerale und organische Verbindungen hemmen zugunsten von Mikrit das sparitische Kristallwachstum (Wieder & Yaalon, 1974; Chadwick et al., 1989). Des Weiteren sind für das sparitische Wachstum ausreichend Raum im Porenraum und eine kontinuierliche Feuchtigkeitszufuhr nötig (Wieder & Yaalon, 1982; Davies et al., 2009; Rodrigues et al., 2009). Untersuchungen in Marokko aus im Spätquartär umgelagerten Sedimenten zeigen mittels REM-Aufnahmen an Kalkkrusten an der Unterseite von Grobboden einen mehrschichtigen Aufbau aus mikritischen Calcit, pallisadenartigem sparitischem Calcit und von biogener Verwitterung angegriffenen Rhomboedern aus Calcit (Ducloux & Laouina, 1989). Pallisadenartige und miteinander verzahnte sparitische Calcit-säume in Poren wurden in Großbritannien mittels Uran/Thorium datiert und haben meist ein holozänes Alter, sie können somit unter warmzeitlichen Klimabedingungen entstehen (Davies et al., 2009).

Permafrost begünstigt die Bildung von Calcit ausfällungen im *active layer*, da Permafrost einerseits als Wasserstauer wirkt und andererseits bei niedrigen Temperaturen Wasser höhere Gehalte an Kohlendioxid aufnehmen und mehr Calciumcarbonat lösen kann. Die Übersättigung der Lösung mit Calciumhydrogencarbonat beim Gefrieren führt zur Ausfällung von Calciumcarbonat (Swett, 1974). Des Weiteren stellt Permafrost zum *active layer* einen Lösungs- und Temperaturgradienten dar. Kalkkrusten an der Unterseite von Grobboden können auf Permafrost hinweisen (Vogt & Larqué, 2002), sind aber aufgrund der Genese unter warm-ariden Bedingungen (Chadwick et al., 1989) kein eindeutiger diagnostischer Zeiger. Kalkkrusten mit sparitischem Calcit wurden im Ebro-Becken meist nur auf den frühpleistozänen Terrassen gefunden, auf den jüngeren Terrassen ist der Calcit als Mikrit

ausgefällt (Badía et al., 2009). Studien in rezenten Permafrostgebieten wie Spitzbergen zeigen die Existenz pallasadenartigen sparitischen Calcits an der Unterseite von Grobböden. Courty et al. (1994) assoziieren die Genese der Kalkkrusten in Spitzbergen mit besonders kalten und trockenen Klimabedingungen. Im Laborversuch konnte belegt werden, dass Kalkkrusten auch beim Gefrieren einer carbonathaltigen Lösung entstehen können, das Gefrieren zu einer Sättigung der Lösungen führt und Calcit ausfällt (Adolphe, 1972). Die Experimente zeigten, dass bei jedem neuen Gefriervorhang ein neuer Kristall auf den darunter befindlichen Kristallen aufwächst. An der Spitze des Sparits sind oft Eisenoxide oder organische Substanz angereichert (Adolphe, 1972; Courty et al., 1994). Beim Gefrieren verursacht Kryosuktion den Antransport kalkhaltiger Lösungen und Frosthub schafft erst die nötigen Hohlräume an der Unterseite der Steine für Auskristallisation von Calciumcarbonat (Vogt & Corte, 1996).

#### **2.2.4.3 Lösskindl, Wurzeln mit Rhizolithen und calcified root cells**

Lösskindl entstehen als kontinuierlich wachsendes Hypocoating, das die Matrix infiltriert und verkittet (Barta, 2011). Oft entstehen Lösskindl um biogene Makroporen oder um mineralische Kondensationskeime und in der verkitteten Matrix der Lösskindl sind oft Wurzelreste eingeschlossen.

Pflanzen lagern Calciumionen in der Wurzelrinde als Protonenausgleich zur Nährstoffaufnahme ein (McConnaughey & Whelan, 1997). Rhizolithe und *calcified root cells* sind das Resultat einer biogen induzierten Kalkausfällung. Rhizolithe entstehen durch die von Wurzeln verursachte Suktion carbonathaltiger Bodenlösung, die durch den Wasserentzug von der Wurzel aufgesättigt wird, sodass schließlich Mikrit als Hypocoating in der Matrix ausfällt (Wieder & Yaalon, 1982). *Calcified root cells* entstehen bei der Einlagerung von Calcium in den Vakuolen der Wurzelrinde. Das Calcium wird als Calciumcarbonat ausgefällt und die Kristalle haben die Form der Vakuole (Jaillard et al., 1991). Untersuchungen zum Einfluss des Wurzelwachstums auf die initiale Bodenentwicklung in einem künstlich angelegten Ökosystem zeigen, dass auf einem primärcarbonathaltigen Substrat mit einer schwach alkalischen Bodenlösung im Vergleich zu unbewachsenen Flächen bei Pflanzenbewuchs wasserlösliche Calciumverbindungen im Oberboden und vor allem im wurzelumgebenden Feinboden angereichert werden (Boldt-Burisch, 2012).

#### **2.2.4.4 Nadelförmiger Calcit**

Nestartige oder brückenartige Gebilde aus vielen einzelnen nadelförmigen Calcitkristallen können bei mikroskopischen Untersuchungen von Böden oft in Poren gefunden werden. Die einzelnen Calcitnadeln haben eine Länge von bis zu 100 µm und sind in Böden meist

biogenen Ursprungs (Verrecchia & Verrecchia, 1994; Cailleau et al., 2009). Eine abiotische Genese des nadelförmigen Calcits konnte bei der Evaporation übersättigter Lösungen in Höhlen (Borsato et al., 2000) und der Verwitterung von Muscheln gezeigt werden (Vilagrán & Poch, 2014). Kombinierte Untersuchungen mittels REM und Isotopenanalysen zeigen, dass die nadelförmigen Calcitkristalle in Böden innerhalb von Mikroorganismen wachsen und die Calcitnadeln bei der Biomineralisation der Mikroorganismen zurückbleiben (Cailleau et al., 2009; Milliere et al., 2011). Die bis 100 µm langen Calcitnadeln werden genetisch mit Pilzen assoziiert (Phillips et al., 1987; Bajnoczi & Kovacs-Kis, 2006). Für die kleineren röhrenförmigen nadeligen Calcitkristalle mit Durchmessern von 0,5 µm und einer Länge von 2 µm konnten unter aeroben Bedingungen in alkalischen Böden existierende Bakterien als Verursacher nachgewiesen werden (Loisy et al., 1999). Die Untersuchungen an Böden in der Champagne (Frankreich) zeigen, dass die von Bakterien gebildeten nadelförmigen Calcitkristalle zu Mikrit oder Mikrospatit umkristallisieren können und dadurch ein massives Kittgefüge in Böden verursachen (Loisy et al., 1999).

#### **2.2.4.5 Calciumoxalat**

Pflanzen nehmen Calcium in gelöster Form über die Wurzeln auf, da sie es vor allem als Botenstoff für biochemische Reaktionen, als Basenausgleich bei der Nährstoffaufnahme, zum Schutz vor Feinden und zum Zellaufbau benötigen (Nakata, 2003; Swanson & Gilroy, 2013). Da Calcium bereits ab  $10^{-6}$  bis  $10^{-8}$  mol toxisch für das Cytoplasma wirkt, dient die Bildung von Calciumoxalat der Regulierung des Calciumhaushalts von Pflanzen in einer calciumreichen Umgebung (Horner & Wagner, 1995). In einjährigen Pflanzen wird Calciumoxalat nicht innerhalb der Pflanze metabolisiert, in mehrjährigen Pflanzen wird zu Beginn der Vegetationsperiode eingelagertes Calciumoxalat für den Blattaustrieb verwendet (Arnott & Pautard, 1970). Die Einlagerung von Calcium erfolgt innerhalb der Familie der Pflanzen in den Vakuolen als Calciumoxalat in den Mineralen Whewellit oder Weddellit (Zindler-Frank, 1976; Franceschi & Horner, 1980; Horner & Wagner, 1995). Die häufigsten Kristallformen sind Phytolithe, einzelne nadelförmige Kristalle, Raphiden und rhomboedrische Prismen (Franceschi & Horner, 1980). Die Einlagerung von Calciumoxalat erfolgt pflanzen-spezifisch in verschiedenen Teilen der Pflanze wie Blättern (Arnott, 1982), Ästen (He et al., 2012) und teilweise auch in Baumstämmen (Cailleau et al., 2005). Des Weiteren können Pilze Calciumoxalat bilden (Cromack et al., 1977; Graustein et al., 1977; Gadd, 1999; Guggiari et al., 2011) und auch wieder umwandeln (Guggiari et al., 2011). Einige Pilze lagern Calciumoxalat auch extrazellulär ein, wobei das Calciumoxalat von Pilzen an den Hyphen ausgeschieden wird (Arnott, 1995; Gadd, 1999). Pathogene und saprophytische Pilze setzen Oxalsäure zur Bildung von Calciumoxalat mittels der Hyphen frei (Arnott, 1995; Franceschi & Loewus, 1995).

Calciumoxalat hat nur eine geringe Löslichkeit in Wasser, seine Gehalte in Böden sind aber wegen seiner dortigen schnellen mikrobiellen Transformation meist gering (Verrecchia et al., 2006). Nach dem Absterben der Pflanze erfolgt der Abbau von Calciumoxalat zu Calciumcarbonat mittels Mikroorganismen. Bakterien und Pilze nutzen Calciumoxalat als Energie- und Kohlenstoffquelle und scheiden dabei Calciumcarbonat aus (Allison et al., 1995; Braissant et al., 2002; Sahin, 2003). Häufig entsteht bei der mikrobiellen Umwandlung von Calciumoxalat mikritischer Calcit (Cailleau et al., 2005). Anaerobe Bakterien im Darm von Regenwürmern wandeln ebenfalls Calciumoxalat zu Calciumcarbonat um (Allison et al., 1995). Der Umsatz an Calciumoxalat der Vegetation ist messtechnisch schwer zu erfassen, aufgrund der begrenzten Lebensdauer der Blätter und Feinwurzeln aber nicht unbedeutend. Burke & Raynal (1994) haben für Feinwurzeln von Ahorn, Birke und Buche in Kanada eine Lebensdauer von etwa einem Jahr ermittelt. Untersuchungen an Birken und Fichten im Schwarzwald und den Vogesen zeigen ebenfalls eine Lebensdauer der Feinwurzeln von etwa einem Jahr (Stober et al., 2000).

Von Mikroorganismen freigesetzte Säuren wie Oxalsäure sind nicht nur bedeutsam für die Verbraunung und Verlehmung (Eckhardt, 1979; Gadd, 1999; Munch, 2011), sondern auch für die Calciumcarbonatdynamik (Verrecchia et al., 2006). Sowohl Bakterien als auch Pilze sind maßgeblich an der Dynamik von Calciumcarbonat in Böden beteiligt, da diese Calciumoxalat zu Calciumcarbonat umwandeln können und damit eine Anreicherung der Böden mit sekundären Carbonaten erreichen (Graustein et al., 1977; Braissant et al., 2002; Cailleau et al., 2005; Guggiari et al., 2011). In Laborversuchen konnten Bravo et al. (2013) einen Anstieg des pH-Werts von 6,4 auf 7,7 bei der Bebrütung eines oxalathaltigen Bodens mit oxalotrophen Bakterien beobachten. Temperatureinwirkung durch Brände führt ebenfalls zur Umwandlung von Calciumoxalat zu Calciumcarbonat (Canti, 2003).

# 3 Methoden

## 3.1 Feldmethoden

In mehrwöchigen Geländekampagnen wurde mittels Begehungen die Geomorphologie des Untersuchungsgebiets erfasst und repräsentative Standorte für sedimentologische und bodenkundliche Untersuchungen identifiziert. Bodenprofile wurden entlang von Transekten als Schürfruben oder in geeigneten Aufschlüssen angelegt. Die Lage der Profile wurde mittels GPS erfasst. Die bodenkundliche Beschreibung erfolgte nach der Deutschen Bodensystematik (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Für die Beschreibung der rezent von Sekundär-carbonatanreicherung und Toneintrag geprägten Horizonte musste von den Vorgaben der deutschen Systematik abgewichen werden, wobei die Horizontbezeichnung „Bct“ verwendet wurde.

Die Bodenfarbe wurde an den meisten Profilen mithilfe einer Farbtafel (Munsell, 2009) im angefeuchteten Zustand bestimmt. Bei Bestimmung mittels Farbtafel werden die Farbwerte im Folgenden angegeben und die englischen Bezeichnungen nach den Vorgaben der Deutschen Bodensystematik übersetzt. Mittels horizontweiser Probennahme wurde aus ausgewählten Profilen Material für Laboranalysen genommen. Für mikromorphologische Untersuchungen wurden ungestörte Bodenproben entnommen. Aufgrund hoher Ton- und Grobbodenanteile oder intensiver Durchwurzelung war die Beprobung mittels Kubiëna-Kasten an den meisten Standorten nicht möglich. Um Artefakte bei der Probennahme zu vermeiden, wurden orientierte Bodenmonolithen mit einer Kantenlänge von etwa 15 cm vorsichtig ausgegraben und zum Transport in Kunststoffschalen mit Gips fixiert.

Zur Analyse der Sedimentfazies wurde an ausgewählten Standorten die Situmetrie von Grobbodenkomponenten bestimmt (Bertran et al., 1997). Aus den Schichten wurden zufällig 50 Klasten mit einer Längsachse von mindestens 10 cm und einem Verhältnis von Längsachse zu Querachse von mindestens 3:2 vorsichtig entnommen. Anschließend wurden das Streichen der Klasten mittels Kompass und das Fallen mittels Klinometer bestimmt. Anhand von Vergleichstafeln wurde anschließend die Morphometrie der Klasten den vier Klassen kantig, kantengerundet, gerundet und stark gerundet zugeordnet (Reichelt, 1961). Die Darstellung der situmetrischen Ergebnisse erfolgt als Gefügediagramm und Rosendiagramm (Benn, 2004). Die Eigenwerte wurden nach Mark (1973) und Woodcock (1977) mit

den normalisierten Vektoren  $S_1$ ,  $S_2$  und  $S_3$  berechnet und mittels *isotropy index* ( $I = S_3 \div S_1$ ) und *elongation index* ( $E = 1 - (S_2 \div S_1)$ ) in skalierten Dreiecksdiagrammen dargestellt (Benn, 2004). Situmetrische Untersuchungen an glazialen Sedimenten zur weiteren Differenzierung der Fazies sind bereits lange Teil glaziologisch sedimentologischer Untersuchungen (Mark, 1974). Als alleiniges Verfahren ist die Situmetrie aufgrund postsedimentärer Überprägung der Sedimente mittels Frosteinwirkung oder Bioturbation anfällig für Fehlinterpretationen (van der Meer et al., 2003; Millar, 2006). In Kombination mit weiteren feldsedimentologischen Methoden wie Textur des Feinbodens, Grobbodenanteil und Morphologie der Klasten ermöglicht dieser Methodenkatalog eine sehr gute Faziesdifferenzierung (Benn, 2004).

## 3.2 Laboranalytik

Die laboranalytischen Untersuchungen erfolgten an lufttrockenen und auf kleiner 2 mm trocken gesiebten Bodenproben. Für mikromorphologische Untersuchungen wurden Dünnschliffe aus den ungestörten Bodenproben von der Firma Beckmann nach dem Verfahren von Beckmann (1997) hergestellt. Als Harz wurde Oldopal P80-21 mit einem Brechungsindex von 1,545 verwendet. Die mikromorphologische Untersuchung erfolgte mittels linearer Polarisation (LPL), gekreuzter Polarisation (GPL) und gekreuzter Polarisation mit dem Hilfspräparat Rot I. Ordnung ( $\lambda$ GPL). Die Beschreibung der Bodendünnschliffe orientiert sich an Stoops (2003), wobei die meist englischen Fachtermini nach Jongerius & Rutherford (1979) und in Anlehnung an die deutsche Bodensystematik übersetzt wurden. Die Beschreibung der Kristallmorphologie des Calcits orientierte sich an Chadwick et al. (1989).

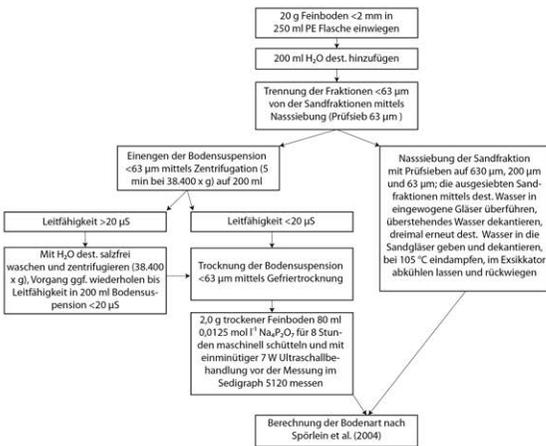
Als Grundlagen für die Kartendarstellungen wurden für die Topografie LiDAR-Daten mit einer Auflösung von 5 m des *Instituto Geográfico Nacional* verwendet.

### 3.2.1 Texturbestimmungen

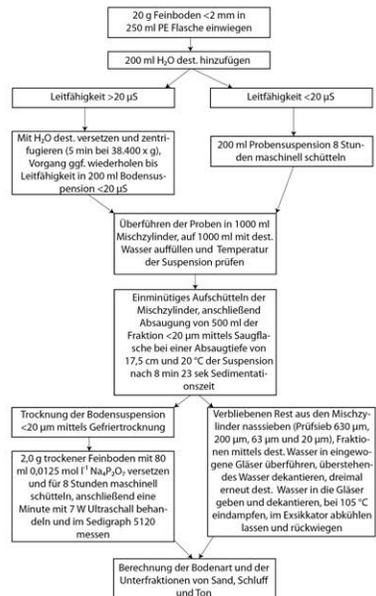
Auf eine Vorbehandlung der Proben hinsichtlich Humuszerstörung und Entfernung von Calciumcarbonat wurde ausdrücklich verzichtet, da die Humusgehalte in den beprobten Böden nur gering waren und die calciumcarbonathaltigen Proben meist sowohl primäres als auch sekundäres Calciumcarbonat enthielten. Die Bestimmung der Textur erfolgte mit einer Kombination aus Nasssiebung der Sandfraktionen und Röntgenabsorption der Ton- und Schlufffraktionen mit dem Sedigraph 5120 der Firma Micromeritics mit automatischem Probengeber. Die Nasssiebung des Sands wurde nach DIN ISO 11277 (Deutsches Institut für Normung e. V., 2002) durchgeführt. Die Röntgenabsorption zur Bestimmen der Ton- und Schlufffraktionen und die Umrechnung erfolgten in Anlehnung an Spörlein et al. (2004), mit Anpassungen des Präparationsprotokolls an die vorhandene Geräteausstattung (Abb. 4a).

Während der Analysen zeigte sich, dass Proben mit hohen Anteilen an Feinsand und Grobschluffen deutliche Überschätzungen der Tonfraktion auf Kosten der Grobschlufffraktion aufwiesen und damit eine Differenzierung der Unterfraktionen des Tons nicht weiter möglich war (Müller et al., 2009). Zur Darstellung der Feinbodenart und der Unterfraktionen von Sand, Schluff und Ton wurde an ausgewählten Profilen eine erneute Bestimmung der Feinbodenart mittels einer Variation des kombinierten Sieb- und Röntgenabsorptionsverfahrens durchgeführt, bei dem der Grobschluff im Rahmen der Siebung abgetrennt wurde (Abb. 4b). Aufgrund der hohen Probenzahl konnten nicht beide Messverfahren durchgeführt werden, sodass innerhalb der Profile immer nur ein Messverfahren angewandt wurde. In der vorliegenden Arbeit sind die Texturbestimmungen ohne Differenzierung der Unterfraktionen des Tons nach Abb. 4a und die Texturbestimmungen mit Differenzierung von Grobton (0,63 µm bis 2 µm), Mittelton (0,20 µm bis 0,63 µm) und Feinton (<0,20 µm) nach Abb. 4b vorgenommen worden.

a) Kombiniertes Verfahren aus Nasssiebung und Röntgenabsorption zur Bestimmung der Bodenart, der Tonfraktion und der Unterfraktionen von Schluff und Sand



b) Kombiniertes Verfahren aus Nasssiebung und Röntgenabsorption zur Bestimmung der Bodenart unter Berücksichtigung der Unterfraktionen von Sand, Schluff und Ton



**Abbildung 4:** Korngrößenbestimmung mittels Nasssiebung und Röntgenabsorption

### 3.2.2 Bodenacidität, Minerale und Elementbestimmungen

Die Messung der Bodenacidität erfolgte potentiometrisch im Verhältnis 1:2,5 in  $0,01 \text{ mol l}^{-1} \text{ CaCl}_2$  (Blume et al., 2011). Der Calciumcarbonatgehalt wurde mittels Scheibler-Apparatur unter Zugabe von Salzsäure gasvolumetrisch bestimmt (Deutsches Institut für Normung e. V., 1997). Die Quantifizierung des Kohlenstoffs erfolgte mittels kombinierter gaschromatografischer und gasvolumetrischer Bestimmung der nach Hochtemperaturverbrennung oxidierten Bodenproben im Elementaranalysator VARIO EL (Deutsches Institut für Normung e. V., 1996; Deutsches Institut für Normung e. V., 1998).

Die Bestimmung der Gesamtgehalte an Eisen ( $\text{Fe}_T$ ) und Mangan ( $\text{Mn}_T$ ) erfolgte mittels Röntgenfluoreszenz an handgemörserten Pulverproben mit einem *Niton XL3t*. Zur Differenzierung pedogener Prozesse wurden die dithionitlöslichen (Mehra & Jackson, 1958), oxalatlöslichen (Schwertmann, 1964) und pyrophosphatlöslichen (von Zezschwitz et al., 1973) Elementgehalte von Eisen ( $\text{Fe}_D$ ,  $\text{Fe}_O$  &  $\text{Fe}_P$ ), Aluminium ( $\text{Al}_D$ ,  $\text{Al}_O$  &  $\text{Al}_P$ ) und Mangan ( $\text{Mn}_D$ ,  $\text{Mn}_O$  &  $\text{Mn}_P$ ) mittels separativer Extraktion bestimmt. Die Extraktion erfolgte an je 2,0 g Feinboden, die Quantifizierung der extrahierten Elemente in 1:10 verdünnten Lösungen mittels induktiv gekoppelter Plasma-Atomemissionsspektroskopie mit einem *iCAP 6000* der Firma *Thermo Fisher Scientific*. Unter Berücksichtigung des Gesamtgehalts von Eisen (Blume & Schwertmann, 1969) lassen sich die pedogenen Eisenverbindungen in organisch gebundene Komplexe, schlecht kristallines Ferrihydrit, Goethit und Hämatit differenzieren (Tab. 1). Im Gegensatz zu Eisen sind für Aluminium und Mangan mittels der in dieser Arbeit verwendeten selektiven Extraktionsverfahren keine Rückschlüsse auf Minerale möglich. An ausgewählten Bodenprofilen erfolgte zur Prüfung auf quellfähige Tonminerale eine röntgendiffraktometrische Untersuchung der Tonfraktion an eingeregelt Tonpräparaten. Die Probenvorbereitung mit Zerstörung der organischen Substanz durch Wasserstoffperoxid, Entfernung der Eisenoxide durch Natriumdithionit und Natriumcitrat und anschließender Abtrennung der Tonfraktion im Atterberg-Zylinder erfolgte nach Mahr (1998). Aufgrund der hohen Gehalte des Probenmaterials konnte auf eine Eisenzerstörung nicht verzichtet werden, eine dabei mögliche Umwandlung von Biotit zu einem vermikulitähnlichen Mineral muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden (Douglas, 1967). Für die Röntgendiffraktion wurden ein Magnesium-belegtes Normalpräparat, das nach der Messung mit Ethylenglykol behandelt und erneut gemessen wurde, und ein Präparat mit Kaliumbelegung hergestellt (Mahr, 1998). Die Messungen erfolgten an einem Siemens-D5000-Kobalt- $\alpha$ -Strahler am Extraordinariat für Geomorphologie und Bodenkunde (Prof. Dr. Jörg Völkel, Technische Universität München). Die Auswertung der Röntgendiffraktogramme erfolgte mittels der einschlägigen Literatur (Brindley & Brown, 1980; Tributh, 1991; Moore & Reynolds, 1997), die Benennung der Tonminerale

**Table 1:** Differenzierung der pedogenen Eisenverbindungen (verändert nach Schwertmann, 1991)

Fraktion	Dominierende Eisenverbindung
Fe <sub>T</sub>	Gesamtgehalt Eisen
Fe <sub>T</sub> - Fe <sub>D</sub>	Eisen in Silikaten, Ilmenit, Magnetit, gut kristallisierter (lithogener) Hämatit
Fe <sub>D</sub> - Fe <sub>O</sub>	Goethit, Hämatit, Lepidokrokit
Fe <sub>O</sub> - Fe <sub>P</sub>	Ferrihydrit, schlecht kristallisierter Lepidokrokit und Goethit, Magnetit und Maghemit
Fe <sub>P</sub>	Ferrihydrit-Humus-Assoziationen

nach Guggenheim et al. (2006). Mittels der angewandten Röntgendiffraktion kann die Präsenz quellfähiger Tonminerale verzeichnet werden, deren Differenzierung zwischen Smektiten und Vermikuliten mit der alleinigen Weitung von Ethylenglykol nicht möglich ist, da einige Vermikulite im Gegensatz zur Belegung mit Glycerol auch bei der Belegung mit Ethylenglykol weiten (Walker, 1957; Walker, 1958; Mosser-Ruck et al., 2005).

### 3.2.3 Altersdatierungen

Proben für Datierung mittels optisch stimulierter Lumineszenz (OSL) wurden nach dem *single aliquot regenerative protocol* (Murray & Wintle, 2000; Murray & Wintle, 2003) an Quarz (180–250 µm) am *Nordic Laboratory for Luminescence Dating* der Universität Aarhus analysiert. Die Körner wurden mittels Nasssiebung abgetrennt, mit Wasserstoffperoxid, Salzsäure und Flusssäure behandelt und mittels Dichtefraktionierung abgetrennt. Die Messungen erfolgten an einem *Risø TL/OSL DA 20*, die Äquivalentdosis ( $D_E$ ) wurde mittels eines zehn Sekunden andauernden Vorheizens auf 260 °C und einer *cut heat* bei 220 °C bestimmt. Das Quarzsignal wurde mittels Hoya-U-340-Filters selektiert. Die Dosisleistung ( $D_O$ ) wurde auf Basis der Messung der Radionuklide mittels Röntgenfluoreszenz bestimmt. Für die Berechnung der Alter wurde der Wassergehalt des Probenmaterials zum Zeitpunkt der Probennahme verwendet.

Eine Holzkohle wurde mittels Beschleuniger-Massenspektroskopie an Radiokohlenstoff im AMS-C14-Labor Erlangen datiert. Das <sup>14</sup>C-Alter wurde mittels *OxCal 4.2* (Bronk Ramsey, 2009) in Kombination mit der Kalibrationskurve *Intcal13* mit einem Konfidenzintervall von 95,4 % kalibriert (Reimer et al., 2013).

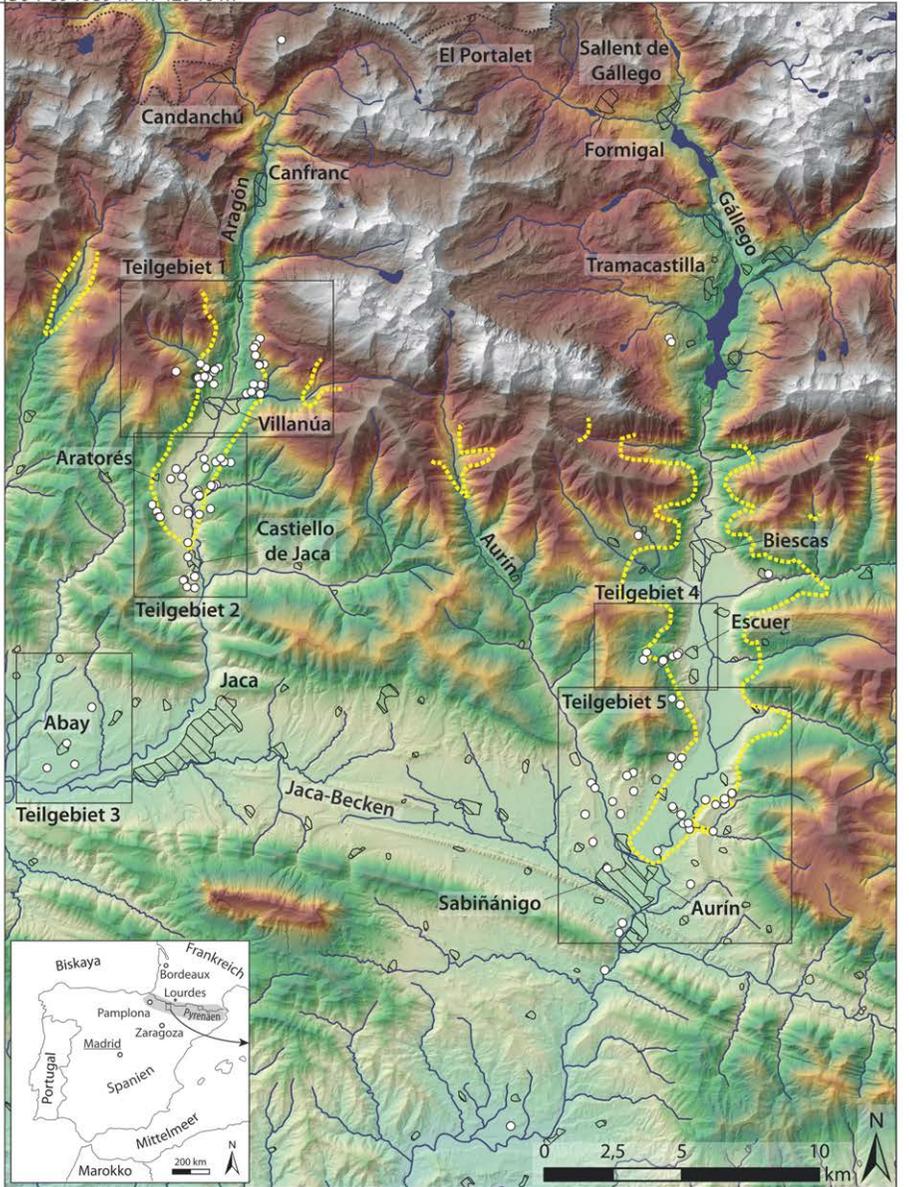
# 4 Untersuchungsgebiet

## 4.1 Lage und historische Landnutzung

Der etwa 450 km lange und West-Ost-streichende Gebirgszug der Pyrenäen reicht mit den baskisch-kantabrischen Pyrenäen von der Biskaya über die Zentralpyrenäen und die östlichen Pyrenäen an an das Mittelmeer (Abb. 5). Die Pyrenäen trennen die Iberische Halbinsel von der Europäischen Platte und entlang des Hauptzugs der Pyrenäen verlaufen die Hauptwasserscheide und die politische Grenze zwischen Spanien und Frankreich. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in den spanischen Zentralpyrenäen 90 km nördlich von Zaragoza (Abb. 5) in der autonomen Gemeinschaft Aragonien. Der *Pico de Aneto* (mit 3404 m ü. M. als höchster Gipfel der Pyrenäen (Abb. 14c) liegt 70 km östlich des Untersuchungsgebiets. Der *Pico de Balaitús* (3144 m) befindet sich direkt nördlich des Untersuchungsgebiets an der Grenze zu Frankreich. Die Nord-Süd-streichenden Täler des Aragón und Gállego mit den jeweils gleichnamigen Flüssen münden bei den Ortschaften Jaca bzw. Sabiñánigo in das West-Ost-streichende Jaca-Becken. Während der Aragón in westlicher Richtung abfließt, quert der nach Süden abfließende Gállego die Vorpyrenäen südwestlich des Untersuchungsgebiets, wobei sowohl der Aragón als auch der Gállego in den Ebro münden.

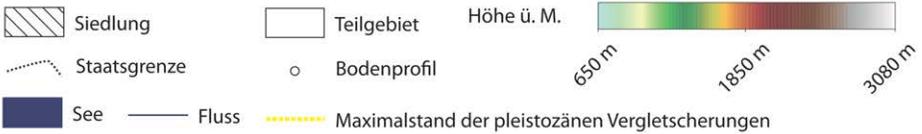
Die Besiedlung konzentriert sich heute auf die Kleinstädte Jaca und Sabiñánigo, während die Dörfer Biescas und Canfranc von Wochenend- und Wintertourismus geprägt sind. An den Hängen der Haupttäler und vor allem in den Seitentälern liegen Wüstungen mittelalterlicher Bergdörfer, die im 19. und 20. Jahrhundert aufgegeben wurden. Die erste urkundliche Erwähnung von Jaca ist auf das Jahr 1076 dokumentiert (Nelson, 1978), wobei eine wiederholte Besiedlung der Region bereits vor dem Beginn des Römischen Reichs bekannt ist (Chocarro et al., 1990). Während des Römischen Reichs wurde der Ackerbau intensiviert und abgelegene Flächen zur landwirtschaftlichen Nutzung gerodet (Aranbarri et al., 2014). Mit dem Ende des Römischen Reichs stagnierten Handel und Bevölkerungsentwicklung, wobei die Stagnation bis zum 9. bis 10. Jahrhundert anhielt, als mit der Gründung des Königreichs Aragonien mit seiner Hauptstadt Jaca eine starke wirtschaftliche Entwicklung einsetzte (Nelson, 1978). Der Somport-Pass im Norden des Aragón-Tals ermöglicht den Handel mit Frankreich und Jaca gewinnt als Knotenpunkt und Pilgerstation

30 T 694089 m 4742940 m



Transversale Mercator Projektion, Datum WGS84

30 T 726547 m 4699741 m



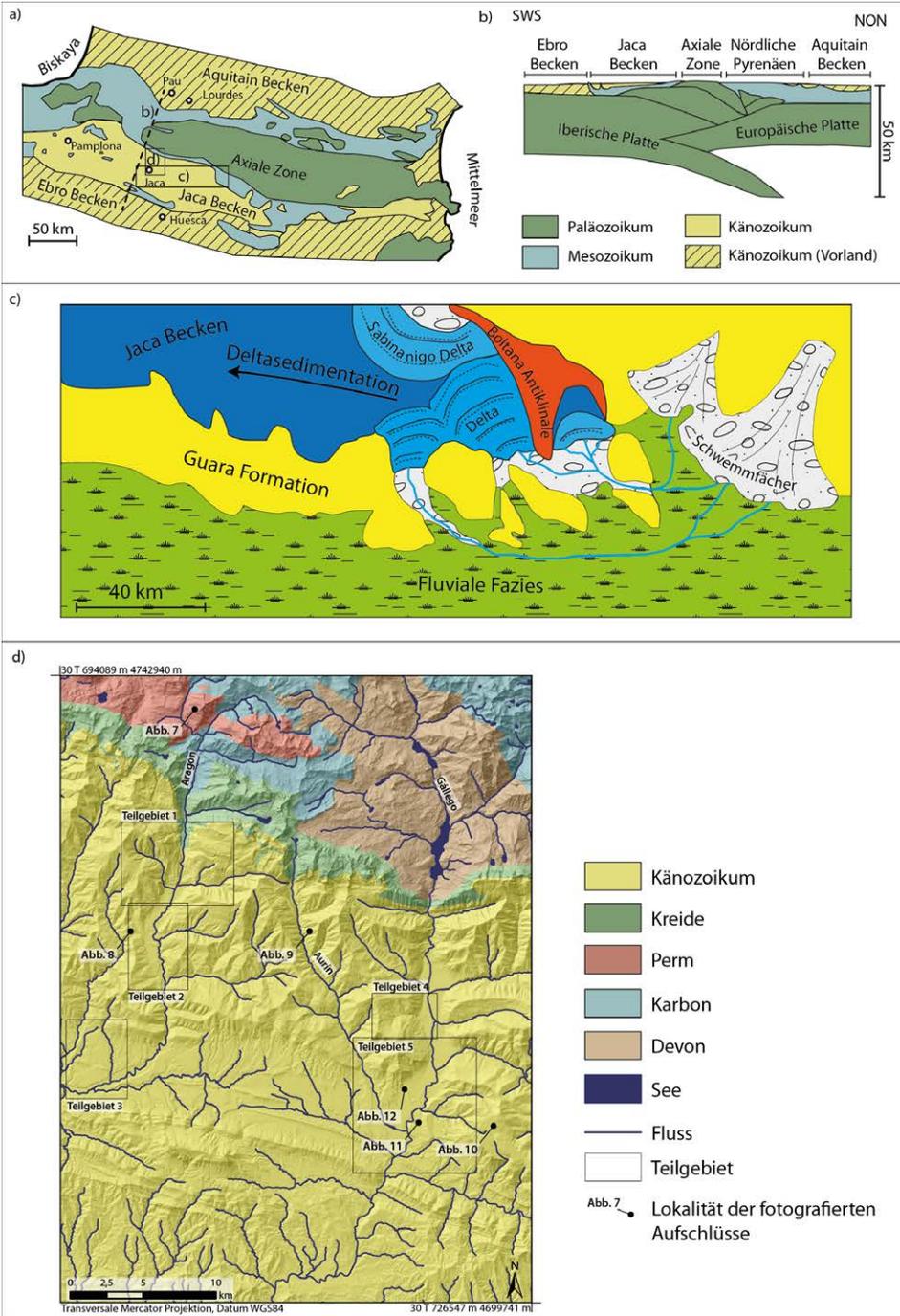
**Abbildung 5:** Lage und Topografie des Untersuchungsgebiets (s.a. Beilage 1); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

an Bedeutung. Steile Hänge wurden für den Ackerbau mittels Terrassierung erschlossen und die Weidewirtschaft nahm zu. Ab dem 11. Jahrhundert wurden die Bergregionen im Untersuchungsgebiet für die Transhumanz von Schafen genutzt und winters die Schafe ins Ebro-Becken getrieben (Ruiz & Ruiz, 1986; O’Flanagan et al., 2011). Im 13. Jahrhundert war die Transhumanz am ausgeprägtesten, etwa 5 Millionen Schafe wurden jährlich aus den Pyrenäen in das Vorland und in den Süden Spaniens getrieben (Zorita, 1990, in O’Flanagan et al., 2011), im Gállego-Tal zwischen Sabiñánigo und dem Quellgebiet des Gállego wurden jährlich etwa 180 000 Schafe geweidet (O’Flanagan et al., 2011). Die große Anzahl an Weidetieren verursachte neben Trittschäden und Verbiss eine erhöhte Erosionsanfälligkeit der Landschaft. Des Weiteren wurden durch Brandrodung die Flächen freigehalten (Bal et al., 2011), was im Gállego-Tal ein Herabsinken der Waldgrenze und ab einer Höhe von etwa 1680 m wiederholte Erosionsereignisse ab  $800 \pm 40$   $^{14}\text{C}$  BP (entspricht 915–706 cal BP) und  $1360 \pm 50$   $^{14}\text{C}$  BP (entspricht 1355–1181 cal BP) verursacht hat (García-Ruiz et al., 1997a). Im südlichen Vorland der Pyrenäen am Unterlauf des Aragón führt Überweidung mit Schafen ebenso zu einer massiven Umgestaltung der Landschaft mit jährlichen Erosionsraten um  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$  bis  $80 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Desir et al., 2005; Desir & Marín, 2007).

Mit Ausnahme des 14. Jahrhunderts nahm die Bevölkerungsentwicklung um Jaca bis zum 19. Jahrhundert in der Region kontinuierlich zu. Erst mit dem 20. Jahrhundert reduzierte sich die Bevölkerung in der Region deutlich und die Region verlor mit dem Strukturwandel ab der Mitte des 20. Jahrhunderts trotz der einzigen direkten Bahnverbindung innerhalb der Zentralpyrenäen von Jaca über den Somport-Pass nach Frankreich an Bedeutung. Die Bevölkerung wanderte in die großen Industrieregionen Spaniens ab (Breuer, 1995). Die meist kleinen Bergdörfer an den Hängen des Aragón-Tals, Gállego-Tals und vor allem in den abgelegenen Seitentälern wurden meist aufgegeben und die brachgefallenen Flächen mit Kiefern aufgeforstet (Ortigosa et al., 1990)

## 4.2 Geologie und Lithologie

Der geologische Aufbau der Pyrenäen ist mit der axialen Zone aus paläozoischen Gesteinen im Zentrum und angrenzend im Süden und Norden aus mesozoischen Gesteinen geprägt (Abb. 6a). Das vorgelagerte Ebrobecken im Süden und das Aquitanische Becken im Norden bilden zwei tiefe Vorlandbecken, die durch die Hebung der Pyrenäen entstanden sind und währenddessen kontinuierlich mit Sedimenten aufgefüllt wurden (Teixell, 1996). Der Auffaltung der Pyrenäen geht eine Phase der Ausdünnung der kontinentalen Kruste aufgrund von Divergenz und Grabenbrüchen während des Paläozoikums voraus (Tugend et al., 2014). Im Paläozoikum erfolgte eine Erhitzung der Gesteine innerhalb der Kruste und ein Aufstieg migmatischer Plutone in schiefrige Gesteine während des Karbons



**Abbildung 6:** Geologie der Pyrenäen: a) Geologie der Pyrenäen und b) geologischer Schnitt nach Teixell (1996), c) Lithofazies während des Lutetiums nach Morsilli et al. (2012), d) Geologie des Untersuchungsgebiets nach Ternet et al. (2004); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain (s. a. Beilage 1)

(Ternet et al., 2004; Aguilar et al., 2014), die rezent im Norden des Untersuchungsgebiets als Granit und weinrote Schiefer anstehen (Abb. 7 und Abb. 6d). Die Auffaltung der Pyrenäen während der Alpidischen Orogenese resultierte aus der nach Norden schiebenden Afrikanischen Platte, welche die Iberische Platte unter die Europäische Platte subduzierte (Abb. 6b). Die Verkürzung aufgrund der Überschiebung beträgt in den Zentralpyrenäen etwa 80 km (Teixell, 1998) und führte während des Eozäns/Oligozäns zur Entstehung des Beckens von Jaca als Huckepack-Becken (Teixell, 1996). Das Jaca-Becken (Abb. 6b, c) wurde auf einem Akkretionskeil nach Süden geschoben (Puigdefabregas et al., 1992) und lag während des Eozäns und Oligozäns im Übergangsbereich mariner und kontinentaler Fazies (Mutti et al., 2003). Die rezente Lithologie im Jaca-Becken und damit im Großteil des Untersuchungsgebiets, ist von Tiefwassersedimenten, küstennaher Sedimentation und Deltabildung während des Lutetiums (47,8 Mio yr bis 41,3 Mio yr) geprägt (Morsilli et al., 2012), die Lithologie im Untersuchungsgebiet wechselt auch aufgrund der postsedimentären Überfaltung sehr kleinräumig (Millan et al., 1994). Die Lithologie der känozoischen Gesteine besteht aus Kalkstein, Kalksandstein, Kalkschluffstein, Mergel und in Wechsellagerung als Flysch (Abb. 8, Abb. 9, Abb. 11 und Abb. 12). Des Weiteren sind bei submarinen *catastrophic gravel flows* (Mutti et al., 2003) entstandene Konglomerate aus Kiesen und runden Steinen eingebettet in einer kalkhaltigen Matrix ausgebildet (Abb. 10).

Die Mergel im Untersuchungsgebiet sind häufig von *badland erosion* geprägt (Abb. 11), da sie aufgrund ihrer Klüftigkeit besonders anfällig für Frostsprengung (Nadal-Romero & Regüés, 2010) und Feinabschuppung (Martí Bono & Plana, 1996) sind. Des Weiteren entwickeln sich in den Mergeln bereits bei mittleren Niederschlagsereignissen Rillen und Runsen (Faust & Schmidt, 2009). Besonders an Nordhängen kann sich auf Mergeln nur eine spärliche Vegetationsbedeckung entwickeln, weswegen die Nordhänge der Mergel stärker von Erosion betroffen sind als die Südhänge (Nadal-Romero et al., 2012; Nadal-Romero et al., 2014).



**Abbildung 7:** Weinrote Schiefer aus dem Karbon bei Candanchú



**Abbildung 8:** Eozäne Kalksteine bei Aratorés



**Abbildung 9:** Eozäner Flysch nördlich Acumuer



**Abbildung 10:** Eozäne Konglomerate östlich von Sabiñánigo



**Abbildung 11:** Badlands in den grauen eozänen Mergel östlich von Sabiñánigo

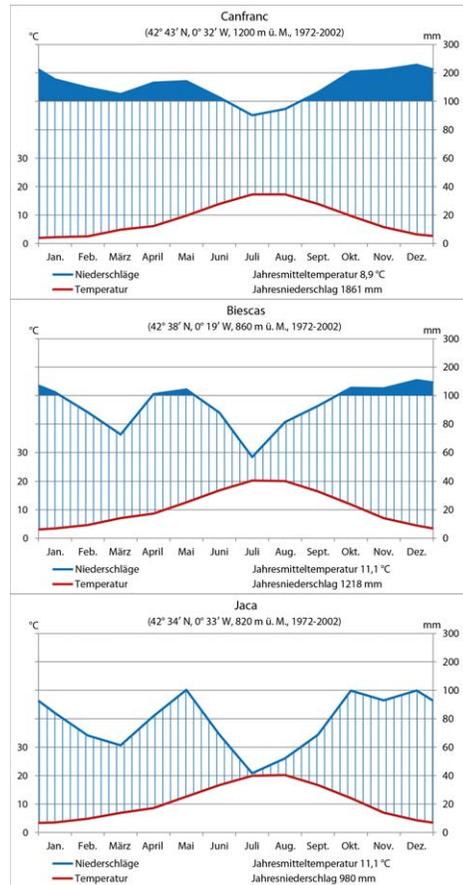


**Abbildung 12:** Grusige Verwitterung von gefaltetem Mergel aus dem Eozän

### 4.3 Klima und Vegetation

Das Klima im Untersuchungsgebiet zeigt einen deutlichen Gradienten hinsichtlich Temperatur und Niederschlägen zwischen dem Jaca-Becken und den Talschlüssen im Norden (Abb. 13). Während die jährlichen Niederschläge bei Jaca 980 mm betragen, nehmen die jährlichen Niederschläge nach Norden von 1218 mm bei Biescas auf 1861 mm bei Canfranc zu. Die Jahresmitteltemperatur beträgt in Jaca und Biescas 11,1 °C und bei Canfranc 8,9 °C. Die Variabilität der Niederschläge ist in den Sommermonaten hoch, da ein Großteil der sommerlichen Niederschläge während einzelner Niederschlagsereignisse anfällt (Cuadrat, 2004). Im Zuge der Geländearbeiten wurde eine große räumliche Variabilität der Niederschläge hinsichtlich Intensität der sommerlichen Niederschläge zwischen den Nord-Süd-streichenden Tälern beobachtet.

Während in der Kleinen Eiszeit etwa 100 Gletscher in den Pyrenäen existierten, waren in den gesamten Pyrenäen im Jahr 2008 noch 21 Gletscher vorhanden (Trueba et al., 2008). Die jährliche 0-°C-Isotherme war im Jahr 1990 bei 2726 m ü. M., die 10-°C-Isotherme für den Juli, bei 2438 m ü. M. als potentielle obere Waldgrenze (Barrio et al., 1990). Das Untersuchungsgebiet befindet sich im colinen bzw. montanen Eurosibirischen Vegetationsgürtel, das südlich des Untersuchungsgebiets befindliche Pyrenäenvorland gehört zum Mesomediterranraum (González-Sampériz et al., 2010). Die Wälder im Untersuchungsgebiet bestehen aus Kiefer, Birke, Linde, Ahorn, Eberesche, Stechpalme, Eibe, Pappel und Esche, die Waldgrenze liegt bei 1600 m ü. M. bis 1800 m ü. M., darüber sind nur vereinzelte Schwarzkieferbestände vorhanden (Longares, 2004). Aufgrund der Nutzung großer Flächen für den Wintersport ist die Bewaldung nördlich von Canfranc stark eingeschränkt. Im Jaca-Becken dominiert Mittelmeer- und Sekundärvegetation mit *Macchia* bestehend aus Rosmarin und Buchs, in höheren Lagen auch Wacholder. Ackerbau ist im Jaca-Becken vor allem auf den Terrassen und den schwach geneigten Hängen weit verbreitet. Auf den steilen Hängen weisen aufgegebene Terrassierungen auf historischen Ackerbau. Die Brachflächen sind von Ginster, Buchs und Rosmarin bewachsen (Seeger & Ries, 2008).



**Abbildung 13:** Hygrothermische Klimadiagramme der Stationen Canfranc, Biescas und Jaca (eigene Zusammenstellung, Klimadaten aus López et al., 2007)

#### 4.4 Relief und Boden

Für das Untersuchungsgebiet existiert bisher keine kleinräumige Bodenkarte, auf der Bodenkarte der Provinz Huesca im Maßstab 1:25 000 sind für das Untersuchungsgebiet Rendzinen (*rendsinas pardas sobre calizas*), Braunerden (*tierras pardas forestales*), Pararendzinen

(*suelos pardos calizos forestales*), Regosole und auf den Flussterrassen mediterrane rote Böden (*suelos rojos mediterráneos*) auskartiert (Guerra Delgado & Monturiol Rodríguez, 1970). Badía & Marti (1999) und Badía et al. (2009) beschreiben für Terrassen im Jaca-Tal *Luvic Petric Calcisole (Skeletal, Chromic)* und *Haplic Calcisole (Skeletal)*. In den Bereichen mit anstehendem Flysch oder Kalk(sand)stein sind *Hypercalcic Calcisole (Skeletal)* und *Leptic Regosole (Calcaric, Humic)* entwickelt. Während die Böden auf den Terrassen von Rubefizierung und der Umlagerung von Carbonaten geprägt sind, ist auf noch primärcarbonathaltigen Substraten die Bodenbildung initial und von Kalklösung dominiert. Für das westlich an das Aragón-Tal angrenzende Arnas-Tal, das während des Pleistozäns unvergletschert war, sind auf primärcarbonathaltigen Substraten *Stagnic Luvisole*, *Stagnic Regosole*, *Haplic Leptosole* und *Stagnic Calcisole* beschrieben (Seeger, 2001; Seeger & Ries, 2008). Die dortigen Böden enthalten neben hohen Carbonatanteilen auch Holzkohlefragmente, die mit 2054–1880 cal BP ( $2010 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  BP) auf die aus den Pyrenäen bekannten Besiedlungsphasen der Römer datiert sind (Seeger, 2001) und damit auf eine kolluviale Prägung weisen.

# 5 Stand der Forschung

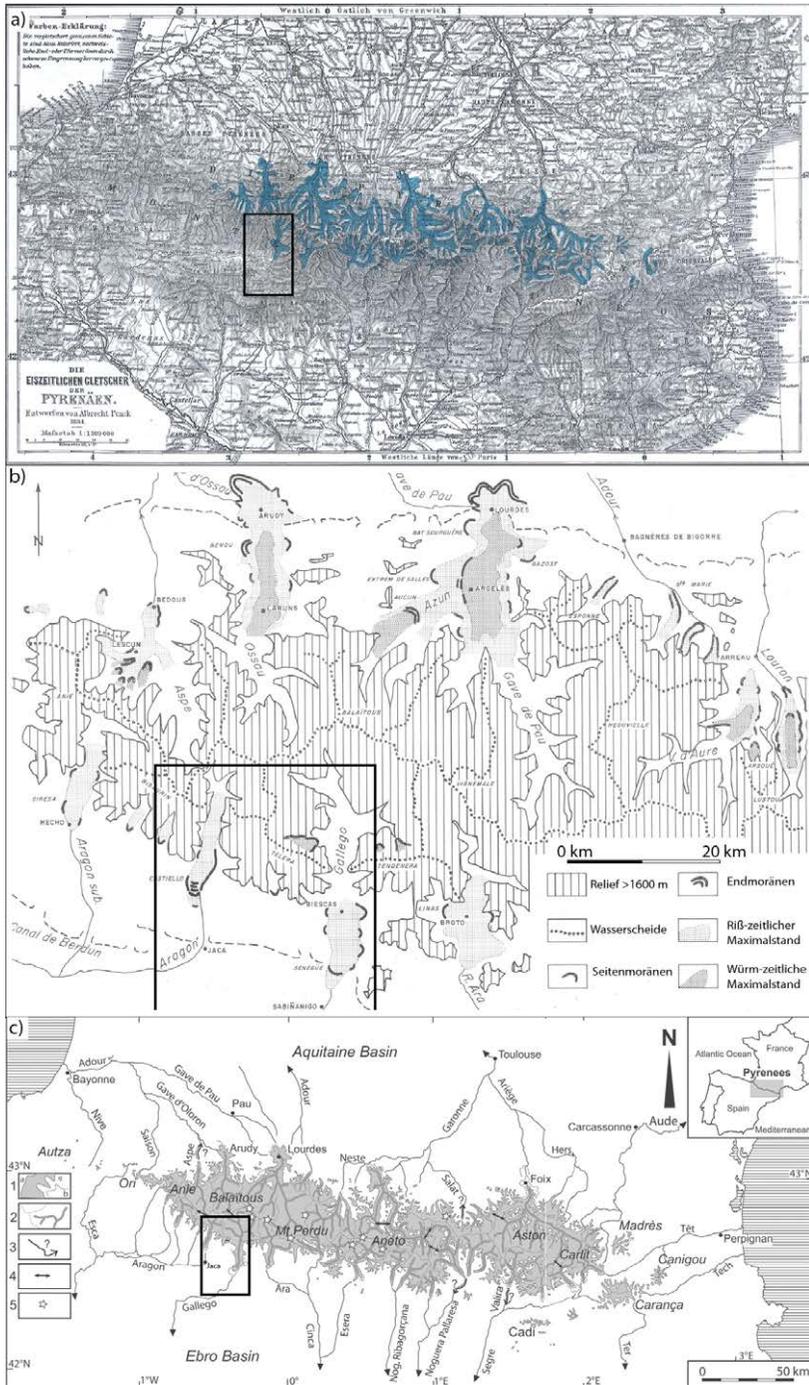
## 5.1 Überblick über das räumliche Ausmaß der pleistozänen Vergletscherungen in den Pyrenäen

Die bereits von Penck (1884) untersuchten und kartierten (Abb. 14a) Vereisungsphasen in den Pyrenäen wurden von Penck analog zu den alpidischen Vereisungsphasen für das letzte Glazial als „Würm“ und für das vorletzte Glazial als „Riß“ benannt. Bereits Penck (1884) beschreibt die ausgeprägteren pleistozänen Vergletscherungen auf der Nordseite der Pyrenäen, die mit einer Länge von bis zu 60 km bis auf 400 m ü. M. herabreichten (Abb. 14b) und nur bei Lourdes und Arudy das Vorland der Pyrenäen erreichten (Barrere, 1963). Auf der Südseite der Pyrenäen im Aragón-Tal befinden sich die Endmoränen auf 850 m ü. M. und im Gállego-Tal auf 800 m ü. M., die Länge der pleistozänen Gletscher betrug auf der Südseite demnach nur etwa 30 km. Zumindest für die Nordseite der Pyrenäen ist zu berücksichtigen, dass der ausgeprägte Endmoränenkomplex bei Arudy nicht den glazialen Maximalstand darstellt, Hétu & Gangloff (1989) beschreiben etwa 5 km nordwestlich des Endmoränenkomplexes diamiktische Sedimente über poliertem und gekritztem Anstehenden. Das Ausmaß der pleistozänen Vereisungen ist nach derzeitigem Kenntnisstand (Calvet et al., 2011) für die meisten Pyrenäentäler bekannt, nur in wenigen Tälern ist der Maximalstand noch unklar (Abb. 14c). Das Ausmaß der pleistozänen Vergletscherungen folgt entlang der Pyrenäen keinen klimatischen West-Ost-Gradienten, sondern wird hauptsächlich von Höhenlage, Exposition und Lithologie der Kare beeinflusst (Garcia-Ruiz et al., 2000; Delmas et al., 2009).

## 5.2 Spätpleistozäne Landschaftsentwicklung in Südwesteuropa

### 5.2.1 Räumliches Ausmaß des Periglazialraums zum gLGM

Während für Nord- und Mitteleuropa das Vorkommen von Permafrost im Spätpleistozän zum gLGM (Vandenberghe et al., 2014) und zur jüngeren Dryas (Isarin, 1997) aufgrund der Vorkommen von Eiskeilpseudomorphosen, Sandkeilen und Kryoturbaionsmerkmalen in Sedimenten der letzten Eiszeit gesichert ist, ist die Südgrenze des pleistozänen kontinuierlichen Permafrosts unklar. Auf der Nordseite der Pyrenäen im Aquitain-Becken (Bertran et al., 2014) und auf der Südseite der Pyrenäen im Ebro-Becken (van Vliet-Lanoë & Lisitsyna, 2001) dominierte während des gLGM diskontinuierlicher Permafrost. Im Aquitain-Becken



**Abbildung 14:** Ausmaß der pleistozänen Vergletscherungen nach verschiedenen Autoren (schwarzer Rahmen entspricht Untersuchungsgebiet): a) Die vergletscherten Bereiche sind blau gefärbt, aus Penck (1884), b) Legende übersetzt, aus Barrere (1963, S. 518, verändert), c) aus Calvet et al. (2011, S. 127, verändert), 1. vergletscherte Bereiche im a) Würm und b) RiB, 2. Fließrichtung der Gletscher, 3. Ausmaß der Vergletscherung unklar, 4. Transfluenzpässe, 5. rezente Kargletscher

ergeben Datierungen an organischem Material aus Kryoturbationstaschen eines Brodelbodens ein Alter von 28,0 cal kyr BP bis 26,3 cal kyr BP (Bertran et al., 2009). Die im westlichen Aquitain-Becken während und nach den gLGM vorherrschenden periglazialen Bedingungen führten zur Umlagerung äolischer Sedimente und wirkten als Siedlungsbarriere (Bertran et al., 2013). Bis zum Ende der Jüngeren Dryas war der Austausch zwischen den Kulturen auf der Iberischen Halbinsel und dem Westlichen Aquitain-Becken gering (Langlais, 2011), obwohl sowohl nördlich als auch südlich der Pyrenäen der Mensch aktiv war, was auf die Vergletscherung als Barriere zurückgeführt wird (Straus & González Morales, 2012; Thiébaud et al., 2012; Pétilion et al.).

Für das Ebro-Becken sind widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich pleistozäner Periglazialbedingungen beschrieben. Johnsson (1960) beschreibt auf einer Flussterrasse des Ebro Eiskeilpseudomorphosen auf 200 m ü. M., wobei Van Zuidam (1976b) diesen Befund anzweifelt und einen Versatz des Sedimentes als Folge von Subrosion annimmt. Brosche (1971; 1978b) beschreibt taschenartige Kryoturbationserscheinungen und Intraklasten ebenfalls auf spätpleistozänen Terrassen des Ebro. Zwar sind Eiskeilpseudomorphosen nicht zwingend diagnostisch für Permafrost, wenn ein sedimentologischer Wasserstauer vorliegt, Intraklasten und vor allem Tropfenböden bzw. Kryoturbationstaschen mit verstellten Grobböden sind aber diagnostische Merkmale von Permafrost (van Vliet-Lanoë, 1991). Van Zuidam (1976a) beschreibt aufgrund eigener Befunde und Vergleiche mit weiteren Studien für den pleistozänen Permafrost südlich der Pyrenäen während der Würmeiszeit eine Untergrenze von 650 m und für die Rißeiszeit eine Untergrenze von 480 m.

Auf der Iberischen Halbinsel belegen Untersuchungen von Fränzle (1959), dass im Kastilischen Scheidegebirge (Zentralspanien) die Untergrenze für Solifluktion während des letzten Glazials in Spanien bei 700 m über dem Meeresspiegel lag. Untersuchungen zur Verbreitung sogenannter Wanderschuttdecken zeigen, dass diese fast auf der gesamten Iberischen Halbinsel oberhalb von etwa 200 m ü. M. vorhanden sind (Brosche, 1978a). Jüngere Studien weisen ebenfalls auf eine periglaziale Prägung des Ebro-Beckens zwischen 21 ka und 9 ka in Form verstärkter Erosion in Verbindung mit einer spärlichen Vegetationsbedeckung (Bastida et al., 2013). Bei Zaragoza belegen in Dolinen und unter fluvialen Sedimenten erhaltene Löss, Windkanter und geschichtete Sande periglaziale Bedingungen (Luzón et al., 2012). Die Textur der Löss ist von hohen Anteilen an Grobschluff und Feinsand geprägt. Die Vegetation im Ebro-Becken und Aquitain-Becken wird während der kalten Phasen des Spätpleistozäns von *Artemisia*, *Pocaceae*, *Chenopodiaceae*, *Ephedra* und *Asteraceae* dominiert und im Ebro-Becken immer von Baumpollen begleitet (Reille & Andrieu, 1995; González-Sampéris et al., 2005).

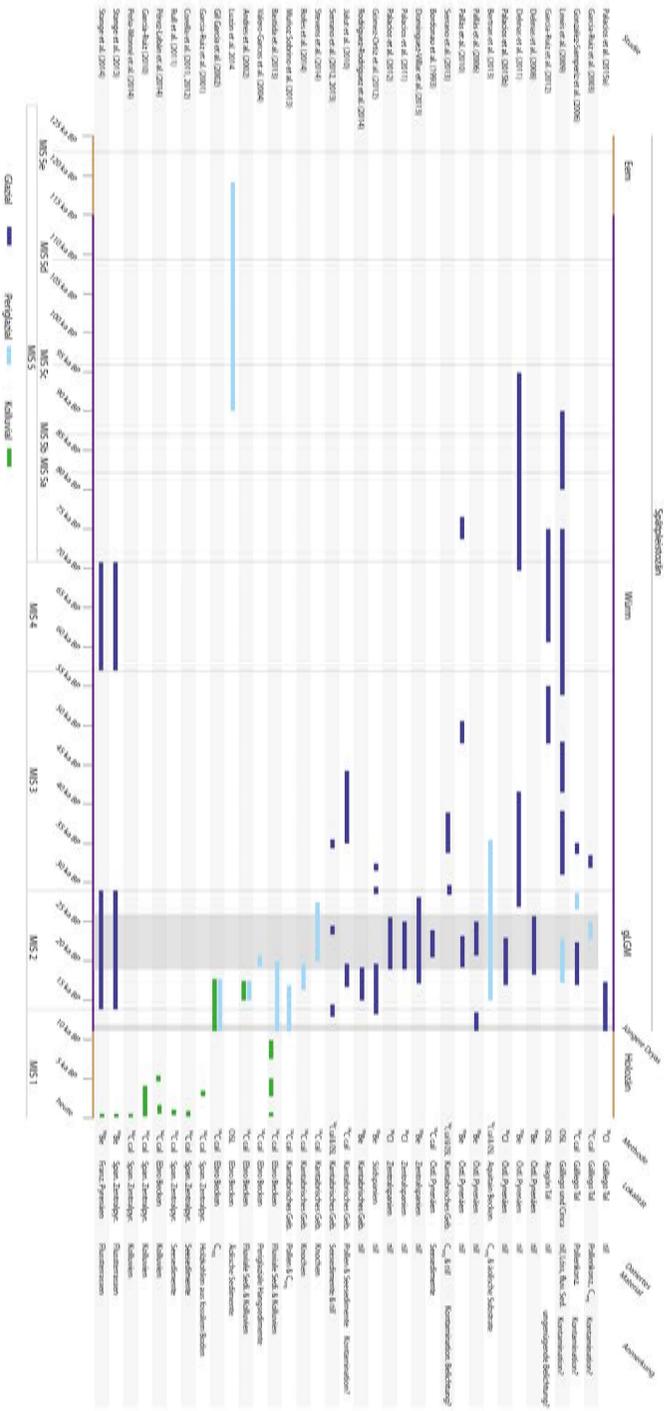
Palynologische Untersuchungen an Seesedimenten südlich des Ebro-Beckens belegen, dass um 13 540–11 270 cal BP die Vegetation mit Koniferen in Kombination mit weiterer Steppen-

vegetation vom Steppenklima beeinflusst ist (Valero-Garces et al., 2004; Aranbarri et al., 2014). In den Ausläufern der Pyrenäen etwa 20 km südlich des Untersuchungsgebiets weisen palynologische Untersuchungen an periglazialen Hangsedimenten um 23 ka und 14 ka auf die Dominanz kalt-ariden Gräser (García-Ruiz et al., 2001). Uran-Thorium-Datierungen von Stalagmiten, die in einer Höhle auf periglazialen Hangsedimenten wachsen, haben ein Alter von  $10\,910 \pm 55$  und  $9040 \pm 100$  U/Th-Jahren und markieren damit das Ende periglazialer Bedingungen. Im Iberischen Gebirge südlich des Ebro-Beckens ist die Vegetationsbedeckung auf 1780 m ü. M. zwischen 17 ka und 15 ka nur spärlich (Gil García et al., 2002). Steppenvegetation mit nur geringem Kiefernanteil bedeckt die Hänge und Erosion führt zur Verlagerung von Sedimenten bis zur Zunahme der Vegetationsbedeckung um 15 ka.

### 5.2.2 Spätpleistozäne Glazialchronologie der östlichen und Zentral-Pyrenäen

Chronologische Untersuchungen mittels Absolutdatierungen zum Ausmaß der spätpleistozänen Vergletscherungen wurden anfänglich mit  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an glaziolakustrinen Sedimenten und in Kombination mit Pollenanalysen vorgenommen (Mardones & Jalut, 1983; Jalut et al., 1988; Jalut et al., 1992; Reille & Andrieu, 1995). Die Untersuchungen legen einen Rückzug der Gletscher von den Maximalständen mit 38,4 ka bzw. 34 ka nahe, auf denen die zum gLGM asynchrone Vereisung der Pyrenäen postuliert wurde, wobei die Asynchronität aufgrund widersprüchlicher Pollenanalysen umgehend angezweifelt wurde (Turner & Hannon, 1988). Studien im Bereich des pleistozänen Nährgebiets des Gállego-Gletschers an limnischen Sedimenten geben ebenfalls Hinweise auf eine asynchrone Vergletscherung (García-Ruiz et al., 2003), wobei die maximale Vergletscherung während der Würmeiszeit vor  $29\,400 \pm 600$   $^{14}\text{C}$  BP (entspricht 33 265–31 375 cal BP) datiert und ein später und nur schwach ausgeprägter jüngerer Vorstoß um  $21\,970 \pm 170$   $^{14}\text{C}$  BP (entspricht 25294–24338 cal BP) hinter dem Maximalstand geblieben ist (Abb. 15). Weitere palynologische Untersuchungen zeigen, dass während des gLGM ein erneuter Gletschervorstoß geringen Ausmaßes die Sedimentation der untersuchten Profile gestört hat, eine asynchrone Vergletscherung wird aufgrund der Datierung an der Basis des Sees mit 33 cal kyr BP begründet (Gonzalez-Samperiz et al., 2006). Zu berücksichtigen ist, dass die Untersuchungen von Gonzalez-Samperiz et al. (2006) vor allem für die in das MIS 3 reichenden  $^{14}\text{C}$ -Datierungen der Pollenkonzentrate insgesamt nur sehr geringe Pollenmengen enthalten und hauptsächlich aus Kiefernpollen bestehen und damit nur bedingt aussagekräftig hinsichtlich der Vegetationszusammensetzung sind (Froyd, 2005).

Eine Zusammenfassung von Pallàs et al. (2006) der bis dato publizierten chronologischen Studien zur spätpleistozänen Vergletscherung der Pyrenäen zeigt, dass bei einem Großteil der  $^{14}\text{C}$ -Analysen Hartwassereffekte bzw. Kontamination mit  $\text{CaCO}_3$  oder jüngerer organischer Substanz nicht berücksichtigt wurden. Des Weiteren wurden unkalibrierte Alter oft direkt als Kalenderjahre verwendet und Schichtwechsel in dem meist mittels Bohrung



**Abbildung 15:** Zusammenstellung der spätpleistozänen Landschaftsentwicklung aus verschiedenen Studien (s. a. Beilage 2): MIS nach Listekci und Raymo (2005), Eem nach Dahl-Jensen et al. (2013), glGM nach Clark et al. (2009), Jüngere Dryas nach Litt et al. (2007) und Brauer et al. (2008) und Holozän nach Walker et al. (2009); Angabe der Alter über die gesamte angegebene Fehlerspannweite

gewonnenen Probenmaterial nicht einbezogen. Ferner zeigen sich bei den diversen palynologischen Untersuchungen hinsichtlich der Vegetationszusammensetzung oft widersprüchliche Differenzen für direkt benachbarte Standorte. Eine Überprüfung früherer Datierungen kalkhaltiger Seesedimente in den östlichen Pyrenäen, die unter einer Seitenmoräne liegen und auf 38,4 kyr  $^{14}\text{C}$  BP datiert wurden, zeigt, dass diese bei korrekter Vorbehandlung ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von  $18\,240 \pm 600$   $^{14}\text{C}$  BP haben (entspricht 23 549–20 633 cal BP) und damit auf eine Synchronität zum gLGM weisen (Bordonau et al., 1993).

Oberflächendatierungen von Erratika auf Seiten- und Endmoränen in den östlichen Pyrenäen belegen maximale Gletscherstände synchron zum gLGM und in höheren Lagen Gletschervorstöße während der Jüngeren Dryas (Pallàs et al., 2006). Delmas et al. (2008) können ebenfalls mittels Oberflächendatierungen an Erratika einen gLGM-zeitlichen Gletschervorstoß belegen, der aber nicht an das räumliche Ausmaß einer früheren würmzeitlichen Vergletscherung heranreicht. Pallàs et al. (2010) bestätigen erneut in den östlichen Pyrenäen die zum gLGM synchronen Eisvorstöße der großen Talgletscher, die auch den Maximalstand während des gLGM erreichten. Auch Delmas et al. (2011) und jüngst Palacios et al. (2015b) konnten für die östlichen Pyrenäen zeigen, dass der maximale Gletscherstand im Würm während des gLGM erreicht wurde.

### 5.2.3 Spätpleistozäne Glazialchronologie des Kantabrischen Gebirges

Untersuchungen im Kantabrischen Gebirge an Seesedimenten weisen auf eine frühes ILGM zwischen 44 und 35 ka (Jalut et al., 2010), wobei die Chronologie auf  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Pollenkonzentraten basiert und zwischen 48 ka und 32 ka markante Altersinversionen aufweist. Erneute Gletschervorstöße zeitgleich zum gLGM, aber mit einer geringeren Ausprägung sollen bis 18 ka noch nicht abgeschmolzen sein, um 16 ka lagen die Zehrgebiete der Gletscher oberhalb von 1300 m ü. M. (Jalut et al., 2010). Weitere Studien im Kantabrischen Gebirge zeigen ebenfalls Belege für eine würmzeitliche Gletscherausdehnung vor 35 ka (Serrano et al., 2012; Serrano et al., 2013), wobei auch in diesen Studien die Altersdatierungen Inversionen aufweisen. Hingegen belegen Untersuchungen mittels Oberflächendatierungen von Rodríguez-Rodríguez et al. (2014), dass im Kantabrischen Gebirge der glaziale Maximalstand um 19 ka bis 16 ka erreicht wurde und somit synchron zum gLGM war. Der Maximalstand wurde vorher mittels OSL an *till* auf 33 ka datiert (Alberti et al., 2011). Isotopenanalysen an Tierknochen zeigen für die unvergletscherten Gebiete im Kantabrischen Gebirge für 27 cal kyr BP bis 20 cal kyr BP eine aride und kaltzeitliche Steppenlandschaft. Um 20 cal kyr BP bis 18,5 cal kyr BP herrschte humides kaltzeitliches Klima (Rofes et al., 2014; Stevens et al., 2014). Während der Ältesten Dryas und der Jüngeren Dryas wuchs auf 1600 m ü. M. spärliche und kaltzeitliche Steppenvegetation (Muñoz Sobrino et al., 2013).

#### **5.2.4 Spätpleistozäne Glazialchronologie Zentralspaniens**

Im Iberischen Scheidegebirge nordwestlich von Madrid sind die spätpleistozänen Gletschervorstöße mit 28 ka bis 19 ka etwas früher, aber größtenteils synchron zum gLGM (Palacios et al., 2011; Palacios et al., 2012; Dominguez-Villar et al., 2013). Zwischen 19 ka und 16 ka begann das Abschmelzen der Gletscher mit einzelnen Unterbrechungen in Form kleinerer Gletschervorstöße (Pedraza et al., 2013). Ab 16 ka begann ein rasches Abschmelzen der Gletscher und ab 12 ka waren die Gletscher im Iberischen Scheidegebirge komplett abgeschmolzen. Die Vorstöße im Iberischen Scheidegebirge um 28 ka bis 26 ka werden teilweise als Hinweis auf eine Asynchronität der Karvergletscherungen zum gLGM gewertet (Dominguez-Villar et al., 2013), die aber nur bei einigen Gletschern beobachtet wurde und auch methodisch bedingt sein kann. Der Rückgang der Vergletscherung geht in Zentralspanien um 20 ka bis 17 ka einher mit der Sedimentation von Flussterrassen (López-Recio et al., 2014).

#### **5.2.5 Spätpleistozäne Glazialchronologie der Sierra Nevada**

Für die Sierra Nevada wird ein zum gLGM asynchrones Maximum um 32 ka angenommen (Gómez-Ortiz et al., 2012), auf das ein weiterer Vorstoß geringen Ausmaßes um 20 ka folgte. Die Untersuchung wurde mittels Oberflächendatierungen an glazialen Sedimenten und Festgestein durchgeführt. Insgesamt 19 Proben wurden datiert: Nur 2 Proben haben ein Alter von 32 ka bzw. 30 ka und die verbleibenden 17 Proben sind mit 19 ka bis 8 ka deutlich jünger. Für den Zeitraum zwischen 20 und 30 ka liegen keine Daten vor, die Kargletscher bildeten um 14 bis 15 ka BP Moränen nur noch im Hochgebirge. Blockgletscher stabilisierten sich in der Sierra Nevada um 12 ka (Oliva et al., 2014).

### **5.3 Holozäne Landschaftsentwicklung in den Pyrenäen**

Das Klima war auf der Iberischen Halbinsel zu Beginn des Holozäns bis 7 ka feuchter als heute. Zwischen 7 ka bis 5,5 ka herrschte eine Übergangsphase und seit 5,5 ka ist das Klima arider (Jalut et al., 2009; Pérez-Obiol et al., 2011), wobei in den Zentralpyrenäen vor 5 ka mehrere kleine Gletschervorstöße beschrieben werden (Gellatly et al., 1992; García-Ruiz et al., 2014). Waldbrände traten im Gállego-Tal nördlich von Biescas im frühen Holozän bis 7,7 ka häufig auf, waren aber eher nicht anthropogen induziert (Gil-Romera et al., 2014). Ab 7,7 ka bis 6 ka finden sich in den Archiven im nördlichen Gállego-Tal keine Hinweise auf Waldbrände. Im frühen Holozän bis 7,5 ka dominierten in den Hochlagen der Pyrenäen Kiefern die Wälder, die tieferen Lagen waren von sommergrünen Laubwäldern bestanden (Pérez-Díaz et al., 2014). Um 7,5 ka bis 6,5 ka fanden sich erste anthropogene Eingriffe in die Vegetationszusammensetzung mit Wegerich und der Zunahme von

Buschvegetation (Cunill et al., 2013; Pérez-Díaz et al., 2014). Der Anbau von Getreide begann in den Pyrenäen vor 7 ka (Caruso Ferme & Piqué i Huerta, 2014). Für die Zeit um 6,5 ka bis 4,2 ka weisen Getreidepollen und eine Abnahme der Baumpollen auf die Zunahme von Ackerbau (Mora et al., 2011; Pérez-Díaz et al., 2014). Ab 4,2 ka bis 2,2 ka nahm der Anteil an Getreidepollen weiter zu. Anthropogene Eingriffe in die Waldzusammensetzung sind mit der Ausbreitung von Buche auf der Nord- und Südseite der Pyrenäen ab 4 ka festzustellen (Reille & Andrieu, 1995) und analog zum Alpenraum sind in den Pyrenäen Kastanie und Walnuss mit dem Römischen Reich vorhanden (Reille & Andrieu, 1995; Morales-Molino et al., 2015). Ab 2,2 ka weist eine flächige Entwaldung auf Ackerbau, Weidewirtschaft und komplexe Siedlungsstrukturen (Ejarque et al., 2010; Pérez-Díaz et al., 2014), wobei Feuer zur Rodung und Freihaltung der Flächen für die Weidewirtschaft genutzt wurde (Bal et al., 2011; Rius et al., 2012; Kaal et al., 2013). Mit dem Römischen Reich wurde die Landnutzung in den Pyrenäen intensiver (Ejarque et al., 2009) und neben Ackerbau und Weidewirtschaft wurden Erze abgebaut und mittels lokal produzierter Holzkohle verhüttet (Pèlachs et al., 2009). Die mit der Landnutzung einhergehende Bodenerosion in den Pyrenäen und im Ebro-Becken ist für die Zeit ab 2,2 ka mit der Ibero-romanischen Besiedlung häufig zu beobachten und die Bodenerosion wurde ab dem Mittelalter vor 1 ka landschaftsprägend (García-Ruiz et al., 2001; García-Ruiz, 2010; Corella et al., 2011; Rull et al., 2011; Corella et al., 2012; Peña-Monné et al., 2014; Pérez-Lambán et al., 2014). Vor 0,5 ka war die Entwaldung am ausgeprägtesten und Getreidepollen weisen auf Ackerbau bis auf 2200 m ü. M. (Cunill et al., 2012). Die Waldgrenze verlief in den Pyrenäen während des Holozäns teilweise mehr als 400 m höher als heute, die Tieferlegung der Waldgrenze wird auf die mittelalterliche Transhumanz zurückgeführt (Cunill et al., 2012), wobei für die Sommerweide während des Mittelalters Höhenlagen oberhalb von 1700 m bis 1900 m ü. M. genutzt wurden (Martí et al., 1997).

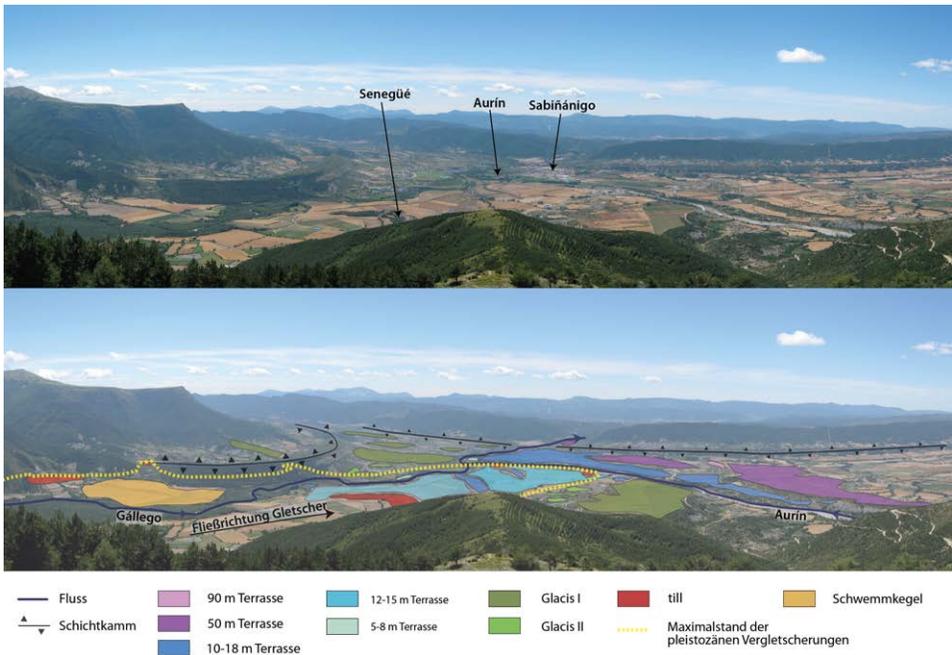
## **5.4 Spätquartäre Geomorphologie und Chronologie im Aragón-Tal und Gállego-Tal**

### **5.4.1 Rezente und holozäne Geomorphodynamik**

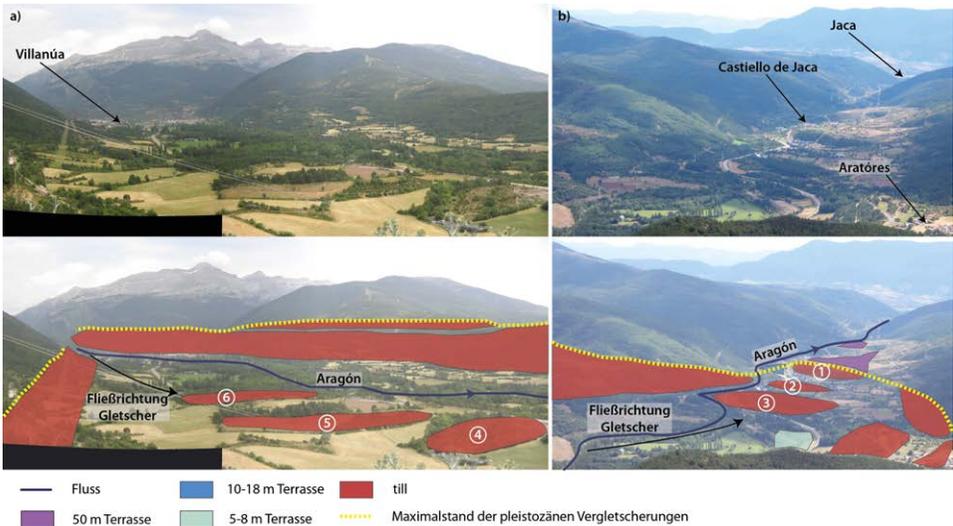
Die rezente Geomorphodynamik wird im Untersuchungsgebiet oberhalb der jährlichen 0-°C-Isotherme von 2726 m ü. M. von periglazialen Prozessen geprägt (Barrio et al., 1990). Je nach Exposition sind periglaziale Prozesse mit Steinstreifen und Steinnetzen auch oberhalb von 2400 m ü. M. rezent noch vorhanden (Garcia-Ruiz et al., 1990; Garcia-Ruiz et al., 2011). In den Pyrenäen waren 2006 noch 13 aktive Blockgletscher vorhanden, ihre Wurzeln befinden sich meist oberhalb von 3000 m ü. M. (Serrano et al., 2006). Von den 206 Karen im Einzugsgebiet des Gállego und Aragón (Abb. 18) ist ein Kar auf der Nordseite des Picos del

Inferno auf 2900 m ü. M. direkt nordöstlich des Untersuchungsgebiets noch vergletschert (Arenillas et al., 1997). Die relikthischen Kare sind ab bei einer Höhe des Grates von 2000 m ü. M. entwickelt, die niedrigste Karschwelle befindet sich auf 1700 m ü. M. (Garcia-Ruiz et al., 2000).

Im Gállego-Tal (Abb. 16) und Aragón-Tal (Abb. 17) sind am Fuße der in den flachen Talgrund mündenden Seitentäler noch rezente Schwemmfächer ausgebildet (Gómez-Villar & García-Ruiz, 2000). Aufgrund der Reduzierung landwirtschaftlicher Flächen in jüngerer Zeit stagniert die Akkretion der Schwemmfächer und lineare Erosion zerschneidet sie. Die Genese bzw. Mobilisierung von Schwemmfächern ist ähnlich der im Untersuchungsgebiet häufig auftretenden Murgänge – mit teilweise katastrophalem Ausgang (White et al., 1997b) – mit sommerlichen Niederschlagsereignissen verknüpft. Die höchsten Erosionsraten werden in den Zentralpyrenäen bei Zyklonen aus Westrichtung verursacht (Nadal-Romero et al., 2015). Niederschlagsmengen von 100 mm bis 130 mm innerhalb von 24 Stunden verursachen im Untersuchungsgebiet Rutschungen oder Muren, bei Niederschlagsmengen zwischen 130 mm bis 160 mm werden größere Massenverlagerungen aktiviert bzw. reaktiviert (García-Ruiz et al., 2002).



**Abbildung 16:** Geomorphologie am Zusammenfluss von Gállego und Aurin; eigene Zusammenstellung, Geomorphologie nach García-Ruiz et al. (2011)



**Abbildung 17:** Geomorphologie im Aragón-Tal nördlich von Jaca: a) Blick von Aratóres nach Norden und b) Blick über Aratóres nach Süden; eigene Zusammenstellung, Geomorphologie nach García-Ruiz et al. (2011), Nummerierung der Endmoränen nach Panzer (1925)

Die landschaftsprägende Wirkung von Muren im Untersuchungsgebiet in historischen Zeiten ist von einer im 11. Jahrhundert im Talgrund des westlichen Nachbartals des Aragóns erbauten Kirche belegt. Seit deren Errichtung haben sukzessiv Muren Sediment um die Kirche angelagert, weswegen das Gebäude bis in das 20. Jahrhundert fast gänzlich verschüttet war (Martí et al., 1997). Die Mobilisierung großer Mengen an Sediment ist in den spanischen Zentralpyrenäen bei hohen Niederschlagsmengen in Kombination mit Wanderfeldbau, Brache, Brandrodung oder Waldbränden beobachtet worden (García-Ruiz et al., 1995; García-Ruiz et al., 1997b). Der in den Pyrenäen auch an steilen Hängen angewandte Dauerfeldbau ist aufgrund angelegter Terrassierung und Drainagesysteme kaum von Erosion betroffen.

Bei verfallenen Terrassierungen oder funktionsuntüchtigen Drainagesystemen ist die erosionsmindernde Wirkung der Terrassen meist nicht mehr gegeben (Gallart et al., 1994). Bei einer verminderten Sukzession können auf seit 40 Jahren aufgegebenen Feldern selbst schwache Regenereignisse Erosion auslösen, da auf den meist steilen Hängen und den bereits stark erodierten und degradierten Böden nur sehr wenig Vegetation wächst (García-Ruiz et al., 2005). Calciumcarbonat und Humus können wegen der aggregierenden Wirkung der Bodenerosion nur bedingt entgegenwirken (Pardini et al., 1991; Ruiz Sinoga et al., 2012). Der Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzung im 20. Jahrhundert hat zu einer starken Reduzierung des Ackerbaus und der Beweidungsintensität geführt, sodass die

mittels Terrassierung oder als Weidefläche genutzten Steilhänge aufgegeben und aufgeforstet wurden, was die Erosion stark gemindert hat (García-Ruiz et al., 1997a). Im immer noch weidewirtschaftlich genutzten Gállego-Tal nördlich von Biescas ist im Jahresverlauf betrachtet der gelöste Transport mit der Schneeschmelze im Frühjahr am größten, aufgrund der sommerlichen Starkregenereignisse und der Transhumanz ist der Transport von Schwebfracht und fluvialen Geschiebe im Sommer und Herbst am größten (White et al., 1997a). Des Weiteren zeigen Untersuchungen im Ebro-Becken, dass in Gebieten mit großer Hangneigung und geringer landwirtschaftlicher Nutzung weniger Schwemmfächer vorhanden sind als in Gebieten mit flacheren Hängen und einer hohen Intensität an Ackerbau und Weidewirtschaft (Gómez-Villar & García-Ruiz, 1997).

#### **5.4.2 Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Glacis**

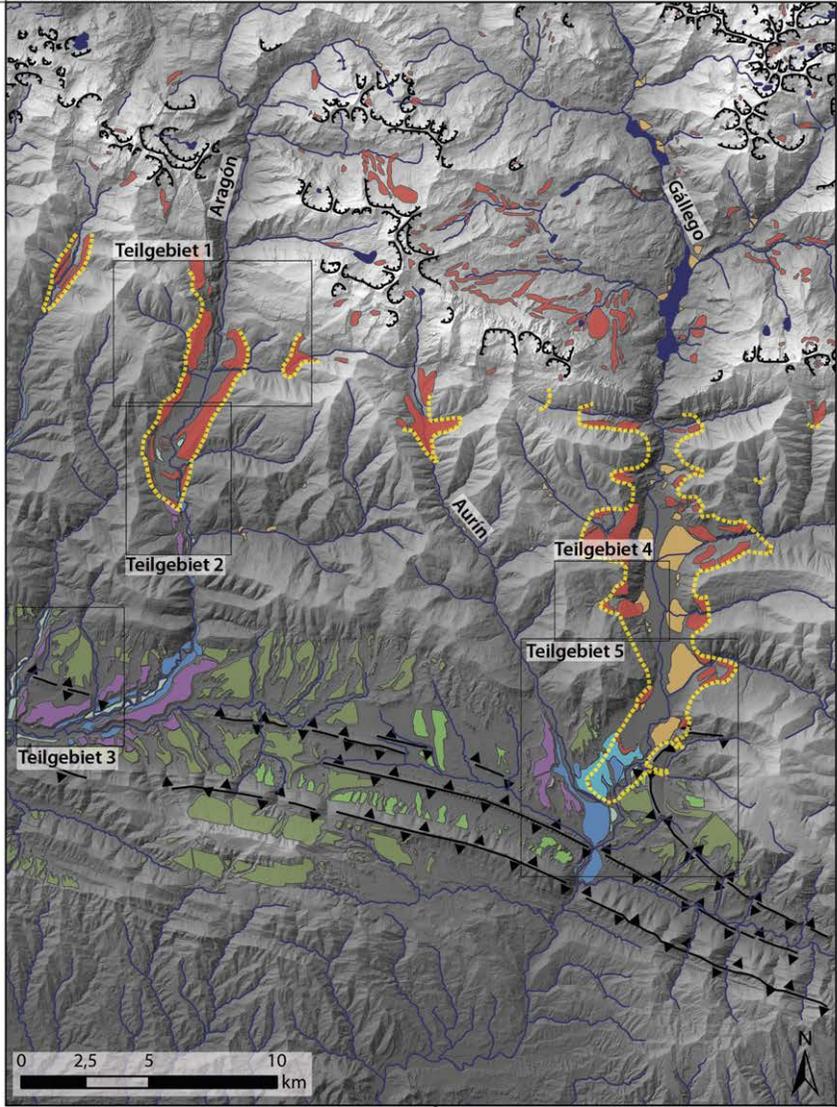
An den Hängen des Jaca-Beckens (Abb. 16 & Abb. 18) sind sowohl auf den älteren geomorphologischen Karten (Barrere, 1966) als auch auf den jüngsten Karten (García-Ruiz et al., 2011) Glacis auskartiert. Als Glacis bzw. Pediment oder Fußfläche werden von großflächigen Umlagerungsprozessen geprägte Unterhänge bezeichnet (Mensching, 1958; Rohdenburg, 1971), wobei die definitorischen Abgrenzungen von Fußfläche, Glacis und Pediment unscharf und teilweise widersprüchlich sind (Faust, 1995). Die Bildung von Glacis ist sowohl unter periglazialen Bedingungen (Schunke, 1988; Vandenberghe & Czudek, 2008) als auch in den Tropen und Subtropen beschrieben (Mensching & Raynal, 1954; Busche, 1973). Während in den Tropen flächenhafte Abspülvorgänge ein wichtiger Faktor bei der Genese sind, wird die Entstehung der Glacis in Periglazialgebieten unter anderem auf Solifluktion und Nivation zurückgeführt (Schunke, 1988; Thorn & Hall, 2002). Wenzens (1992) assoziiert die Bildung von Glacis in Südspanien aufgrund der hangparallelen Einregelung des Skeletts mit Solifluktion und damit periglazialen Bedingungen. Während Mensching (1973) die vornehmlich quartäre Prägung der Glacis betont, setzt Barrere (1966) die Genese der Glacis im Untersuchungsgebiet mit „präglazial“ in das Pliozän und die Entstehung der schuttreichen hangenden Schicht soll denudativ und nicht solifluidal sein (Barrere, 1975). Im Untersuchungsgebiet haben die Glacis meist einen trapezoiden Aufbau und sind im Wurzelbereich schmaler als im Fußbereich (Abb. 16). Der Hang ist oft gestreckt-gestreckt und ein aus parautochthonem Schutt bestehendes Sediment mit Mächtigkeiten zwischen 1 m und 2 m hängt über dem anstehenden Mergel (Barrere, 1975). Von den Hauptglacis (Glacis I) abgetrennte und zeugenbergähnliche Glacisreste (Glacis II) liegen oft im Randbereich der Hauptglacis (Serrano, 1998).

### 5.4.3 Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Terrassen

Während bei Jaca der Aragón und bei Sabiñánigo der Gállego und Aurín von Norden kommend aus den glazial geprägten Tälern abfließen (Abb. 18), ist der knapp 15 km lange Abschnitt des Jaca-Beckens zwischen Sabiñánigo und Jaca ein Trockental mit *underfitted streams* (Häffner, 1963). Trotz des Fehlens eines zugehörigen Flusses sind in dem Trockental zwei Terrassenniveaus auf 110–130 m und 90 m über dem rezenten Flussbett des Aragóns vorhanden, die sich auch westlich von Jaca am Flusslauf des Aragóns verfolgen lassen (Solé Sabaris, 1942; Häffner, 1963). Mangels einer 50-m-Terrasse im Trockental wird eine Flusslaufänderung des Gállego nach der Bildung der 90-m-Terrasse angenommen, wobei der Gállego bis zur Flusslaufänderung nach Westen in den Aragón abgeflossen sein soll (Solé Sabaris, 1942; Häffner, 1963). Mit dem Durchbruch des Gállego durch den Schichtkamm bei der Stadt Sabiñánigo wurde entlang des neuen Flusslaufs analog zum Aragón eine 50-m-Terrasse gebildet. Im Gegensatz zur 90-m-Terrasse sind keine 110–130-m-Terrassen in der aktuellen geomorphologischen Karte, die das Untersuchungsgebiet abdeckt, aufgeführt (García-Ruiz et al., 2011). Panzer (1925) ordnet die 50-m-Terrasse aufgrund von Untersuchungen im Aragón-Tal in das Riß ein. Morphometrische Schotteranalysen an den Terrassen belegen diese Annahme (Häffner, 1963). Die 90-m-Terrasse, von Häffner (1963) als 80-m-Terrasse bezeichnet, wäre der Benennung der Glaziale analog zum Alpenraum in die Mindel-Eiszeit zu stellen (Häffner, 1963). Während des Würms wurden zwei Terrassenniveaus gebildet, nach Häffner (1963) die 20-m- und 10-m-Terrasse, nach García-Ruiz et al. (2011) die 5–8-m-Terrasse und die 10–18-m-Terrasse, wobei beim Zusammenfluss von Gállego und Aurín noch eine 12–15-m-Terrasse zusätzlich vorhanden ist. Geophysikalische Untersuchungen zeigen, dass das Gállego-Tal nördlich der Senegüé-Endmoräne mehrere Dekameter glazial übertieft ist (Turu et al., 2007) und die Untergrenze der 12–15 m mächtigen Schotterpakete aufgrund starker Ondulationen auf ein *braided-river* System weist (Hirsch & Raab, 2014).

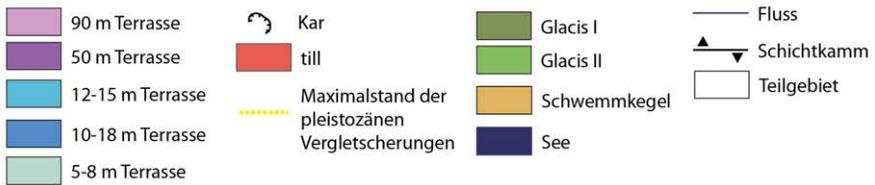
Am Unterlauf des Gállego führte Subrosion während des frühen Pleistozäns (Benito et al., 1998) und gegen Ende des MIS 6 um 140 ka bis 155 ka (Benito et al., 2010) zu einem veränderten Abflussregime. Das pleistozäne Abflussregime am Gállego ist somit, im Gegensatz zum Aragón, nur bedingt hinsichtlich glazifluvialer Interpretationen geeignet (Benito et al., 2000). Von pleistozäner Subrosion sind ebenfalls die östlich des Gállego verlaufenden und auch in den Ebro mündenden Cinca, Segre und Noguera-Ribagorzana betroffen (Lucha et al., 2012). Bei Untersuchungen an gestuften Terrassen des Cinca 60 km östlich des Gállego konnten vier unterschiedliche Terrassenniveaus mit 202 ka (MIS 7), 139 ka (MIS 6), 100 ka (MIS 5) und 62 ka (MIS 4) datiert werden, wobei mit Ausnahme der 100 ka alten Terrasse alle anderen Terrassen kaltzeitlichen Phasen zugeordnet sind (Stange et al., 2013). In den

30 T 694089 m 4742940 m



Transversale Mercator Projektion, Datum WGS84

30 T 726547 m 4699741 m



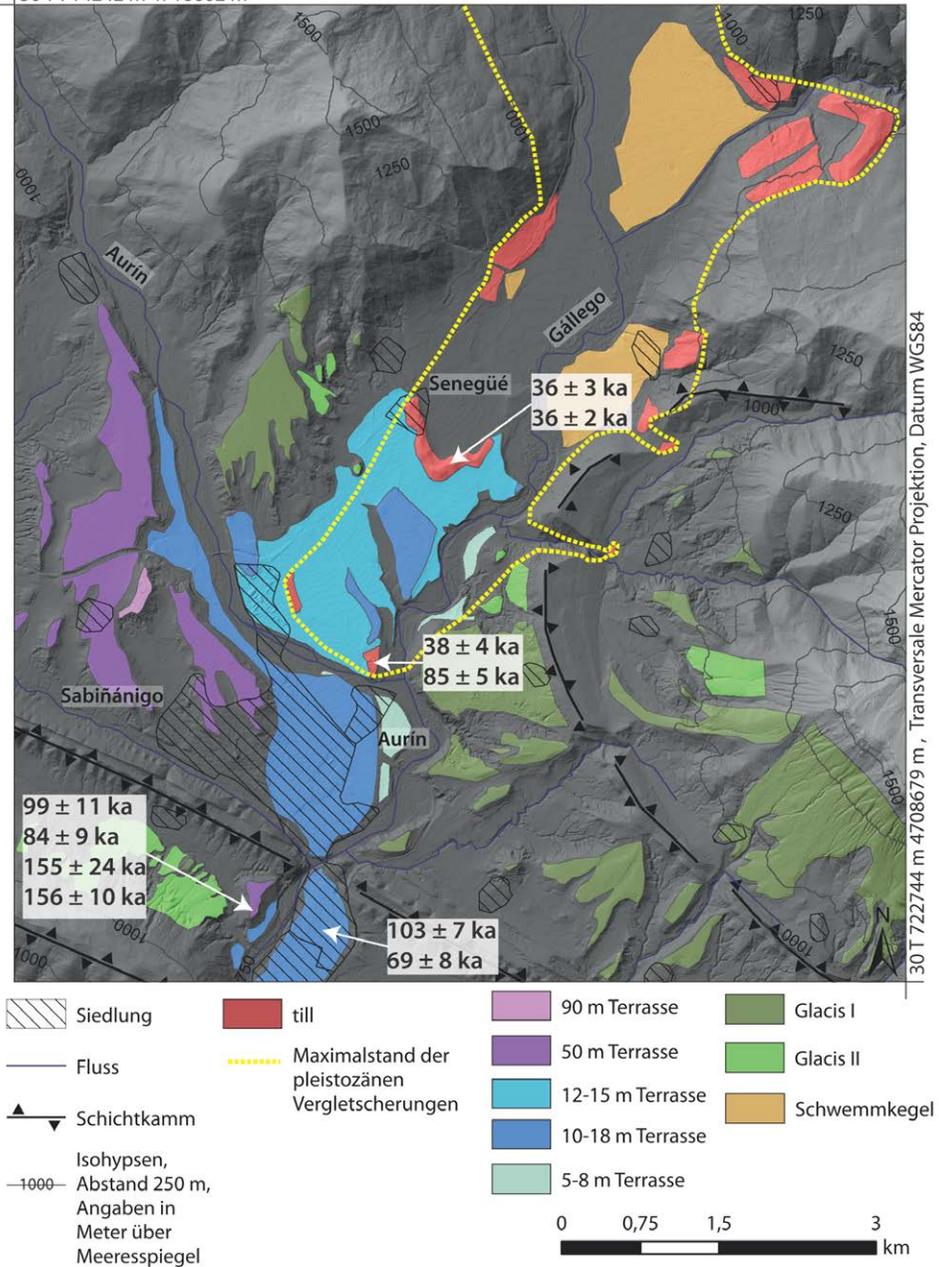
**Abbildung 18:** Pleistozäne Formen im Untersuchungsgebiet (s. a. Beilage 1); Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

französischen Pyrenäen zeigen Terrassenuntersuchungen, dass der maximale Gletschervorstoß während des Würm bereits im MIS 4 stattgefunden hat und ein erneuter Vorstoß während MIS 2 knapp hinter dem Maximalstand des MIS 4 geblieben ist (Stange et al., 2014). Die rißzeitliche Vergletscherung an der Garonne reichte deutlich weiter in das Vorland als die Gletschervorstöße im Würm.

#### **5.4.4 Spätpleistozäne Geomorphodynamik – Morphologie und Chronologie**

Sowohl im Gállego-Tal nördlich von Sabiñánigo als auch im Aragón-Tal nördlich von Jaca weisen Endmoränen auf pleistozäne Gletschervorstöße (Abb. 16 & Abb. 17). Während im Gállego-Tal nur zwei Endmoränen liegen, sind im Aragón-Tal sechs Endmoränen beschrieben (Barrere, 1966; Garcia-Ruiz et al., 2011). Die bogenförmige Endmoräne von Senegüé ist mit einem steilen konkaven Innenhang und konvexem Außenhang im Vergleich zur Aurín-Endmoräne noch frisch. Nach Pena et al. (2004) liegt im Gállego-Tal mit der nördlichsten Endmoräne von Senegüé und der nur schwach ausgeprägten Endmoräne bei Aurín noch ein dritter Maximalstand bei Sabiñánigo im Bereich des Durchbruchs des Gállegos durch den Nordwest-Südost-streichenden Schichtkamm (Abb. 19). Von diesem als Sabiñánigo bezeichneten glazialen Vorstoß fehlen aber jegliche Endmoränen und der Vorstoß wurde nur anhand von Erratika festgelegt. Die parallel zueinander gestaffelten Seitenmoränen im Gállego-Tal und in den in das Haupttal mündenden Hängetälern weisen ebenfalls auf mindestens zwei Vergletscherungsphasen (Abb. 18), wobei die ältere Phase auch die umfangreichere war (Barrere, 1966). Chronologische Untersuchungen an der Senegüé-Endmoräne mittels OSL-Datierungen an *till* in 1 m unter GOK liefern Alter von  $36 \pm 3$  ka und  $36 \pm 2$  ka (Peña et al., 2004; Lewis et al., 2009). Die Endmoräne von Aurín wurde mittels OSL an *till* in einer Tiefe von 2,8 m jeweils auf  $38 \pm 4$  ka und  $85 \pm 5$  ka datiert. Aufgrund der südlicheren Lage der Aurín-Endmoräne wurde das jüngere Alter von  $38 \pm 4$  ka von den Autoren verworfen und die Entstehung der Aurín-Endmoräne um 85 ka und die der Senegüé-Endmoräne um 36 ka angesetzt. Zu berücksichtigen ist, dass bei glazialen Sedimenten die nötige vollständige Bleichung für eine korrekte Datierung mittels OSL oft nicht gegeben ist, sodass zu hohe Alter gemessen werden (Fuchs & Owen, 2008; King et al., 2013). Eine ausreichende Bleichung ist hingegen bei der äolischen und fluvialen Verlagerung gegeben und wird meist bei kolluvialen Sedimenten während der Verlagerung erreicht (Fuchs et al., 2010). Unter Berücksichtigung, dass eine ungenügende Belichtung, die in *till* zu erwarten ist, zu hohe Alter verursacht und die nur etwa 2 km nördlich gelegene Senegüé-Endmoräne mit 36 ka jeweils zwei nur geringfügig jüngere Alter liefert, ist die Entscheidung von Pena et al. (2004) und Lewis et al. (2009) für ein Alter der Aurín-Endmoräne von 85 ka überraschend. Die Autoren führen eine ausgeprägtere Bodenentwicklung und die flachere Form der Endmoräne der Aurín-Endmoräne im Vergleich zur deutlich jünger erscheinenden Endmoräne von

30 T 714242 m 4718602 m

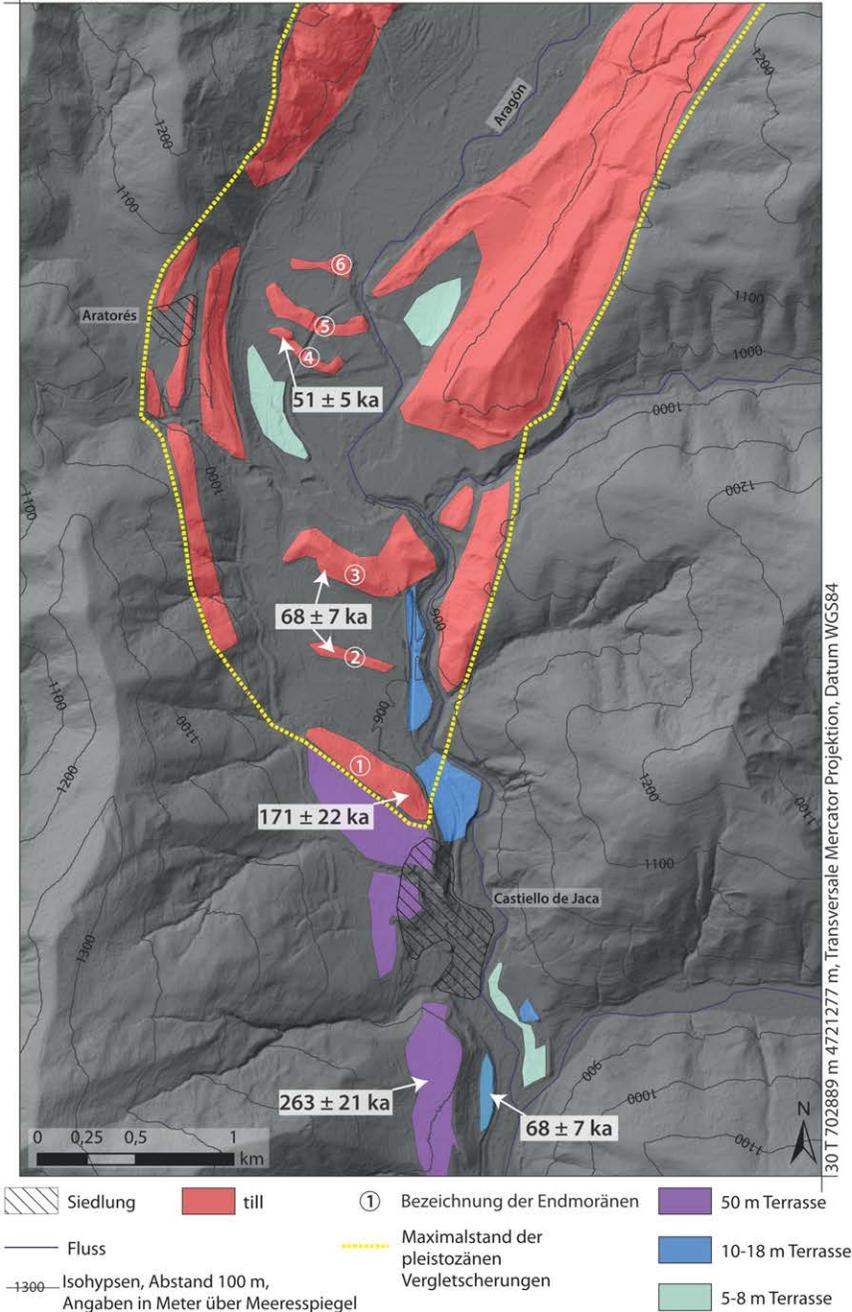


**Abbildung 19:** Geomorphologie und Glazialchronologie im Gállego-Tal bei Sabiñánigo, Teilgebiet 5; Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011), OSL-Alter nach Pena et al. (2004) und Lewis et al. (2009); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

Senegüé als Grundlage Entscheidung an. Der glaziale Vorstoß bis Sabiñánigo wird von Pena et al. (2004) mit der 50-m-Terrasse am westlichen Ufer des Gállego südlich von Sabiñánigo korreliert. Paarweise datiertes Material aus den glazifluvialen Sedimenten ergeben OSL-Alter von  $84 \pm 9$  ka,  $99 \pm 11$  ka,  $155 \pm 24$  ka und  $156 \pm 10$  ka (Peña et al., 2004; Lewis et al., 2009). Aufgrund weiterer Datierungen mit OSL-Altern von  $140 \pm 18$  ka,  $148 \pm 8$  ka und  $150 \pm 22$  ka des gleichen Terrassenniveaus am Unterlauf des Gállegos wird der Sabiñánigo-Vorstoß um 150 ka angesetzt (Peña et al., 2004).

Im Aragón-Tal ist, im Gegensatz zum Gállego-Tal, ein ausgeprägtes Zungenbecken ausgebildet (Abb. 17, Abb. 18 und Abb. 20). Ähnlich wie im Gállego-Tal sind im Aragón-Tal an beiden Talflanken mindestens zwei Seitenmoränenzüge vorhanden. Nach Panzer (1925) ist alleine die südlichste Endmoräne im Aragón-Tal rißzeitlich (Abb. 20, Endmoräne 1), die nördlich der Endmoräne 1 befindlichen Endmoränen wurden während des Würms gebildet. OSL-Datierungen am *till* der südlichsten Endmoräne stützen mit 171 ka (García-Ruiz et al., 2012) die Einordnung der Endmoräne in das Riß (Abb. 20). Die südlich der ersten Endmoräne vorgelagerte 50-m-Terrasse wurde in einem 15 km westlich gelegenen Nachbartal ebenfalls 50 m über dem dortigen Flussniveau vorgefunden und dort mittels OSL auf  $263 \pm 21$  ka datiert (García-Ruiz et al., 2012). Die Endmoränen 2 und 3 im Aragón-Tal wurden mittels OSL an fluvialen Sedimenten der vorgelagerten 10–18-m-Terrasse auf  $68 \pm 7$  ka datiert und als Beleg eines ILGM-zeitlichen Vorstoßes interpretiert (García-Ruiz et al., 2012). Der *till* der Endmoräne 4 hat ein OSL-Alter von  $51 \pm 5$  ka (García-Ruiz et al., 2012).

Die Untersuchungen an limnischen Ablagerungen im nördlichen Gállego-Tal bei Tramcastilla auf 1640 m ü. M. (García-Ruiz et al., 2003) und El Portalet auf 1980 m ü. M. (Gonzalez-Samperiz et al., 2006) und damit im Nährgebiet der spätpleistozänen Vereisungen zeigen mittels Palynologie und  $^{14}\text{C}$ -Datierungen die Sedimentation von Seesedimenten ab 35–32 ka ( $29\,400 \pm 600$   $^{14}\text{C}$  BP, entspricht 34 685–31 979 cal BP, nach Montserrat (1992), zitiert in García-Ruiz et al. (2003)) bzw. 33–31 ka ( $28\,300 \pm 370$   $^{14}\text{C}$  BP, entspricht 33 265–31 375 cal BP (García-Ruiz et al., 2003)). Die palynologischen Analysen belegen um 25–24 ka die Präsenz kaltzeitlicher Steppenpflanzen, v. a. Poaceae und Helianthemum, und mittels Ferntransport angelieferter mesophiler Taxa ( $20\,600 \pm 170$   $^{14}\text{C}$  BP, entspricht 25 294–24 338 cal BP (García-Ruiz et al., 2003)). Um 22,5 cal kyr BP und 18 cal kyr BP ist die Sedimentation gestört, was auf einen kleineren Gletschervorstoß zurückgeführt wird, der keine Endmoränen hinterlassen hat und nicht weit vorgestoßen ist (Gonzalez-Samperiz et al., 2006). Die jüngsten Untersuchungen mittels Oberflächendatierungen an glazial verlagerten Blöcken im Gállego-Tal nördlich von Biescas belegen glaziale Aktivitäten nach dem gLGM (Palacios et al., 2015a). Des Weiteren konnten erneute glaziale Vorstöße im Spätpleistozän zwischen 14 ka und 11,7 ka morphologisch zugeordnet und datiert werden. Diese jüngsten Ergebnisse stehen damit deutlich im Widerspruch zu bisherigen Studien, die von einer Absenz glazialer



**Abbildung 20:** Geomorphologie und Glazialchronologie im Aragón-Tal nördlich von Jaca, Teilgebiet 2; Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011), OSL-Alter nach Garcia-Ruiz et al. (2012), die Datierung der 50-m-Terrasse erfolgte in einem Nachbartal; Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

Aktivitäten im nördlichen Gállego-Tal während infolge des dem gLGM ausgehen (García-Ruiz et al., 2003; Gonzalez-Samperiz et al., 2006). Anthrakologische Untersuchungen weisen auf Brände im nördlichen Gállego-Tal im Allerød um 13,5 cal kyr BP bis 13,0 cal kyr BP und im frühen Holozän von 9,8 cal kyr BP bis 7,5 cal kyr BP (Gil-Romera et al., 2014). Aufgrund der möglichen Transportreichweite von Holzkohlefaltern je nach Größe von über 10 km kann ein Ferntransport aber nicht ausgeschlossen werden (Duffin et al., 2008).

# 6 Ergebnisse

## 6.1 Synthese Transekt 1 und 2

Teilgebiet 1 liegt nahe der Stadt Villanúa im Bereich des pleistozänen Zehrgebiets des Aragóngletschers (Abb. 5, Abb. 21, Abb. 22 und Abb. 23). Im Seitental östlich von Villanúa weisen Endmoränenzüge auf eine lokale Vergletscherung, die nicht bis zum Aragóngletscher vorgedrungen ist (Abb. 21). Das Haupttal wird auf beiden Talseiten von langgezogenen Seitenmoränenkomplexen flankiert. Während sich im südlich angrenzenden Teilgebiet die Seitenmoränen in mindestens zwei Seitenmoränenzüge auffächern (Abb. 97), ist eine Differenzierung zwischen inneren und äußeren Seitenmoränen bei Transekt 1 und Transekt 2 morphologisch nicht sicher möglich. Der maximale Scheitel der Seitenmoränenkomplexe liegt bei Villanúa etwa 250 m über dem rezenten Talboden.

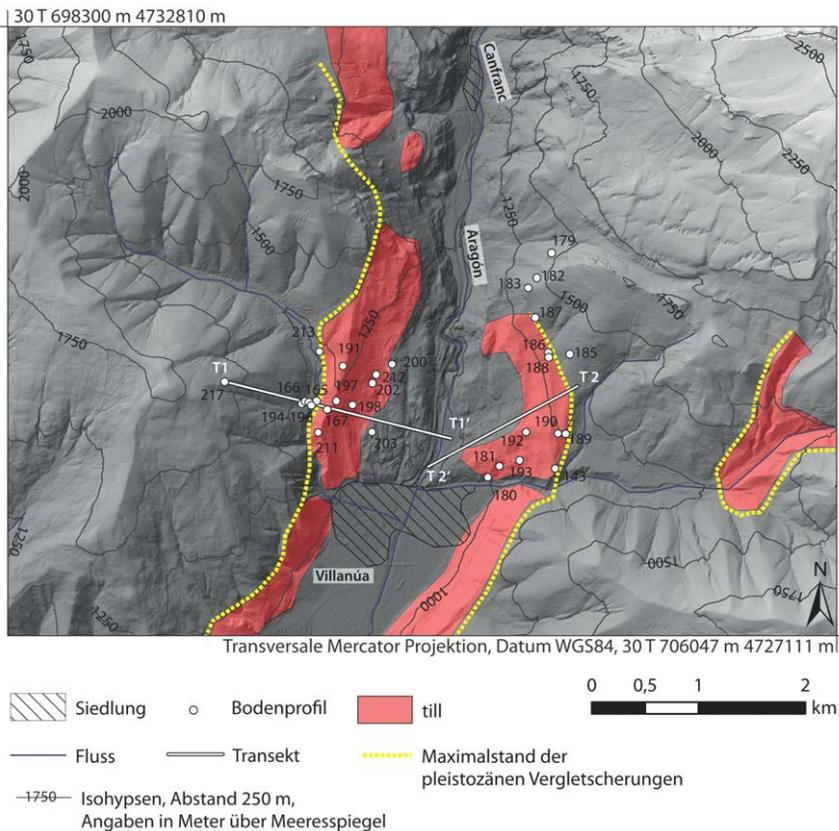
- Das Skelett im *till* der Seitenmoräne ist orthogonal zur Gletscherfließrichtung eingeregelt (Profile 167, 197 und 198), das Skelett der Grundmoräne in Profil 180 ist parallel zur Fließrichtung des Gletschers ausgerichtet. In den Untergrundhorizonten ist der Feinboden des *till* mit Carbonaten verkittet, das Kittgefüge ist massiv und schlagfest. Die Genese der Verkittungen in den *tills* wird aufgrund des ubiquitären, reliefunabhängigen Vorkommens und der vertikalen Mächtigkeit der Carbonatanreicherung nicht mit hydrologischen oder pedogenen Prozessen assoziiert, sondern einer synsedimentären bzw. postsedimentären Genese zugeschrieben, bei der Calciumhydrogencarbonat in übersättigten Lösungen ausgefallen ist. Die Carbonate sind im *till* als Mikrit und Sparit auskristallisiert, die porenarme Matrix ist mikritisch, pallisadenartige Sparite kleiden die Poren aus (Profil 197). Schluffcutane im carbonathaltigen Sediment weisen auf einen partikulären Eintrag. Die Verkittungen im *till* konservieren die Grobbodeneinregelung vor postsedimentären Gefüge- bzw. Lageänderungen. Kritzen, Rundhöcker oder Walrücken im anstehenden Kalksandstein belegen die glaziale Prägung des Anstehenden mittels Detersion und Detraktion (Profile 167 und 203).
- Im pleistozänen Extraglacialbereich liegen grobbodenreiche Sedimentkomplexe mit parautochthonem Skelett über dem Anstehenden. Die hangparallele Ausrichtung der

Skelettlängsachsen weist auf solifluidale Verlagerung. Die markanten geringeren Gehalte an Feinsand und Grobschluff im Vergleich zum Hangenden weisen auf das Fehlen einer äolischen Komponente, weswegen das liegende Sediment aufgrund der typischen Charakteristika als Basislage klassifiziert wird (Profile 217, 166 und 195).

- Sowohl im pleistozänen Extraglazialbereich als auch im vergletscherten Bereich wird die Sedimentabfolge im Hangenden meist von einem allochthonen und grobbodenarmen Sediment abgeschlossen, das durch einen hohen Anteil an Grobschluff und Feinsand charakterisiert ist (Profile 190, 193, 211, 212 und 217). Die Gehalte an Grobschluff und Feinsand werden als äolischer Eintrag interpretiert, der aufgrund der hierfür nötigen Vegetationsarmut kaltzeitlichen bzw. periglazialen Bedingungen zuzuordnen ist. Aufgrund der Textur, der Stratigrafie und der räumlichen Verbreitung wird das Sediment als Hauptlage angesprochen. In Profil 190 hat die Hauptlage ein OSL-Alter von  $13 \pm 2$  ka (Risø-Nr. 105015).
- In Senken oder am Hangfuß wird der Profilaufbau im Hangenden oft von einem grobbodenarmen Sediment abgeschlossen. An diesen Reliefsituationen sind diese Lagen mächtiger als an exponierten Standorten in den angrenzenden Mittel- oder Oberhängen, wo allochthone Sedimente meist nur sehr geringmächtig sind oder gänzlich fehlen. Aufgrund der räumlichen Verteilung der Sedimente und der in den Substraten fehlenden Horizontierung bzw. uneinheitlichen Bodenentwicklung werden die Sedimente als korrelierte Ablagerungen der Bodenerosion und damit Kolluvien angesprochen. Reste von Holzkohlen weisen auf die Präsenz von Vegetation vor der kolluvialen Verlagerung bzw. auf Brände (Profile 186, 188, 190, 192, 194, 195 und 202). Anthropogen angelegte Mauern zur Terrassierung der Hänge finden sich häufig in der direkten Umgebung von Kolluvien und in verkürzten Profilen. Steinsohlen (Profil 188) und mikromorphologisch vorgefundenes sichelförmiges Mikrogefüge, Sternporren und Intraklasten (Profil 190) belegen das junge Alter der Kolluvien aufgrund der fehlenden postsedimentären Turbation. Datierungen an der Basis des Kolluviums in Profil 188 ergeben mit  $257 \pm 31$  cal BP (Erl-14827) und  $0,31 \pm 0,03$  ka (Risø-Nr. 95001) und in Profil 190 mit  $2,3 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 125026) spätholozäne Alter.
- Die unter einem Hangsturz fossilisierte Braunerde in Profil 202 belegt ebenfalls eine markante Geomorphodynamik im Holozän, der eine Phase der Entcarbonatisierung und Verbraunung vorausging.
- Ungestörte Hauptlagen und kolluvial überprägte Sedimente aus Hauptlagenmaterial bzw. Löss sind makroskopisch und laboranalytisch nicht immer differenzierbar (Profile 166, 192 und 203).
- In den Hauptlagen sind in der Regel Parabraunerden entwickelt und die Tonverlagerung greift aus den Hauptlagen in die liegenden und meist carbonathaltigen Sedi-

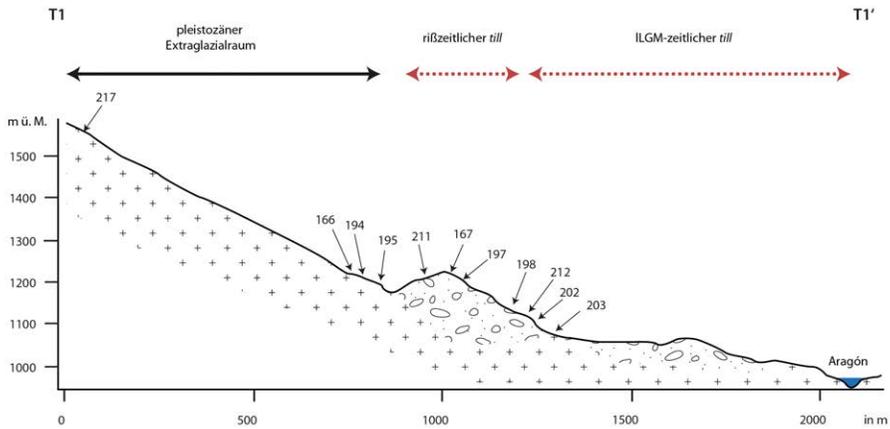
mente über (Profile 190, 198, 211 und 217). Bei der Lessivierung wird vor allem der Feinton verlagert (Profil 211). Die Lessivierung ist im Feld anhand der teilweise makroskopisch gut erkennbaren Toncutane identifizierbar (Profil 195), aufgrund der hohen Tongehalte der Sedimente beim Fehlen mikromorphologischer Untersuchungen oder Korngrößenanalysen mit Subfraktionierung der Tonfraktion aber nicht eindeutig nachweisbar (Profile 166, 167, 193 und 212).

- Beim Fehlen der Hauptlage dominieren in den carbonathaltigen Sedimenten Entcarbonatisierung und Verbraunung (Profile 166, 167 und 181), Lessivierung ist nur schwach ausgeprägt.
- Anhand der Bodenfarbe konnte entlang Transekt 1 und Transekt 2 eine schwache Rubefizierung in den Verwitterungshorizonten festgestellt werden (Profile 181, 190, 192, 198, 211, 212 und 203), in den höher gelegenen Profilen dominiert die Bildung von Goethit (Profile 217 und 166).

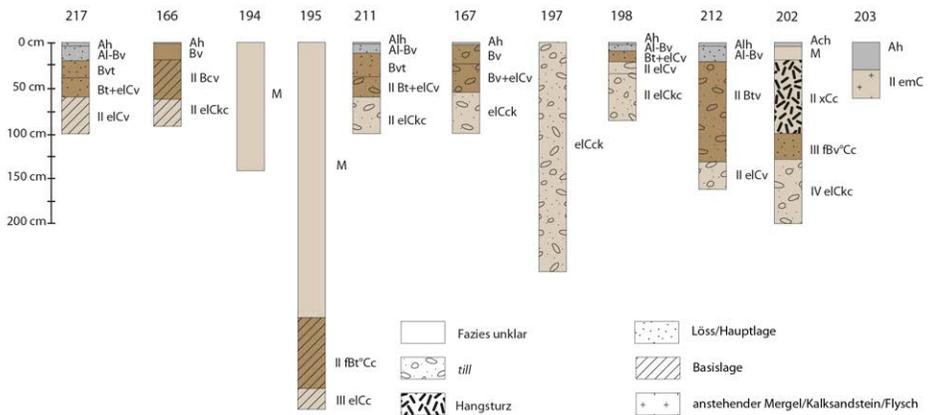


**Abbildung 21:** Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 1 (s.a. Beilage 1); Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

**Querprofil Transekt 1**



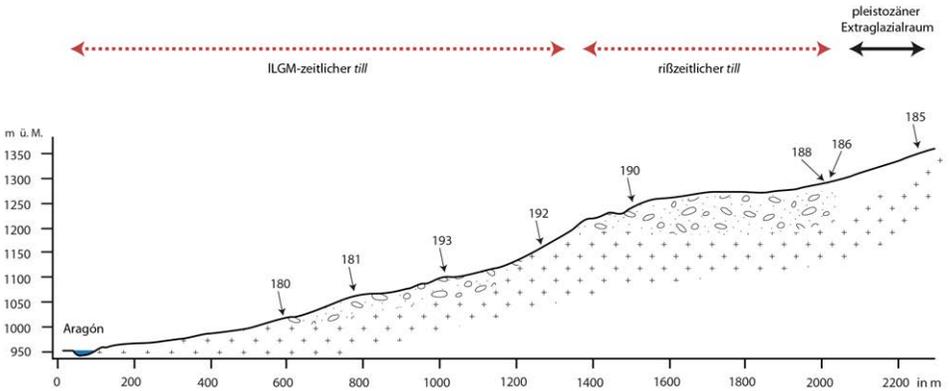
**Böden und Ausgangssubstrate Transekt 1**



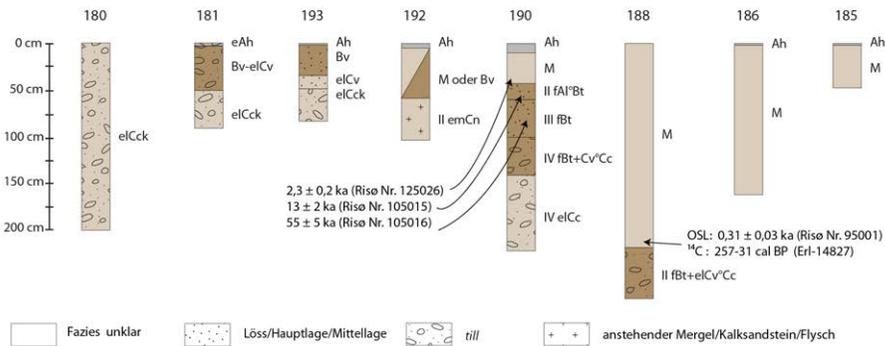
**Abbildung 22:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 1 (s. a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabsgetreu

**Querprofil Transekt 2**  
T2'

T2



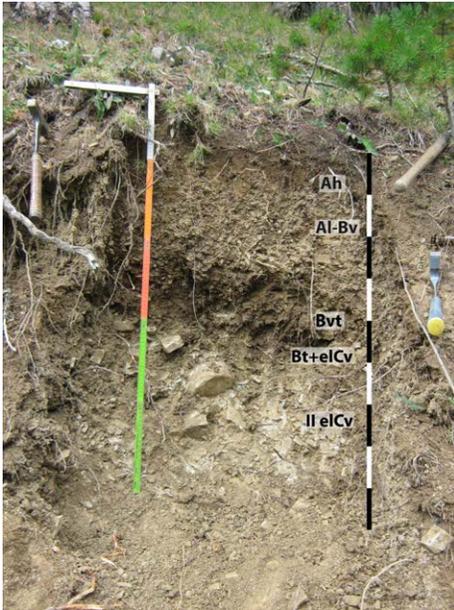
**Böden und Ausgangssubstrate Transekt 2**



**Abbildung 23:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 2 (s. a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabsgetreu

**6.2 Transekt 1 – Profil 217**

Profil 217 ist im pleistozänen Extraglazialbereich am Osthang auf 1550 m über Meeresspiegel angelegt (UTM: 30 T 700330 4729488). Das Profil ist 100 cm aufgeschlossen (Abb. 24), der anstehende Kalksandstein wurde im Profil nicht erreicht, ist aber neben dem Profil im Straßenanschnitt aufgeschlossen. Die Hangneigung des Mittelhangs beträgt 26°. Die Hangform ist gestreckt-konvex, das Makrorelief ist wellig. Die Vegetation um das Profil ist ein Nadelwald, der Stammdurchmesser der Bäume beträgt oft mehr als 40 cm. Eine parallele Ausrichtung der Baumreihen weist auf Forstnutzung. Die Horizontabfolge ist Ah/Al-Bv/Bvt/Bt+elCv/II elCv (Abb. 24), der Bodentyp ist eine Parabraunerde in einer



**Abbildung 24:** Horizontabfolge Profil 217

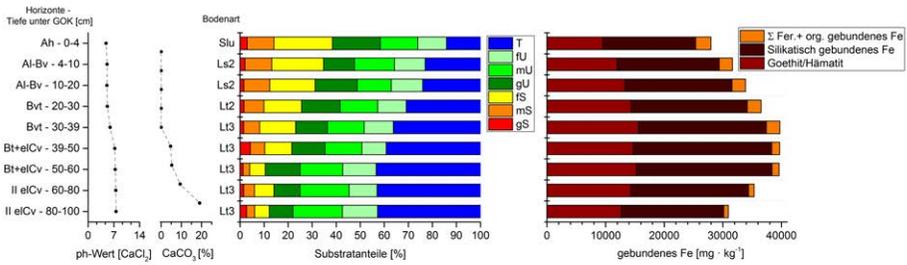


**Abbildung 25:** Profil 217, toniges Aggregat mit glänzenden Flächen

grobodenarmen Hauptlage über einer skelettreichen Basislage. Die Tonverlagerung greift über die Schichtgrenze hinweg in die primärcarbonathaltige Basislage. Toncutane auf den polyedrischen Aggregaten belegen eine Lessivierung. Die Gehalte an Goethit/Hämatit und silikatisch gebundenem Eisen erreichen im Illuvialhorizont das Maximum im Profil. Die graubraune Farbe des Feinbodens weist auf hohe Goethitanteile. Die Grobschluff- und Feinsandgehalte nehmen zur Basis des hangenden Sediments kontinuierlich ab und weisen aufgrund der markanten Texturunterschiede zum Liegenden auf einen allochthonen äolischen Eintrag im Hangenden. Das hangende Sediment wird wegen der höheren Feinsand- und Grobschluffgehalte als Hauptlage klassifiziert, das Liegende bildet eine Basislage. Hinweise auf eine kolluviale Genese des Hangenden wurden nicht vorgefunden.

#### **Ah 0–4 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). In der rechten Profilhälfte ist der Horizont teilweise nur sehr geringmächtig und gekappt. Die Textur des Feinbodens ist ein schluffig-lehmiger Sand (Abb. 26). Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 44 %, der Tonanteil liegt bei 14 % und das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei und die Bodenlösung ist mäßig sauer. Der Grobbodenanteil ist 2 %. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $27\,975\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $9495\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $2612\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 26:** Laborergebnisse Profil 217

### Al-Bv 4–20 cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 5/4). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm mit einem Tonanteil von 23 % bzw. 24 %, die Summe aus Feinsand und Grobschluff beträgt 34 % bzw. 36 % (Abb. 26). Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Bodenlösung ist mäßig sauer und der Feinboden ist carbonatfrei. Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen mit der Tiefe von  $31\,645\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $33\,863\text{ mgkg}^{-1}$  zu, ebenso die Gehalte an Goethit und Hämatit von  $11\,974\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $13\,305\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit von  $2272\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $2311\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 2 %, das Skelett besteht aus grusigem und stark verwittertem Sandstein.

### Bvt 20–39 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel gelblichgrau (2,5 Y 3/3). Der Tonanteil nimmt mit zunehmender Tiefe von 31 % auf 36 % zu, die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm bzw. ein toniger Lehm. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand nimmt von 32 % auf 28 % an der Basis des Horizonts ab. Aufgrund der Stratigrafie ist das hangende Sediment als parautochthon bzw. allochthon einzuordnen. Die Bodenlösung ist schwach sauer und der Feinboden ist carbonatfrei. Das Gefüge ist polyedrisch und Toncutane bedecken die Aggregate (Abb. 25). Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen mit der Tiefe von  $36\,530\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $39\,723\text{ mgkg}^{-1}$  weiter zu. Ebenso steigen die Mengen von Goethit/Hämatit mit zunehmender Tiefe von  $14\,361\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $15\,605\text{ mgkg}^{-1}$  weiter an. Die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen stagnieren um  $2370\text{ mgkg}^{-1}$ .

### Bt+elCv 39–60 cm

Der Horizont ist fleckig, die Farbe variiert je nach Tongehalt und Carbonatanteil zwischen sehr dunkel gelblichgrau und dunkel graubraun (2,5 Y 3/3 und 10 YR 4/4). Die Tonanteile steigen auf 39 % und 43 %, die Körnung des Feinbodens ist ein toniger Lehm, die Feinsand- und Grobschluffgehalte nehmen zur Basis weiter ab. Die  $CaCO_3$ -Mengen im Feinboden

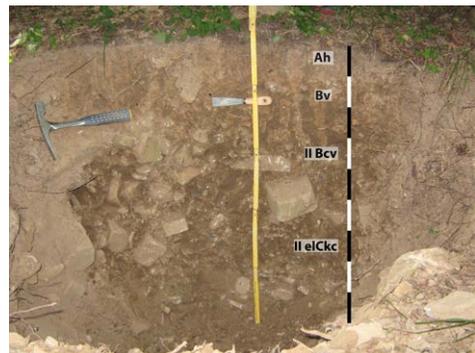
betragen 4,7 % und 5,2 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte sind  $39\,685\text{ mgkg}^{-1}$  und  $39\,594\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen  $14\,682\text{ mgkg}^{-1}$  und  $15\,239\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit betragen  $1357\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1214\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil liegt bei 5 % bis 10 %, das Skelett besteht aus Grus und kantigen Steinen. Die Lithologie des Grobbodens bilden parautochthone Kalksteine und Kalksandsteine. Die Untergrenze zur liegenden Schicht ist scharf, die Untergrenze des Horizonts ist diffus und greift zapfenartig über.

## II eICv 60–100+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelblichgrau (2,5 Y 5/2), bräunliche und 3 mm breite Adern bedecken die Aggregate (Abb. 25). Das Gefüge ist polyedrisch. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. In den Poren ist weißes Kalkpseudomycel ausgefällt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden nimmt zur Basis des Profils von 9,4 % auf 19,1 % zu, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte nehmen mit der Tiefe von  $35\,333\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $30\,931\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Ebenso nehmen Goethit/Hämatit von  $14\,292\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $12\,662\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen von Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen von  $935\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $791\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Der Grobbodenanteil beträgt 30 %, das Skelett besteht aus plattigem Grus und kantigen Steinen. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten.

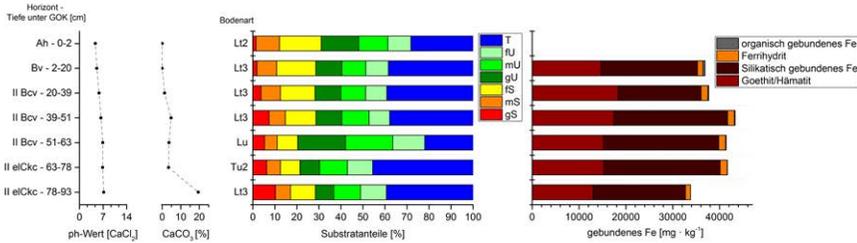
## 6.3 Transekt 1 – Profil 166

Profil 166 befindet sich in einem Kiefernwald mit Unterwuchs aus Buchs auf dem Osthang (1220 m ü. M., UTM: 30 T 701052 4729282). Das Profil ist zweischichtig aufgebaut, was bereits im Gelände anhand des markanten Grobbodenanteils erkenntlich ist, das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/II Bcv/II eICkc (Abb. 27), der Bodentyp ist eine Kalkbraunerde in einem flachen grobbodenarmen Substrat über einer grobbodenreichen



**Abbildung 27:** Horizontabfolge Profil 166

Basislage. Der mit 5 % bis 15 % im Vergleich zu den 40 % im Liegenden deutlich geringere Grobbodenanteil der hangenden Schicht weist auf die parautochthone oder allochthone Herkunft des hangenden Sediments. Die Feinsandanteile sind im Hangenden höher und nehmen mit der Tiefe im Profil kontinuierlich ab, weswegen eine äolische Beimengung für das Hangende als Löss im Sinne einer Hauptlagengenese angenommen wird. Aufgrund des Holzkohleflechterichtums vor allem an der Basis des flachen hangenden Substrats und des



**Abbildung 28:** Laborergebnisse Profil 166

mächtigen Kolluviums im etwa 40 m hangabwärts befindlichen Profil 194 kann eine kolluviale Verlagerung bzw. erosive Verkürzung nicht ausgeschlossen werden. Der Grobboden in der Basislage ist in Hangrichtung eingeregelt. In der Basislage sind Sekundärcarbonate als Konkretionen im Feinboden ausgefällt und mit zunehmender Tiefe haften Calcitkrusten an der Unterseite des Skeletts. Der Anstieg der  $Fe_T$ -Gehalte deutet auf die Verlagerung gebundenen Eisens, Toncutane konnten aber nicht eindeutig diagnostiziert werden. Eine Verlagerung des Eisens in gelöster Form oder als organischer Komplex kann wegen der einheitlichen Gehalte an Aluminium und Mangan ausgeschlossen werden (siehe Laboranalytik Profil 166 im Anhang).

### Ah 0–2 cm

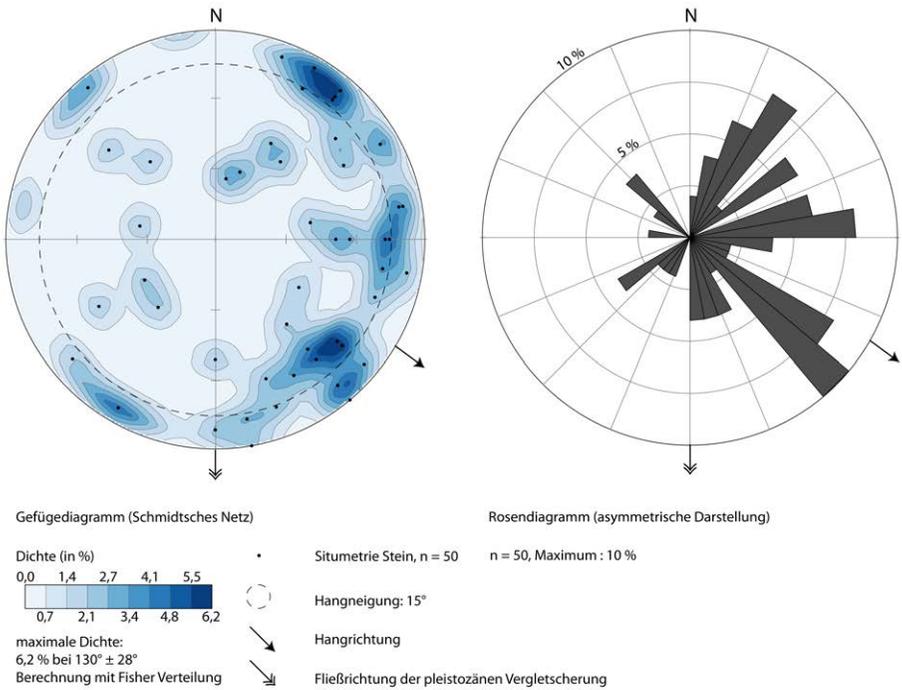
Der Feinboden ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm (Abb. 28). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Regenwurmröhren und weißes Pilzmycel durchziehen den Horizont. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %.

### Bv 2–20 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer. An der Basis des Horizonts befinden sich Holzkohleflitter. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, das Skelett besteht aus Grus und kantigen Steinen. Die Lithologie des Grobbodens sind parautochthone Kalksteine und Kalksandsteine. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $36\,889\text{ mg kg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $14\,690\text{ mg kg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $1134\text{ mg kg}^{-1}$  und der Gehalt an organisch gebunden Eisen  $488\text{ mg kg}^{-1}$ .

### II Bcv 20–63 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein toniger bis schluffiger Lehm. Der Feinboden enthält geringfügig mehr Grobsand als die hangende Schicht. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch, die polyedrischen



**Abbildung 29:** Situmetrie des Grobbodens in Profil 166, 20–63 cm unter GOK

Aggregate haben glänzende Außenflächen. 2 mm bis 3 mm große Konkretionen aus Sekundärkarbonat befinden sich in Poren und sind auch eingebettet im Feinboden. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 1,3 % bis 4,8 %, die Bodenlösung ist schwach sauer bis neutral.

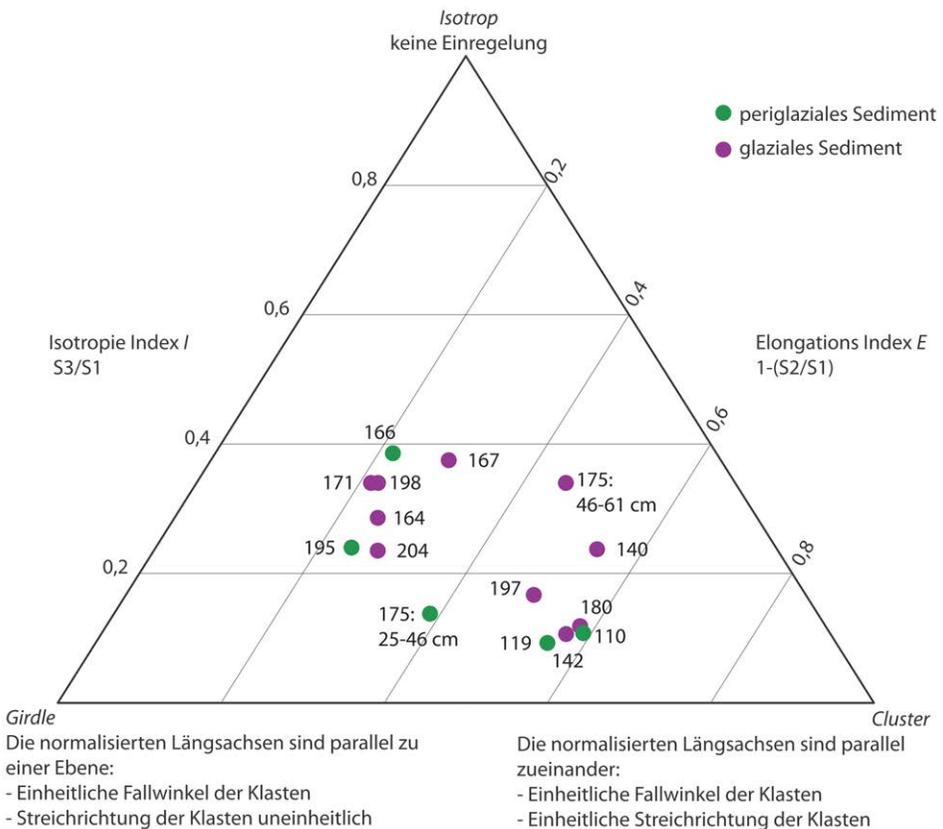
Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte liegen zwischen  $37\,688 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $43\,316 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Gehalte von Goethit/Hämatit nehmen im Horizont mit zunehmender Tiefe von  $18\,287 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $15\,207 \text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Menge an Ferrihydrit schwankt zwischen  $1429 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $1461 \text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte an organisch gebundenem Eisen nehmen im Horizont mit der Tiefe von  $214 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $153 \text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Untergrenze des Horizonts ist deutlich und wellig bis taschenförmig. Der Grobbodenanteil beträgt 40 % und nimmt nach unten weiter zu. Das Skelett besteht aus kantigen Blöcken und Grus. An der Unterseite der meist stark verwitterten Klasten haften Calcitkrusten.

Die situmetrischen Untersuchungen des Grobbodens zeigen eine weit gestreute Orientierung der Längsachsen in Hangrichtung (Abb. 29). Der Isotropie-Index von 0,29 weist auf einheitliche Fallwinkel des Skeletts, aber ohne eine einheitliche Streichrichtung ( $E = 0,22$ , Abb. 30).

## II eICkC 63–93+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach schluffiger Ton und toniger Lehm. Das Gefüge ist subpolyedrisch bis polyedrisch und geht mit zunehmender Tiefe in ein Kittgefüge über. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 3,5 % und nimmt mit der Tiefe auf 19,4 % zu. Die Bodenlösung ist neutral. 2 mm große Konkretionen aus Sekundärcarbonat sind in Poren ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 60 % bis 70 %, das Skelett besteht aus Grus und kantigen Steinen. Die Lithologie der Klasten bilden parautochthone Kalksteine und Kalksandsteine. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten.

Die Gehalte an  $\text{Fe}_T$  nehmen im Horizont mit zunehmender Tiefe von  $41\,656\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $33\,802\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen  $13\,063\text{ mgkg}^{-1}$  und  $12\,841\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Menge an Ferrihydrit beträgt  $1487\text{ mgkg}^{-1}$  und die Gehalte organisch gebundenen Eisens schwanken um  $100\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 30:** Dreiecksdiagramm Situmetrie

## 6.4 Transekt 1 – Profil 194

Profil 194 ist als Schürfgrube unterhalb einer Terrassierungsmauer im Unterhang angelegt (1208 m ü. M., UTM: 30 T 701081 4729301). Die Hangneigung oberhalb der Mauer beträgt 20° und am Fuß der Mauer 10°. Das Profil ist 140 cm aufgeschlossen und wurde mittels Bohrstock um weitere 60 cm sondiert, das Anstehende wurde dabei nicht erreicht. Der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat (Abb. 31). Sowohl die Geländeansprache als auch die Laboranalytik zeigt für den gesamten Aufschluss, mit Ausnahme der Textur der obersten 40 cm direkt unterhalb der Mauer, eine auffallende Homogenität. Im Feinboden sind viele Holzkohlefitter und Holzkohlereste.



Abbildung 31: Horizontabfolge in Profil 194

### M 0–140+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Das Gefüge ist polyedrisch. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger bis sandiger Lehm (Abb. 32). Das Substrat ist reich an Holzkohlefittern und bis zu 1 cm großen Holzkohlebrocken, wobei die Anzahl der Holzkohlereste mit der Tiefe zunimmt. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus Grus und Kies.

Die  $Fe_T$ -Gehalte schwanken im Profil zwischen  $30\,946\text{ mgkg}^{-1}$  und  $33\,903\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit liegen zwischen  $12\,841\text{ mgkg}^{-1}$  und  $13\,649\text{ mgkg}^{-1}$ , Ferrihydrit nimmt zur Basis von  $1265\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $1484\text{ mgkg}^{-1}$  zu und die Menge organisch gebundenen Eisens nimmt zur Basis von  $174\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $100\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Untersuchung der pedogenen Eisenoxide weist auf keine Horizontierung.

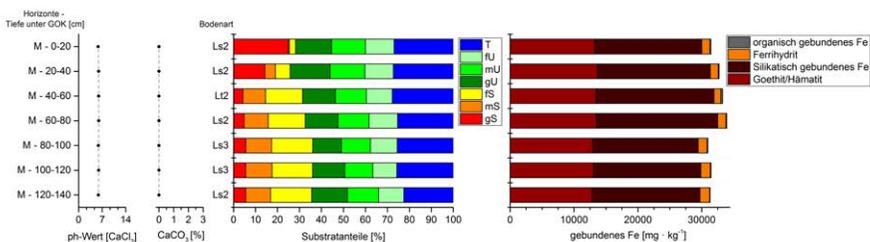
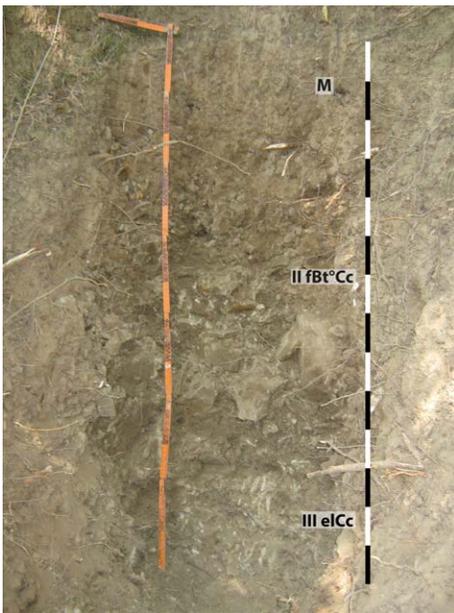


Abbildung 32: Laborergebnisse Profil 194

## 6.5 Transekt 1 – Profil 195

Profil 195 ist an der Kante des austreichenden Hangfußes angelegt (1213 m ü. M., UTM: 30 T 701118 4729292). Oberhalb der Kante beträgt die Hangneigung  $10^\circ$ , an der Kante fällt der Hang steil mit  $40^\circ$  bis  $60^\circ$  zu einem 15 m tiefer gelegenen Bachlauf ab. Das Profil ist 140 cm gegraben und die Profilvergänger befindet sich 400 cm unterhalb der Hangkante. Aufgrund der Aufschlussituation liegen für die obersten 260 cm keine Befunde vor. Im Profil sind drei Sedimente aufgeschlossen, der anstehende Kalksandstein wurde im Profil nicht erreicht, konnte aber im Bachlauf angetroffen werden. Über dem Anstehenden liegt ein etwa 10 m mächtiger grobbodenreicher Basislagenkomplex mit einer hangparallelen Einregelung des Skeletts. Den Abschluss des Basislagenkomplexes bildet eine 77 cm mächtige Basislage mit ebenfalls hangparallel orientiertem Grobboden, aber mit einem geringeren Grobbodenanteil als die liegenden Basislagen. Ausgeprägte Toncutane weisen in der hangenden Basislage auf einen früheren Toneintrag, rezent ist der Horizont aufgrund der Fossilisierung mit einem Kolluvium von der Ausfällung sekundärer Carbonate geprägt. Die Sedimentfolge wird im Hangenden von einem carbonatfreien und grobbodenarmen Kolluvium abgeschlossen, das mittels Bohrstock bis zu Profil 194 verfolgt werden konnte. Die Horizontabfolge in Profil 195 ist M/II fBt<sup>o</sup>Cc/III eC<sub>c</sub> (Abb. 33), der Bodentyp ist ein Kolluvisol über einem sehr tiefen fossilen Illuvialhorizont einer gekappten Parabraunerde in einem grobbodenführenden und solifluidal geprägten Substrat über einem Basislagenkomplex aus grobbodenreichen und solifluidal geprägten Straten.



**Abbildung 33:** Horizontabfolge Profil 195, 260–400 cm unter GOK



**Abbildung 34:** Profil 195, Toncutane auf Aggregat, 350 cm unter GOK

## M 260–300 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3). Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer (Abb. 35). Der Grobbodenanteil beträgt 2 %, das Skelett besteht aus Kies und ist teilweise stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Die Untergrenze der Schicht ist scharf und wellig bis taschenförmig.

## II fBt°Cc 300–377 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau bis gelbgrau (2,5 Y 4/3 bis 5/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Außenflächen der Aggregate sind von ausgeprägten Toncutanen überzogen (Abb. 34), die als solche zweifelsfrei im Gelände identifiziert werden konnten. Die Innenseite der umhüllten Aggregate ist gelbgrau, die Toncutane sind braun. Die lagerungsbedingten Poren zwischen dem Skelett sind teilweise frei von Feinboden und ausgeprägte Toncutane kleiden die Porenwände aus. Sekundärcarbonat ist in Poren als Konkretionen und entlang von Wurzelröhren ausgefällt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 13,5 % und 22,9 %, die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch.

Eine Situmetrie des Grobbodens konnte aus zeitlichen Gründen zwischen 300 cm bis 377 cm unter GOK nicht durchgeführt werden, nach visueller Schätzung ist der Grobboden tendenziell hangparallel eingeregelt, wobei teilweise Steine auch senkrecht verstellt sind. Der Grobbodenanteil beträgt 40 % und besteht aus Grus und kantigen Steinen. Die Untergrenze ist aufgrund der sprunghaften Zunahme des Grobbodenanteils in der liegenden Schicht scharf und wellig.

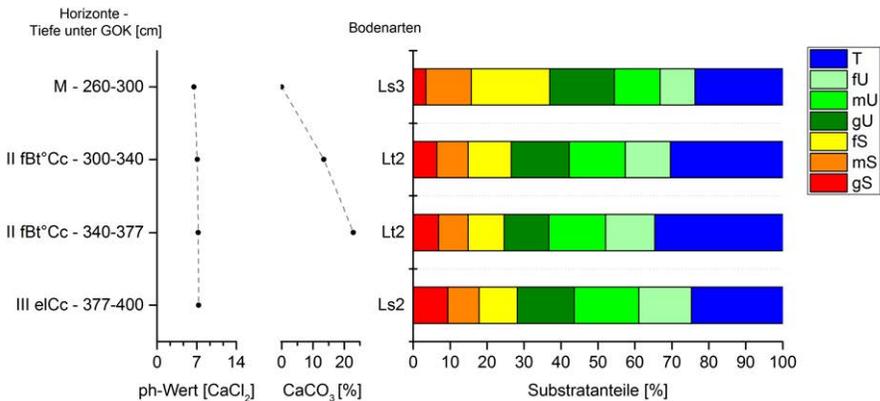
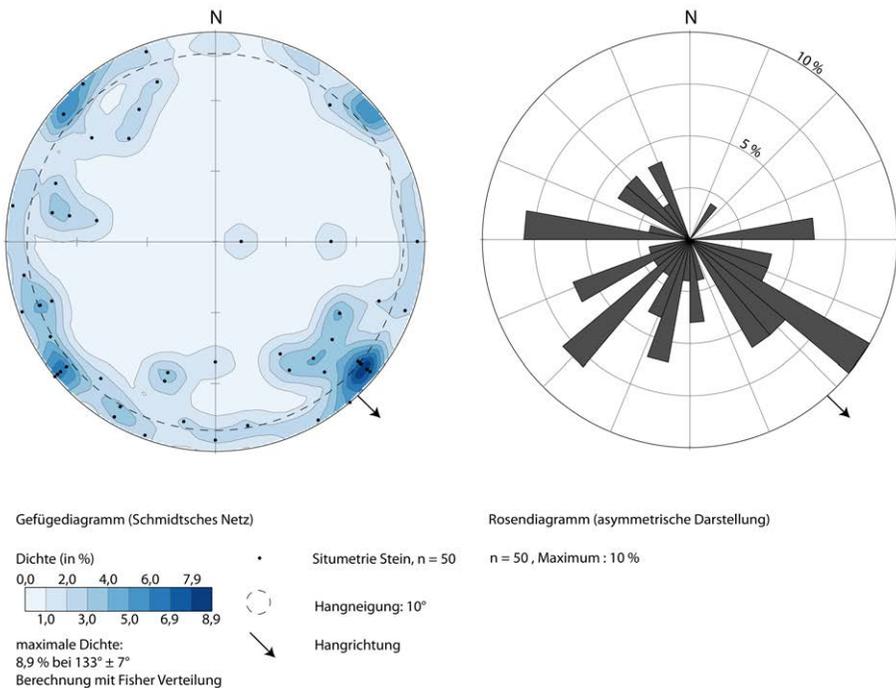


Abbildung 35: Laborergebnisse Profil 195

### III eICc 377–400+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun bis graubraun (2,5 Y 4/4 bis 5/4). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm. Der Feinboden ist mindestens carbonatreich ( $> c4$ ) und die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. In den Poren sind Konkretionen aus Sekundärcarbonat ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 60 %, das Skelett ist ein plattiger Grus. Calcitausfällungen haften fleckenhaft bis ganzseitig am Grobboden.

Die situmetrischen Untersuchungen des Grobbodens zeigen eine Hauptausrichtung der Längsachsen in Hangrichtung und eine geringer ausgeprägte Orientierung der Klanten nach Südwest (Abb. 36). Der Isotropie-Index von 0,24 weist auf sehr einheitliche Fallwinkel des Skeletts, aber ohne eine einheitliche Streichrichtung ( $E = 0,24$ , Abb. 30).



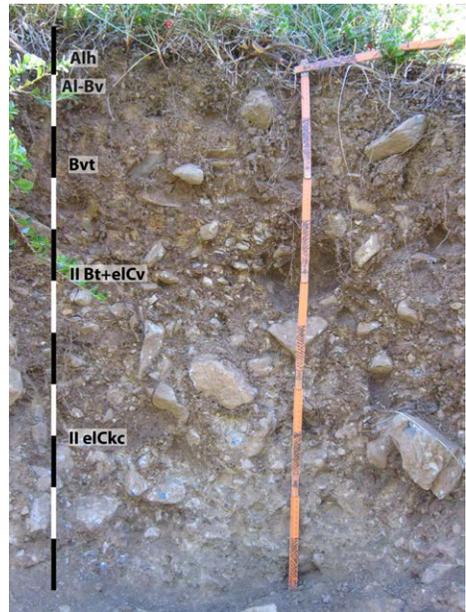
**Abbildung 36:** Situmetrie des Grobbodens in Profil 195, 377–400 cm unter GOK

## 6.6 Transekt 1 – Profil 211

Profil 211 befindet sich im Oberhang auf dem nach Westen exponierten Außenhang der Seitenmoräne (1210 m ü. M., UTM: 30 T 701205 4729008). Die Hangneigung beträgt oberhalb des Profils etwa  $20^\circ$ , der Hang fällt unterhalb des Profils steil ab (Abb. 37). Die Hangform



**Abbildung 37:** Blick von Süden auf Profil 211 (neben dem blauen Rucksack) auf dem Westhang der Seitenmoräne



**Abbildung 38:** Horizontabfolge Profil 211

oberhalb des Profils ist schwach konvex-gestreckt. Das Profil ist 100 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht (Abb. 38). Die Horizontabfolge ist Alh/Al-Bv/Bvt/II Bt+elCv/II elCkc (Abb. 38), der Bodentyp ist eine Braunerde-Parabraunerde in einer grobbodenarmen Hauptlage mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung im liegenden carbonathaltigen und diamiktischen *till*. Der Feinboden im *till* ist mit Sekundärcarbonaten verkittet. Die Lessivierung ist neben den Toncutanen auf den Außenflächen der polyedrischen Aggregate klar in der Zunahme der Feintongehalte vom Alh mit 14 % auf 28 % im Illuvialhorizont erkennbar.

### Alh 0–2 cm

Der 2 cm mächtige Alh ist dunkel graubraun (10 YR 3/3), stark durchwurzelt und reich an Streuresten. Das Gefüge ist krümelig und geht nach unten in ein Subpolyedergefüge über. Die Textur des Feinbodens ist ein sandig-toniger Lehm (Abb. 39). Der Tonanteil beträgt 38 %, der Anteil an Feinton beträgt 14 %. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus Feinkies, Feingrus, Mittelkies und Mittelgrus. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer.  $Fe_T$  beträgt  $33\,011\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $15\,295\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit ist  $1062\text{ mgkg}^{-1}$ .

### **Al-Bv 2-12 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Der Tongehalt beträgt 37 %, der Anteil an Feinton ist 17 %. Feinsand und Grobschlusss betragen in Summe 33 %. Das Gefüge ist subpolyedrisch bis polyedrisch. Der Horizont enthält viele Holzkohleflitter. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %, das Skelett besteht aus Kies. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $38\,333\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit  $17\,775\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $985\text{ mgkg}^{-1}$  und die Menge organisch gebundenen Eisens  $168\text{ mgkg}^{-1}$ .

### **Bvt 12-38 cm**

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4), im trockenen Zustand hat der Horizont eine deutlich rötliche Farbe. Die Textur des Feinbodens ist ein lehmiger Ton, der Tongehalt beträgt 52 % und 56 %. Der Feintonanteil beträgt 28 % und 24 %. Das Gefüge ist polyedrisch. Die Kanten von Aggregaten sind mit Toncutanen überzogen. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Feinboden ist zwischen 12 cm und 25 cm carbonatfrei, an der Basis des Horizonts beträgt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil 2,3 %, wobei eine Vermischung mit Substrat aus der liegenden Schicht wahrscheinlich ist. Der sprunghafte Anstieg des Grobbodens in der liegenden Schicht markiert eine scharfe Schichtgrenze, die Untergrenze des Horizonts ist beim Carbonatanteil scharf, der farbliche Übergang des Horizonts ist diffus. Der Grobbodenanteil beträgt im Horizont 20 %, das Skelett wird von Kies dominiert. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $44\,369\text{ mgkg}^{-1}$  und  $46\,837\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $20\,058\text{ mgkg}^{-1}$  und  $19\,882\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Menge an Ferrihydrit nimmt ebenfalls mit der Tiefe von  $1136\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $1299\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Das organisch gebundene Eisen nimmt mit der Tiefe von  $151\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $115\text{ mgkg}^{-1}$  ab.

### **II Bt+elCv 38-60 cm**

Die Farbe des Feinbodens variiert je nach Tongehalt und Carbonatanteil zwischen dunkel graubraun (7,5 YR 4/4) bis sehr hell graubraun (10 YR 7/3). Die Textur des Feinbodens ist ein lehmiger Ton bis sandig-toniger Lehm. Der Tongehalt nimmt mit der Tiefe von 49 % auf 37 % ab, die Feintonfraktion nimmt von 20 % auf 14 % ab.

Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Toncutane bedecken Aggregate und die Außenseite des Skeletts. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, der Grobboden ist diamiktisch. An der Unterseite und der hangwärtigen Seite haften Calcitkrusten am Grobboden. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig bis zapfenförmig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 8,6 % und an der Basis des Horizonts 29,0 %. Die Bodenlösung ist neutral. Die Gehalte an  $\text{Fe}_T$  nehmen mit der Tiefe von  $43\,818\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $34\,110\text{ mgkg}^{-1}$  ab, Goethit/Hämatit verringert sich von  $18\,073\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $15\,077\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Menge an Ferrihydrit

nimmt von  $1346 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $1140 \text{ mgkg}^{-1}$  ab, ebenso die Gehalte organisch gebundenen Eisens von  $90 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $53 \text{ mgkg}^{-1}$ .

## II eICk 60–100+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr hell graubraun (10 YR 7/3,5). Der Feinboden ist mindestens carbonatreich ( $> c4$ ), Sekundärcarbonat verkittet den Feinboden. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett ist diamiktisch und ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt, an der Unterseite und an der hangwärtigen Seite am ausgeprägtesten.

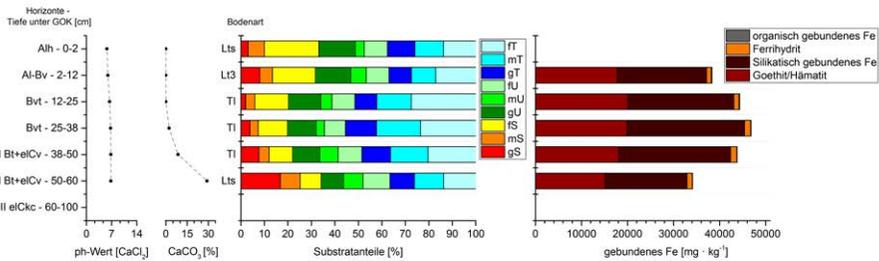


Abbildung 39: Laborergebnisse Profil 211

## 6.7 Transekt 1 – Profil 167

Profil 167 befindet sich drei Höhenmeter unterhalb des Scheitels der Seitenmoräne am nordostexponierten Hang auf 1226 m ü. M. (30 T 701290 4729223). Die Hangneigung beträgt  $15^\circ$  und das Makrorelief ist wellig. Das Profil ist 100 cm gegraben (Abb. 40), das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/Bv-elCv/elCck, der Bodentyp ist eine Braunerde aus entcarbonatisiertem *till* mit einer rezenten Sekundärcarbonatdynamik im Unterboden. Das Skelett im *till* ist hangparallel eingeregelt. Eine Differenzierung zwischen glazialen, paraglazialen



Abbildung 40: Horizontabfolge Profil 167

oder periglazialen Prozessen, die zu einer Einregelung geführt haben, ist am Standort nicht möglich, da im Profil Hangrichtung und Fließrichtung des Gletschers zusammenfallen.

Die zur Basis zunehmende Verkittung des Feinbodens mit Sekundärcarbonat verursacht einen Anstieg der Sandanteile mit der Tiefe. Toncutane als Beleg für eine Lessivierung wurden nicht vorgefunden und die höheren Tongehalte im Bv als im Liegenden werden auf Verlehmung zurückgeführt.

#### **Ah 0–3 cm**

Der Feinboden ist sehr dunkel braungrau (10 YR 3/2), die Textur ist ein schwach toniger Lehm. Der Horizont hat ein Krümel- bis Subpolyedergefüge. Die Bodenlösung ist schwach sauer, der Feinboden ist carbonatfrei (Abb. 41). Der Grobbodenanteil beträgt 5 %.

#### **Bv 3–24 cm**

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Ameisengänge und Regenwurmröhren durchziehen den Feinboden. Weißes Pilzmycel wächst nestartig im Horizont. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das diamiktische Skelett ist verwittert. Die Morphometrie der Klasten reicht von kantig bis stark gerundet. Die Untergrenze des Horizonts ist wellig und diffus.

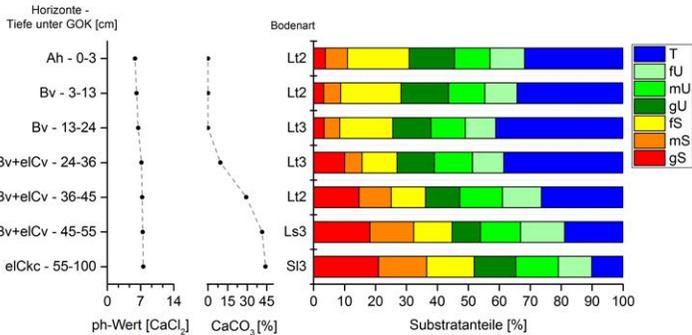
#### **Bv+elCv 24–55 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Der Grobsandanteil nimmt im Horizont aufgrund der Verkittung mit  $\text{CaCO}_3$  kontinuierlich von 10 % auf 18 % an der Basis zu. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger bzw. sandiger Lehm an der Basis. Das Gefüge ist im oberen Bereich des Horizonts polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Untergrenze des Horizonts ist diffus und wellig bis taschenförmig. Zur Basis dominiert ein Kittgefüge. Die  $\text{CaCO}_3$  Anteile betragen zwischen 24 cm und 36 cm unter GOK 9,5 % und nehmen zur Basis kontinuierlich auf 41,4 % zu. Der Feinboden enthält Primärcarbonat und Sekundärcarbonat in Form von Rhizolithen und 1 mm großen Kalkkonkretionen. Die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 20 % bis 30 %, das Skelett besteht aus Feinkies, Feingrus und kantig bis gerundeten Steinen.

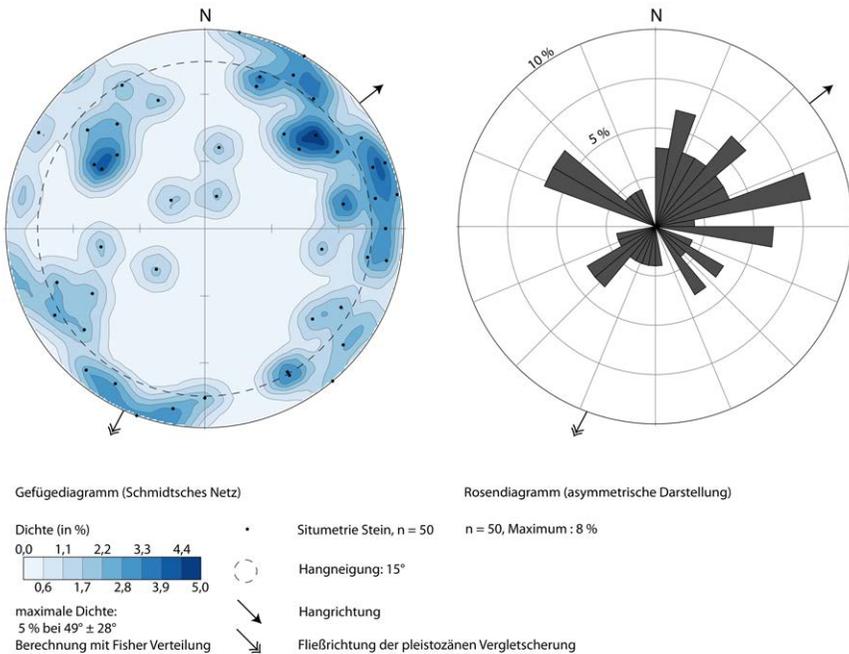
Die Situmetrie des Grobbodens zeigt eine schwache Orientierung der Klasten in die rezente Hangrichtung (Abb. 42). Der Isotropie-Index beträgt 0,38 und der Elongations-Index 0,29 (Abb. 30). Die ähnlichen Fallwinkel und die sehr ähnliche Streichrichtung von NNE/SSW der rezenten Hangneigung und der pleistozänen Fließrichtung des Gletschers erlauben keine Differenzierung zwischen glazialer, paraglazialer oder periglazialer Prägung der Einregelung.

## eICk 55–100+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/4). Die Textur des Feinbodens ist ein lehmiger Sand. Das Gefüge ist ein Kittgefüge, die Ausprägung der Verkitzung nimmt mit der Tiefe massiv zu. An der Basis ist das Profil nur mit dem Hammer grabbar. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 44,0 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 30 %, das Skelett ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt.



**Abbildung 41:** Laborergebnisse Profil 167



**Abbildung 42:** Situierung des Grobbodens Profil 167: 24–100 cm unter GOK

## 6.8 Transekt 1 – Profil 197

Profil 197 befindet sich 30 Höhenmeter unterhalb des Kulminationsbereichs im Innenhang der Seitenmoräne (1200 m ü. M. 30 T 701435 4729391). Die Hangneigung beträgt  $30^\circ$ , die Exposition des Innenhangs ist Ostsüdost. Der anstehende Flysch wurde im Aufschluss nicht erreicht. Das Profil ist am Straßenanschnitt angelegt, wobei nur das glaziale Sediment aufgenommen wurde (Abb. 43), der Oberboden etwa 2 m über dem Aufschluss war nicht zugänglich. Die Untersuchungen wurden an einer  $1 \text{ m}^2$



**Abbildung 43:** Weganschnitt an der Seitenmoräne mit Profil 197

großen Fläche vorgenommen, wobei aufgrund der massiven Verkittung des Sediments die Proben vorsichtig mit Hammer und Meißel freipräpariert wurden. Der *till* ist diamiktisch, Kalksandsteine und Kalksteine dominieren die Lithologie. Das Skelett ist meist plattig, gerundete bis kantige Steine sind seltener. Die situmetrischen Untersuchungen weisen mit einer Streichrichtung orthogonal zur Fließrichtung und dem Fallen zum Außenhang der Seitenmoräne auf eine supraglaziale Anlieferung des Grobbodens, der mit dem Austauen auf dem Außenhang der Seitenmoräne gravitativ verlagert und nicht mehr subglazial überprägt wurde. Die massive Verkittung des *till* mit Calcit hat zu einer Fixierung des Grobbodens geführt und ihn gegen eine postsedimentäre Verlagerung stabilisiert. Aufgrund der großflächigen und einheitlichen Ausprägung der Calcitausfällungen wird eine rein pedogene Calcitausfällung ausgeschlossen. Vielmehr ist eine zweiphasige Carbonatausfällung wahrscheinlich. Die Verkittungen im *till* bestehen aus mikritischen und sparitischen Calcitkristallen, die jüngeren mikritischen Kristalle sind im rezenten Porenraum ausgefällt und überdecken die reliktschen sparitischen Kristalle, die mit einer synsedimentären Calcitausfällung assoziiert werden. Neben einer rezenten Sekundärcarbonatdynamik weisen Schluffcutane in Poren auf einen trotz des hohen Carbonatgehalts des Sediments partikulären Transport von Schluff und Ton und damit auf rezente pedogene Prozesse.

### elCck

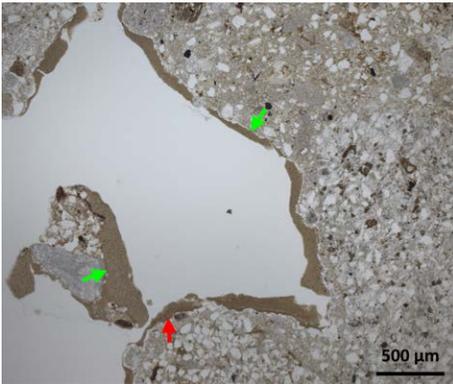
Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen einen hohen Grobbodenanteil des Sediments (Abb. 44 und Abb. 45). Kalksteine und Kalksandsteine sind durchgehend von Eisenhydroxiden gefärbt, die  $2 \mu\text{m}$  bis  $5 \mu\text{m}$  kleinen und dicht aneinander gelagerte Kristalle aus Eisenhydroxiden überdecken die Calcitkristalle. Die rhomboedrischen Kristalle sind



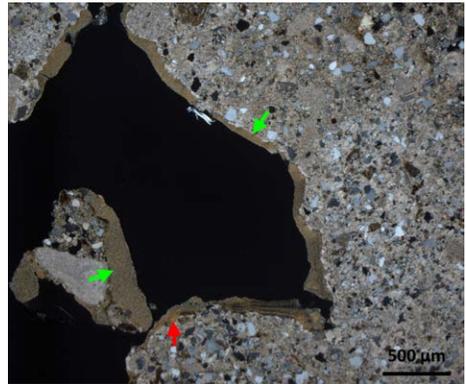
**Abbildung 44:** Übersicht der Mikromorphologie Profil 197



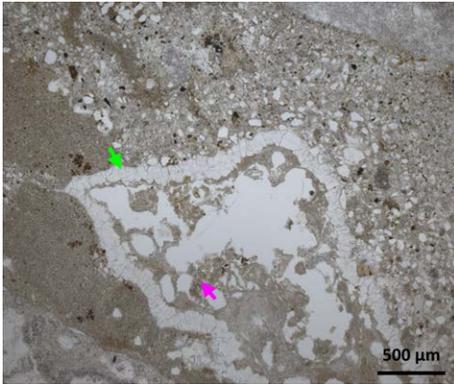
**Abbildung 45:** Übersicht Mikromorphologie Profil 197



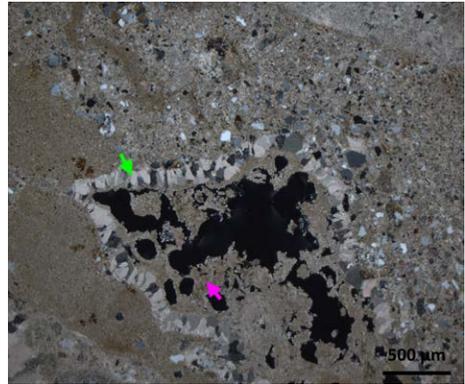
**Abbildung 46:** Illuviale Cutane (LPL, Profil 197); grüner Pfeil: Schluffcutan; roter Pfeil: Toncutan



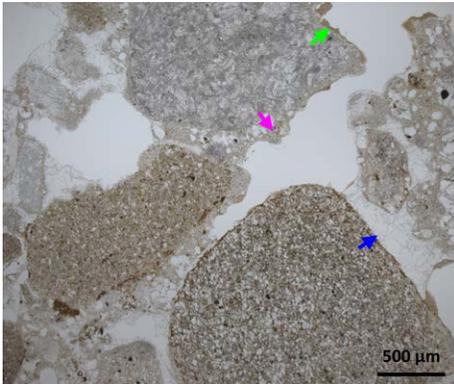
**Abbildung 47:** Illuviale Cutane (GPL, Profil 197); grüner Pfeil: Schluffcutan; roter Pfeil: Toncutan



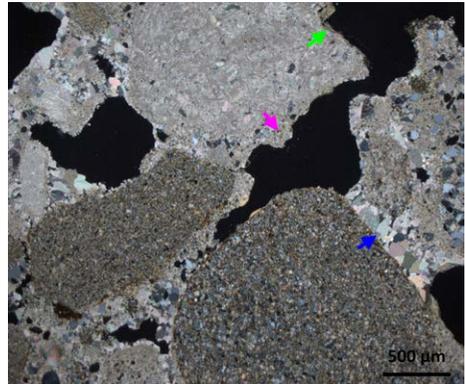
**Abbildung 48:** Sparitische Ausfällung von Calciumcarbonat und Mikrit in Grobpore (LPL, Profil 197); grüner Pfeil: sparitischer Calcit; pinker Pfeil: mikritischer Calcit



**Abbildung 49:** Sparitische Ausfällung von Calciumcarbonat und Mikrit in Grobpore (GPL, Profil 197); grüner Pfeil: sparitischer Calcit; pinker Pfeil: mikritischer Calcit



**Abbildung 50:** Verkittung der Matrix mit Calciumcarbonat (LPL, Profil 197); grüner Pfeil: Schluffcutan; pinker Pfeil: Mikrit; blauer Pfeil: Sparit

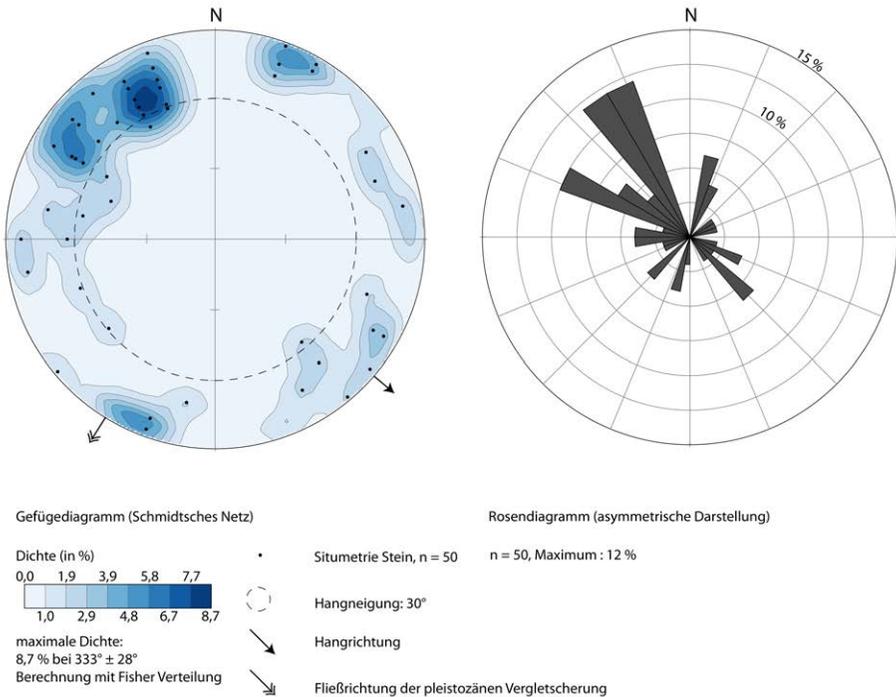


**Abbildung 51:** Verkittung der Matrix mit Calciumcarbonat (GPL, Profil 197); grüner Pfeil: Schluffcutan; pinker Pfeil: Mikrit; blauer Pfeil: Sparit

kirschrot, die hellbraunen Kristalle xenomorph. Lösungsporen in Grobboden als Folge chemischer Verwitterung von Calcit sind selten, und wenn dann im Randbereich des Grobbodens zu finden. Das  $c_{30-100\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis in der Matrix ist *single spaced-porphyric* bis *double spaced porphyric*, die Matrix ist mit Sekundärcarbonat verkittet (*calcitic crystalitic b-fabric*). Der Grobschluff und der Feinsand bestehen hauptsächlich aus Quarz. Die Matrix weist mit braunen und roten Eisenhydroxiden ebenfalls deutlich auf Verbraunung. In den Poren sind randständige Schluffcutane mit Mächtigkeiten von 50 µm bis 150 µm und staubige Toncutane mit Durchmessern zwischen 15 µm und 30 µm vorhanden (Abb. 46 und Abb. 47). Die Schluffcutane sind gut sortiert und mehrschichtig. Die Toncutane sind meist

überdeckt von Schluffcutanen. Unregelmäßiger sparitischer Calcit mit Kristalllängen von 50 µm bis 80 µm säumt die Porenränder (Abb. 48 und Abb. 49), während die Matrix mit Mikrit verkittet ist (Abb. 50 und Abb. 51). Sparitischer Calcit überbrückt teilweise kleinere Zwischenräume nah aneinanderliegender Matrix. Zwischen dem Grobboden liegen häufig wiederholte Abfolgen mit Mächtigkeiten bis zu 2 cm deutlich geschichteter und horizontal gelagerter Grobschluffbänder aus Quarz, die mit Mikrit verkittet sind und damit von Sedimentationsphasen vor der Ausfällung des Mikrits assoziiert werden.

Die situmetrische Untersuchung des Grobbodens zeigt eine Orientierung der Streichrichtung der Klasten orthogonal zur Fließrichtung des Gletschers. Die Fallwinkel des Skeletts sind in Richtung des Außenhangs der Seitenmoräne orientiert (Abb. 52). Der Isotropie-Index von 0,17 und der Elongations-Index von 0,50 weisen damit auf sehr einheitliche Fallwinkel und eine einheitliche Streichrichtung der Klasten (Abb. 30).



**Abbildung 52:** Situmetrie des Grobbodens Profil 197

## 6.9 Transekt 1 – Profil 198

Das Profil 198 befindet sich auf dem ostexponierten Mittelhang der Seitenmoräne (1137 m ü. M., UTM: 30 T 701522 4729269). Die Hangneigung beträgt 30°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Allochthone Blöcke und Großblöcke liegen oberflächlich auf dem Hang. Kritzen im anstehenden Kalksandstein belegen die glaziale Prägung des Standorts (Abb. 53). Das Profil ist 90 cm aufgeschlossen (Abb. 54). Der anstehende Kalksandstein wurde im Profil nicht erreicht, die glazialen Sedimente sind um das Profil meist aber nur 50 cm bis 200 cm mächtig. Die Horizontabfolge ist Ah/Al-Bv/Bt+eICv/II eICv/II eICc (Abb. 54), der Bodentyp ist eine schwach entwickelte Braunerde-Parabraunerde in einer flachen grob-bodenarmen Hauptlage über primärcarbonathaltigem *till* mit einer rezenten Ausfällung sekundärer Carbonate im *till*. Die höheren Feinsand- und Grobschluffanteile in Verbindung mit der Skelettarmut im Hangenden werden als äolischer Eintrag im Sinne einer Hauptlagengeneese interpretiert. Das Skelett im liegenden *till* zeigt eine schwache Orientierung in Hangrichtung, was eher auf eine paraglaziale oder periglaziale Überprägung als eine glaziale Ursache weist, da die parallel zum Tal orientierten Kritzen in direkter Umgebung des Profils eine talparallele Orientierung in den glazialen Sedimenten erwarten lassen. Die Pedogenese ist im hangenden Sediment mit Lessivierung und Verbraunung ausgeprägter als im stark primärcarbonathaltigen *till*. Die Hauptlage enthält an der Basis noch fleckenweise Primärcarbonat, aufgrund der geringen Mächtigkeit des Ober- und Unterbodens ist eine erosive Profilverkürzung in Betracht zu ziehen. Die Gehalte an  $Fe_T$  und Goethit/Hämatit nehmen zur Basis des hangenden Sediments zu, was aufgrund der im Feld beobachteten glänzenden Außenflächen der Aggregate auf Lessivierung und Verbraunung zurückgeführt wird. Die Lessivierung greift in den primärcarbonathaltigen *till* zapfenförmig über, wobei der braune Feinboden innerhalb der Zapfen im Gegensatz zum umgebenden Feinboden carbonatfrei ist. Die Entstehung der zapfenförmigen Verzahnungen wird auf pedogene Prozesse in Form präferentiellen Flusses entlang von Wurzelröhren und die damit initiierte bzw. intensivierte Verwitterung und Tonverlagerung zurückgeführt.



**Abbildung 53:** Talparallele Kritzen im Anstehenden 40 m nördlich von Profil 198



**Abbildung 54:** Horizontabfolge Profil 198

### **Ah 0–3 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun bis sehr dunkel braungrau (10 YR 4/3 bis 3/2). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm, der Tonanteil beträgt 29 % (Abb. 55). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %. Die Menge an  $\text{Fe}_T$  beträgt  $36\,287\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $16\,793\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $871\text{ mgkg}^{-1}$ .

### **Bt+eCv 9–21 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkelbraun (7,5 YR 4/6). Die Körnung des Feinbodens ist ein sandig-toniger Lehm. Der Tonanteil beträgt 43 %. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch, glatte und glänzende Außenflächen von Aggregaten weisen auf Lessivierung. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 7,7 %, die Bodenlösung ist neutral. Der Gehalt an  $\text{Fe}_T$  beträgt  $44\,802\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $22\,869\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $794\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, die Untergrenze des Horizonts bzw. der Schicht ist keil- bis taschenförmig und scharf.

### **II eCv 21–34 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist braun (7,5 YR 5/6). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig-toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Tonanteil im Feinboden beträgt 43,7 %. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 16,7 %, die Bodenlösung ist neutral. Der Feinboden enthält Sekundärcarbonat in Form von 1 mm großen weißen Konkretionen und Primärcarbonat. Der Gehalt an  $\text{Fe}_T$  beträgt  $41\,268\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $19\,762\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $836\text{ mgkg}^{-1}$ .

Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das Skelett ist diamiktisch. Die situmetrischen Untersuchungen des Grobbodens zeigen eine Orientierung der Klasten weniger in die pleistozäne Gletscherfließrichtung als in Hangrichtung (Abb. 56). Der Isotropie-Index von 0,34 und der Elongations-Index von 0,21 weisen damit auf ähnliche Fallwinkel und eine eher uneinheitliche Streichrichtung der Klasten (Abb. 30).

### **II eCk 34–90+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 5/4). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Der Tonanteil beträgt 30 % und an der Basis des Horizonts 27 %. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Anteil an  $\text{CaCO}_3$  beträgt 25,4 % und 36,7 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil steigt im Horizont mit der Tiefe auf 50 %. Das Skelett ist diamiktisch.

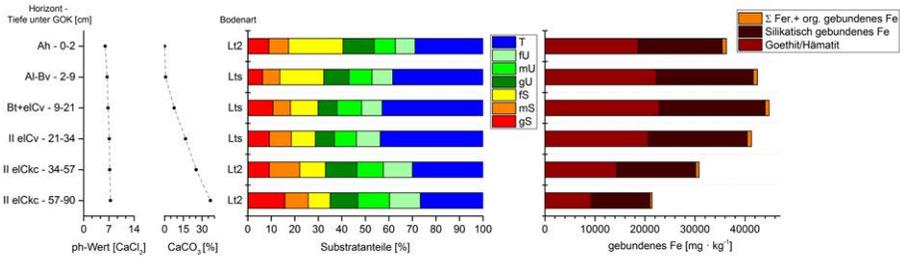


Abbildung 55: Laborergebnisse Profil 198

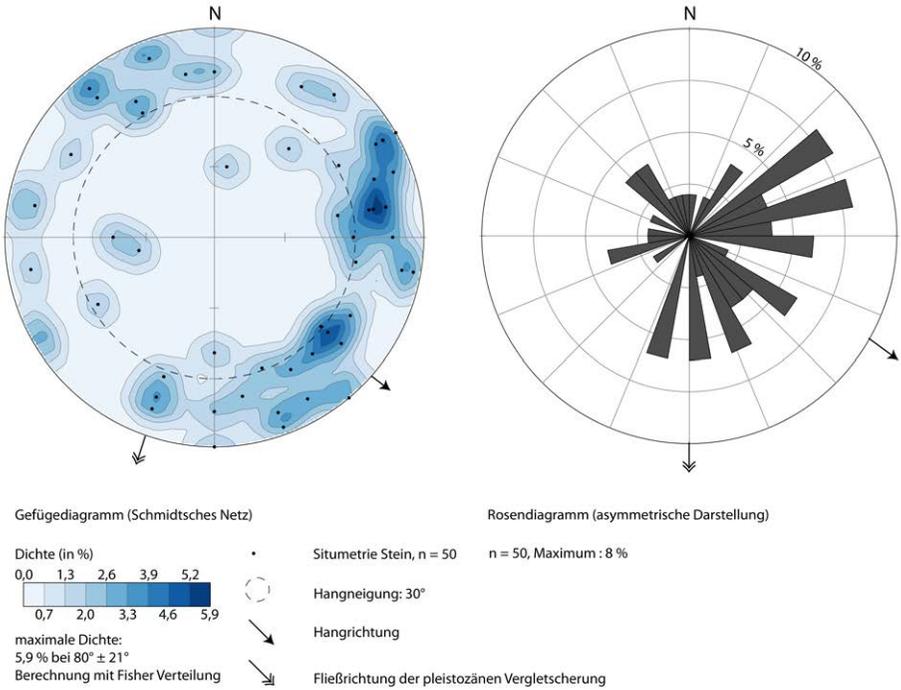


Abbildung 56: Situmetrie des Grobbodens Profil 198: 21 cm bis 90 cm unter GOK

### 6.10 Transekt 1 – Profil 212

Profil 212 ist auf 1122 m ü. M. im Innenhang der Seitenmoräne angelegt (UTM: 30 T 701749 4729552). Die Hangneigung beträgt  $16^\circ$ , die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Um das Profil liegen Blöcke und Großblöcke an der Oberfläche. Der anstehende Flysch wurde im Profil nicht erreicht, die Aufschlussituation entlang der Straße zeigt, dass die glazialen Sedimente

mindestens 3 m mächtig sind. Die Horizontabfolge ist Alh/Al-Bv/II Btv/II eCv, der Bodentyp ist eine Parabraunerde-Braunerde in einer flachen grobbodenarmen Hauptlage und dem entcarbonatisierten liegenden *till* (Abb. 57). Der Verbraunungshorizont reicht tief in den *till*. Die im Unterboden relativ homogenen Parameter Textur,  $Fe_T$ , Eisenoxide und Bodenacidität weisen auf eine nur schwache pedogene Verlagerungsdynamik in Form von Lessivierung im Profil. Verbraunung und Rubefizierung prägen die Bodenentwicklung im *till*. In Anbetracht der deutlichen Verbraunung bzw. Rubefizierung ist bemerkenswert, dass im Unterboden die pH-Werte im mäßig bis schwach sauren Bereich vergleichsweise hoch sind.



**Abbildung 57:** Horizontabfolge Profil 212.

#### **Alh 0–4 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (7,5 YR 3/2). Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm, der Tonanteil beträgt 22 % (Abb. 58). Das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei, der Gehalt an  $C_T$  beträgt 2,2 %. Die Bodenlösung ist mäßig sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %, das Skelett besteht aus Kies und Grus. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $26\,215\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $13\,970\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $826\text{ mgkg}^{-1}$  und der Anteil organisch gebundenen Eisens  $337\text{ mgkg}^{-1}$ .

#### **Al-Bv 4–21 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Der Feinboden ist carbonatfrei, der Anteil an  $C_T$  beträgt 1,9 %. Die Bodenlösung ist mäßig sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm, der Tonanteil beträgt 25 %. Das Gefüge ist subpolyedrisch, die Aggregate zerbrechen bei geringer Belastung. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $31\,853\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $14\,135\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $754\text{ mgkg}^{-1}$  und der Anteil organisch gebundenen Eisens  $259\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %, der Grobboden besteht aus Kies und Grus. Weißes Pilzmycel wächst um Pflanzenwurzeln und durchwächst den Feinboden. Die Untergrenze ist aufgrund des Farbwechsels und des sprunghaften Anstiegs des Grobbodenanteils in der liegenden Schicht scharf. Die Gehalte an Goethit/Hämatit nehmen ebenfalls mit der Tiefe von  $17\,674\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $20\,107\text{ mgkg}^{-1}$  zu.

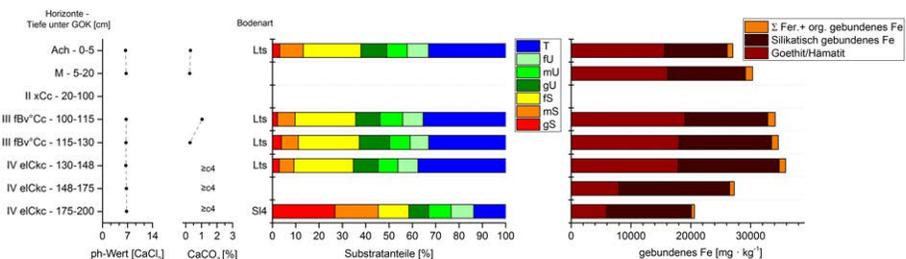
Die Gehalte an Ferrihydrit schwanken im Horizont zwischen  $849 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $982 \text{ mgkg}^{-1}$ . Der Anteil organisch gebundenen Eisens nimmt mit der Tiefe von  $200 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $71 \text{ mgkg}^{-1}$  ab.

## II Btv 21–130 cm

Der Feinboden ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Textur des Feinbodens ist im gesamten Horizont ein schwach toniger Lehm. Der Tonanteil schwankt im Horizont zwischen 28 % und 30 %. Das Gefüge ist polyedrisch und die Aggregate haben teilweise glatte und glänzende Außenflächen. Der Grobbodenanteil beträgt 25 % bis 30 %. Das Skelett ist diamiktisch und hat eine allochthone Lithologie. Die Gehalte an  $C_T$  schwanken zwischen 0,4 % bis 0,5 %. Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen im Horizont zur Basis hin von  $31\,631 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $38\,604 \text{ mgkg}^{-1}$  zu.

## II eICv 130–160+ cm

Der Feinboden ist fleckig marmoriert, die Farbe ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der Feinboden ist zwischen 130 cm bis 150 cm carbonatarm, darunter ist er carbonatreich. Der  $CaCO_3$ -Anteil beträgt 11,3 %, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $35\,461 \text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $15\,114 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $880 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Menge organisch gebundenen Eisens  $71 \text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett ist diamiktisch und nach visueller Einschätzung chaotisch gelagert. Der Grobboden ist teilweise stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Calcitkrusten haften an der Unterseite des Grobbodens, mit zunehmender Tiefe ist der Grobboden ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt.



**Abbildung 58:** Laborergebnisse Profil 212

## 6.11 Transekt 1 – Profil 202

Profil 202 befindet sich auf 1108 m ü. M. im nach Südost exponierten Mittelhang der Seitenmoräne (UTM: 30 T 701714 4729475). Die Hangform ist konvex-konvex, die Hangneigung beträgt  $40^\circ$ . Das Profil ist 2 m aufgeschlossen, aufgrund einer schwierigen Aufschlussituation konnten fotografisch nur die untersten 70 cm des Profils festgehalten werden (Abb. 60). Das Profil ist von einem dreischichtigen Aufbau über dem anstehenden Flysch gekennzeichnet, wobei das Anstehende etwa 10 m nördlich des Profils am Feldweg aufgeschlossen ist. Der *till* ist im Profil mindestens 2 m mächtig. Die Horizontabfolge ist Ach/M/II xCc/III fBv°Cc/IV elCkc, der Bodentyp ist ein flacher Kolluvisol über einem tiefen, feinbodenfreien und gravitativ verlagerten Schutt über einer fossilen Braunerde in einer skelettführenden Hauptlage über *till* (Abb. 59 & Abb. 60). Die rezente Pedogenese in dem fossilen Verbraunungshorizont wird von der Ausfällung sekundärer Carbonate dominiert, wobei die Carbonate aus dem gravitativ verlagerten Schutt deszendiert verlagert wurden.

### Ach 0–5 cm

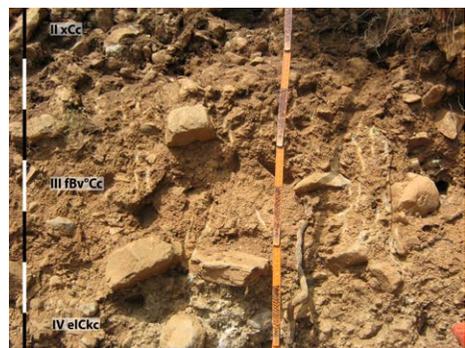
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun bis dunkelbraun (7,5 YR 4/4 bis 4/6). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm (Abb. 61). Das Gefüge ist krümelig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 0,3 %, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, das Skelett besteht aus Kies und Grus. An der Unterseite des Skeletts haften schwach entwickelte Calcitkrusten. Der Gehalt an  $\text{Fe}_T$  beträgt  $27\,046\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $15\,604\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $962\text{ mgkg}^{-1}$ .

### M 5–20 cm

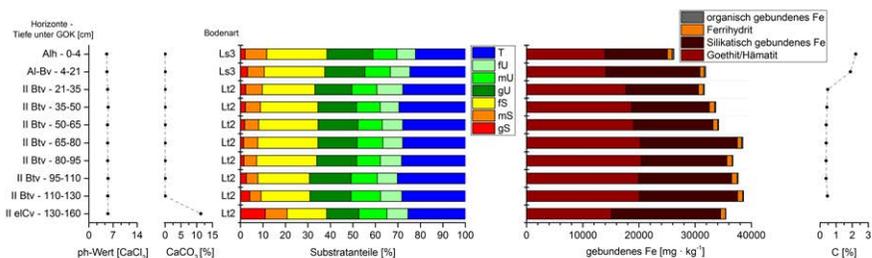
Der Feinboden ist dunkel graubraun (5 YR 4/4). Der Feinboden enthält 1 mm große Konkretionen aus Sekundärcarbonat. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 0,3 %, die Bodenlösung ist



**Abbildung 59:** Übersicht Profil 202, Länge des Maßstabs: 200 cm



**Abbildung 60:** Horizontabfolge Profil 202 an der Basis des Hangsturzes



**Abbildung 61:** Laborergebnisse Profil 202

schwach sauer. Der Horizont enthält Holzkohlefitter und bis 1 cm große Holzkohlereste. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %. Der Gehalt an  $Fe_T$  beträgt  $30\,330\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $16\,136\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $1190\text{ mgkg}^{-1}$ .

### II xCc 20–100 cm

Der Grobbodenanteil beträgt 95 %, die lagerungsbedingten Primärporen zwischen dem Skelett sind meist frei von Feinboden. Der Feinboden ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/3). Der Feinboden besitzt ein Einzelkorngefüge. Auf den untersten 10 cm der Schicht nimmt der Feinbodenanteil leicht zu. Der Feinboden ist frei von Primärcarbonat, 1 mm große Konkretionen aus Sekundärcarbonat sind im Feinboden enthalten. Die Unterseiten des Skeletts sind großflächig mit 1 mm großen pockenartigen Sekundärcarbonatausfällungen bedeckt. Der Grobboden ist chaotisch gelagert, das Skelett besteht aus Kies, Grus und kantigen bis gerundeten Steinen und Blöcken. Die Lithologie des Grobbodens besteht aus Konglomeraten, Kalksandsteinen und Sandsteinen. Die Klaster sind nur oberflächlich verwittert und meist schlagfest.

### III fBv° Cc 100–130 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der  $CaCO_3$ -Anteil beträgt 1,0 % und 0,3 %, die Bodenlösung ist schwach sauer. Calcit befindet sich als 1 mm große Konkretionen aus Sekundärcarbonat in den Poren, wobei die Anzahl der Konkretionen im Horizont mit der Tiefe abnimmt. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % bis 20 %, das Skelett besteht aus Kies, Grus und kantigen bis gerundeten Steinen und Blöcken. Die Untergrenze der Schicht ist aufgrund des sprunghaften Anstiegs des Grobbodenanteils im Liegenden scharf. An der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten. Im oberen Bereich des Horizonts bei 100 cm und 110 cm unter GOK sind viele Holzkohlereste vorhanden. Die Gehalte an  $Fe_T$  betragen  $34\,629\text{ mgkg}^{-1}$  und  $34\,109\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit

18 036 mgkg<sup>-1</sup> und 19 050 mgkg<sup>-1</sup> und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit 1254 mgkg<sup>-1</sup> und 1139 mgkg<sup>-1</sup>.

#### IV elCkc 130–200+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun bis dunkel graubraun (2,5 Y 4/4 bis 5/4). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm und ein stark lehmiger Sand. Der Grobsandanteil steigt in 175 cm bis 200 cm unter GOK aufgrund der Verkittung des Feinbodens mit Sekundärcarbonat sprunghaft auf 27 % an. Der Feinboden ist mindestens carbonatreich (> c4), die Bodenlösung ist schwach sauer bis neutral. Der Horizont hat ein Polyedergefüge, das zur Basis in ein Kittgefüge übergeht. Der Grobbodenanteil beträgt 60 % bis 70 %. Das Skelett ist diamiktisch.

### 6.12 Transekt 1 – Profil 203

Profil 203 befindet sich auf der subglazial geprägten Festgesteinslandschaft auf 1072 m ü. M. (UTM: 30 T 701706 4729014). Das Profil ist im Kulminationsbereich angelegt, der anstehende Flysch ist von einem flachgründigen und feinbodenreichen Sediment bedeckt. Allochthone Blöcke und Großblöcke liegen um das Profil an der Oberfläche (Abb. 63). Die Lithologie der allochthonen Klasten besteht aus Konglomerat und rotem Schiefer. Die Horizontabfolge ist Ah/II emC, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus flachem, feinbodenreichem Substrat über anstehendem Kalksandstein (Abb. 62). Die Fazies des hangenden Substrats kann nicht geklärt werden, eine Verwitterung aus dem Anstehenden ist aufgrund der scharfen Untergrenze des Hangenden und des schlagfesten Zustands des Flyschs aber nicht gegeben, weswegen eine allochthone Herkunft für das Hangende anzunehmen ist. Aufgrund des lose auf der Oberfläche verteilten Grobbodens wird von einer markanten Kappung bzw. Erosion ausgegangen.



**Abbildung 62:** Horizontabfolge Profil 203



**Abbildung 63:** Freiliegender Grobboden um Profil 203

### Ah 0–30 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (5 YR 3/2). Der Feinboden ist carbonatarm (c1 bis c2), das Carbonat liegt als Sekundärcarbonat in 1 mm bis 2 mm großen Konkretionen im Feinboden vor. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Feinboden ist ein stark sandiger Lehm, das Gefüge ist krümelig. Der Grobbodenanteil beträgt 1 %, das Skelett besteht aus Kies und Grus. Die Untergrenze des Horizonts zum anstehenden Flysch ist scharf und wellig. Klüfte, die etwa 10 cm in den Flysch reichen, sind teilweise frei von Feinboden.

### II emC 30–35+ cm

Der anstehende Kalksandstein ist oberflächlich schwach verwittert, in den Klüften ist die Verwitterung etwas ausgeprägter und einzelne Gesteinsfragmente lassen sich herausbrechen. In den Klüften ist Sekundärcarbonat ausgefällt.

## 6.13 Transekt 2 – Profil 185

Profil 185 liegt im Unterhang auf 1357 m ü. M. in einem Kiefernwald (UTM: 30 T 703553 4729746). Die Hangneigung beträgt 30°. Im Mittelhang in 100 m Entfernung zu Profil 185 liegt der anstehende Kalksandstein an der Oberfläche oder ist nur von wenigen Dezimeter mächtigen Sedimenten bedeckt (Abb. 64). Neben Profil 185 ist der Hang von 3 m bis 5 m tiefen Runsen zerschnitten, die nicht bis zum Anstehenden reichen. Die Hangform ist gestreckt-gestreckt und verstürzte Mauerreste weisen auf eine frühere Terrassierung. Hinter quer zum Hang liegenden Baumstämmen deuten angeschwemmte Äste und Streureste auf Oberflächenabfluss (Abb. 66). Profil 185 ist als Hammerschurf angelegt und 47 cm aufgeschlossen. Die Horizontabfolge ist Ah/M (Abb. 65), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinbodenreichem Substrat.



**Abbildung 64:** Erodierter Hang oberhalb von Profil 185 auf 1400 m ü. M.



**Abbildung 65:** Horizontabfolge Profil 185

### **Ah 0–2 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der geringmächtige Horizont ist schwach humos, der Feinboden ist carbonatfrei. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm, das Gefüge ist krümelig. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett ist grusig und stark verwittert.

### **M 2–47+ cm**

Zwischen 2 cm und 25 cm unter GOK ist der Feinboden carbonatfrei, darunter beträgt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil 0,9 %. Die Bodenlösung ist mäßig sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm, der Horizont hat ein kohärentes Gefüge. Das Substrat enthält Holzkohlereste bis 3 mm Durchmesser und ist aufgrund der dichten Lagerung schwer grabbar.



**Abbildung 66:** Von Oberflächenabfluss verlagerte Streureste und Äste hinter einem hangparallel liegendem Stamm neben Profil 185

## **6.14 Transekt 2 – Profil 186**

Profil 186 befindet sich im Unterhang auf 1295 m ü. M. (UTM: 30 T 703354 4729756). Die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt  $10^\circ$ . Das Profil ist 100 cm aufgeschlossen, hinter dem Profil verläuft ein 5 m tiefer Hohlweg. Die Horizontabfolge ist Ah/M (Abb. 67 und Abb. 68), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinbodenreichem Substrat. Das Kolluvium ist im Profil 186 mindestens 160 cm mächtig, im 40 m entfernten Profil 188 beträgt die Mächtigkeit des Kolluviums 216 cm. Mehrere horizontal gelagerte Steinsohlen im Profil 186 belegen eine mehrphasige Genese des Kolluviums.

### **Ah 0–2 cm**

Der geringmächtige Ah ist sehr dunkel graubraun (10 YR 2/3). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig-lehmiger Schluff, das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer (Abb. 69).

### **M 2–160+ cm**

Die Farbe des Kolluviums ist dunkel graubraun bis dunkel gelblichbraun (10 YR 4/3 bis 4/6). Die Textur des Feinbodens variiert zwischen schwach sandigen und schwach tonigem Lehm. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer bis schwach sauer.

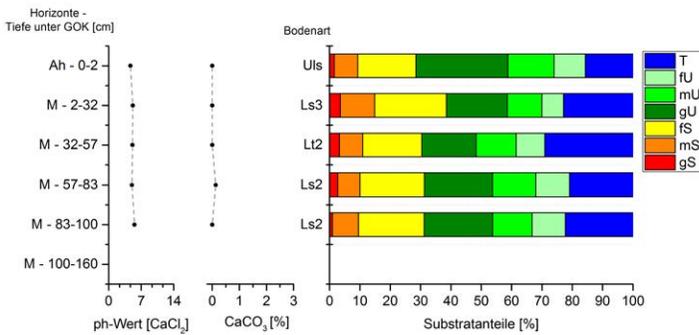
Im Feinboden sind viele Holzkohlefitter und bis zu 2 cm große Holzkohlebruchstücke vorhanden. Der Grobbodenanteil liegt zwischen 2 % und 10 %, wobei sich mehrere horizontal gelagerte Steinsohlen im Kolluvium befinden.



**Abbildung 67:** Profil 186 befindet sich am linken Wegrand



**Abbildung 68:** Oberer Teil von Profil 186



**Abbildung 69:** Laborergebnisse Profil 186

## 6.15 Transekt 2 – Profil 188

Profil 188 ist als Fortsetzung der Stratigrafie 40 m südlich von Profil 186 angelegt (1290 m ü. M., UTM: 30 T 703357 4729712). Der Hang oberhalb des Profils ist 10° geneigt, die Hangform ist konkav-gestreckt. Das Profil ist 270 cm am Rand eines Hohlwegs aufgeschlossen, wobei nur der Bereich zwischen 170 cm und 270 cm unter GOK zugänglich war. Das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist M/II fBt+elCv°Cc, der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinkohlreichem Substrat über einem sehr tiefen fossilen Illuvialhorizont

einer gekappten Parabraunerde in primär-carbonathaltigem *till* mit einer rezenten Ausfällung sekundärer Carbonate (Abb. 70). Das Kolluvium hat an der Basis ein OSL-Alter von  $0,31 \pm 0,03$  ka und eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung an einem Holzkohlefragment aus derselben Tiefe ergibt ein Alter von 257–31 cal BP.

**M 170–216 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Die Textur des Feinbodens wurde mittels Fingerprobe als schluffiger Ton ermittelt. Regenwurm- und Nagergänge durchziehen den Horizont. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Feinboden enthält sehr viele Holzkohleflitter und Holzkohlefragmente. Eine  $^{14}\text{C}$ -

Datierung eines Holzkohlefragments von der Basis des Kolluviums ergibt ein Alter von 257–31 cal BP ( $26 \pm 37$  14C BP; Erl-14827; 2 Sigma). Die parallel genommene OSL-Datierung



**Abbildung 70:** Horizontabfolge Profil 188: Die Punkte markieren die Position der OSL-Beprobung und  $^{14}\text{C}$ -Datierung

**Tabelle 2:** OSL-Alter

Riso-Nummer	Profil	Tiefe unter GOK [cm]	Alter in ka	Dosis Gy	n	Dosisrate	Wassergehalt in %
10 50 10	117	32	$2,82 \pm 0,18$	$9,9 \pm 0,4$	18	$3,50 \pm 0,16$	6
10 50 11	173	25	$0,85 \pm 0,05$	$2,31 \pm 0,09$	24	$2,71 \pm 0,11$	14
10 50 12	174	26	$7,3 \pm 0,5$	$22,6 \pm 1,3$	17	$3,08 \pm 0,13$	10
10 50 13	174	36	$7,8 \pm 0,7$	$30 \pm 2$	25	$3,89 \pm 0,18$	8
95001	188	207	$0,31 \pm 0,03$	$0,91 \pm 0,08$	20	$2,93 \pm 0,15$	10
12 50 26	190	36	$2,3 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,4$	27	$3,42 \pm 0,17$	5
10 50 15	190	49	$13 \pm 2$	$53 \pm 7$	23	$4,06 \pm 0,19$	5
10 50 16	190	73	$55 \pm 5$	$228 \pm 17$	24	$4,16 \pm 0,19$	5
10 50 17	210	55	$3,0 \pm 0,2$	$10,4 \pm 0,5$	24	$3,44 \pm 0,16$	5
10 50 18	230	135	$61 \pm 4$	$127 \pm 5$	19	$2,09 \pm 0,10$	8
12 50 27	231	40	$10,6 \pm 0,8$	$38,9 \pm 1,6$	18	$3,69 \pm 0,17$	7
10 50 19	231	60	$14,4 \pm 1,2$	$51 \pm 3$	20	$3,54 \pm 0,16$	7
12 50 28	232	42	$4,2 \pm 0,2$	$15,0 \pm 0,4$	17	$3,61 \pm 0,17$	7
12 50 29	232	50	$5,8 \pm 0,3$	$22,0 \pm 0,4$	18	$3,77 \pm 0,17$	7
10 50 20	232	70	$11,4 \pm 0,7$	$35,6 \pm 1,2$	19	$3,13 \pm 0,14$	7

ergibt ein OSL-Alter von  $0,31 \pm 0,03$  ka (Risø-Nr. 95001, Tab. 2). Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus Kies, Grus und kantigen bis gerundeten Steinen. Die Untergrenze des Kolluviums ist scharf, gerade und nach rechts geneigt.

## II fBt+eIcV°Cc 216–270+ cm

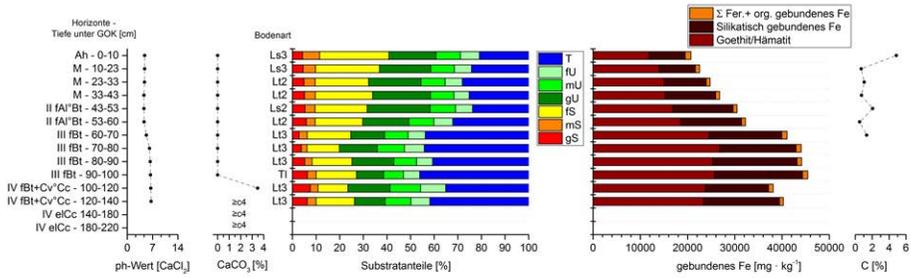
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett ist diamiktisch und teilweise nicht mehr schlagfest. Calcitkrusten bedecken den Grobboden ganzseitig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 35,1 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer.

### 6.16 Transekt 2 – Profil 190

Profil 190 liegt im Kulminationsbereich der Seitenmoräne auf 1242 m ü. M. (UTM: 30 T 703446 4729000). Die Hangneigung in Streichrichtung der Seitenmoräne beträgt  $10^\circ$  und steigt 4 m hinter dem Profil auf  $20^\circ$  an. Die Hangform ist gestreckt-konvex. Auf der Seitenmoräne liegen oberflächlich Großblöcke und verstürzte Mauern aus Le-sesteinen. Das Anstehende wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/M/II fAl°Bt/III fBt/IV fBt+Cv°Cc/eIcC (Abb. 71), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinbodenreichem Substrat mit einer rezenten Lessivierung über einem in grobbodenarmem Substrat entwickelten fossilen Eluvialhorizont mit einem rezenten Toneintrag aus dem Kolluvium. Mittels mikromorphologischer Untersuchungen konnten sedimentär bedingte Sortierungseffekte in Form von Intraklasten und sichelförmigem Mikrogefüge vorgefunden werden, die noch nicht durch postsedimentäre Turbation zerstört wurden. Das Kolluvium hat an ein OSL-Alter von  $2,6 \pm 0,2$  ka, die grobbodenarme Hauptlage des fossilen Eluvialhorizonts hat einen hohen Feinsand- und Grobschluffanteil und ein OSL-Alter von  $13 \pm 2$  ka. Der fossile Eluvialhorizont gehört zu einer Parabraunerde mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in die liegende grobbodenhaltige Mittellage. Die Entstehung der fossilen Parabraunerde ist nach  $13 \pm 2$  ka anzusetzen.



**Abbildung 71:** Horizontabfolge Profil 190: Die schwarzen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, die Punkte markieren die Position der OSL-Beprobung



**Abbildung 72:** Laborergebnisse Profil 190

Die grobbodenreiche Mittellage hat ein OSL-Alter von  $55 \pm 5$  ka und enthält Pedorelikte einer früheren Bodenbildung in Form von *anorthic/disorthic nodules* aus verbrauchtem Substrat und Toneintrag, wobei die Toncutane deutliche gealtert (granuliert) sind. Der liegende *till* ist carbonathaltig und weist einen früheren Toneintrag auf.

### Ah 0–10 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm. Der Tonanteil beträgt 21 % und der Sandanteil 41 % (Abb. 72). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei und die Bodenlösung mäßig sauer. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 4,9 %. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $20\,716\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $11\,837\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $1219\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht vor allem aus Grus. Der Grobboden ist stark verwittert und nicht mehr schlagfest.

### M 10–43 cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 5/3). Die OSL-Datierung ergibt bei 36 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $2,3 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 125026, Tab. 2). Die Sandgehalte nehmen zur Basis des Kolluviums von 37 % auf 34 % ab und die Tongehalte mit der Tiefe leicht zu. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger bis schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch, das Substrat ist dicht gelagert und schwierig grabbar (Abb. 73). Das Kolluvium ist reich an Holzkohleflittern und bis zu 5 mm großen Holzkohlebruchstücken. Die Bodenlösung ist mäßig sauer, der Feinboden ist carbonatfrei. Die  $C_T$ -Gehalte schwanken zwischen 0,7 % und 1,1 %. Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen zur Basis des Kolluviums von  $22\,553\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $26\,771\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Gehalte an Goethit/Hämatit nehmen ebenfalls zur Basis des Kolluviums von  $13\,927\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $15\,265\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Summen an organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit schwanken zwischen  $808\text{ mgkg}^{-1}$  und  $907\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %, das Skelett besteht hauptsächlich aus Grus.

Die mikromorphologischen Untersuchungen weisen auf eine jüngere Überprägung des Sediments durch Turbation oder Verlagerung mit einer anschließend einsetzenden Lessivierung. Die Fragmente von Grobboden liegen noch nah aneinander, die Bruchspalten sind teilweise mit Feinboden verfüllt (Abb. 75). Sichelförmiges Mikrogefüge bestehend aus dünnen tonigen Lagen mit scharfen Außengrenzen weisen auf sedimentäre Sortierungsprozesse oder auf Umlagerung aggregierter Substrate (Abb. 75, Abb. 81 und Abb. 82). In den tonigen Lagen sind die Längsachsen der Tonminerale zueinander parallel. Sternporen weisen ebenfalls auf eine Verwürgung der Matrix. Der Grobboden wird oft von 200  $\mu\text{m}$  mächtigen porenarmen *granostriations* umhüllt. In der Matrix sind Holzkohlefitter bis 1000  $\mu\text{m}$  eingeschlossen. Das  $c_{40-120 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*, die Matrix ist *strial b-fabric*. Rezente Toncutane säumen in Form von 20  $\mu\text{m}$  bis 40  $\mu\text{m}$  leuchtenden Toncutanen die Porenränder (Abb. 76 und Abb. 77). In Lösungsporen von Grobboden sind ebenfalls leuchtende Toncutane vorhanden, derartige Fragmente sind in der Matrix eingeschlossen. In der Matrix finden sich häufig porenreiche Agglomerationen aus Feinsand und Mittelsand umgeben von sandarmem tonigen Substrat (Abb. 78, Abb. 79 und Abb. 80). Die sandigen Agglomerationen sind rund bis länglich.

## II fAl<sup>o</sup> Bt 43–60 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Das Substrat hat ein OSL-Alter bei 49 cm unter GOK von  $13 \pm 2$  ka (Risø-Nr. 105015, Tab. 2). Der Sandgehalt nimmt im Horizont mit der Tiefe weiter ab, der Tonanteil nimmt zur Basis des Horizonts von 24 % auf 32 % zu. Die Summen aus Grobschluff und Feinsand betragen 49 % bzw. 40 %. Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm und ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch. Der Horizont ist leichter grabbar als darüber. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt zwischen 43 cm und 53 cm unter GOK 2,1 % und darunter 0,5 %. Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen mit der Tiefe von 30 472  $\text{mgkg}^{-1}$  auf 32 249  $\text{mgkg}^{-1}$  zu. Die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen 16 899  $\text{mgkg}^{-1}$  und 18 554  $\text{mgkg}^{-1}$ . Die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit beträgt 830  $\text{mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %. Aufgrund des Grobbodenanteils, der Textur und der Stratigrafie wird das Sediment als Hauptlage eingeordnet, was von der OSL-Datierung chronologisch bestätigt wird.

## III fBt 60–100 cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (10 YR 5/4). Das Sediment hat bei 73 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $55 \pm 5$  ka (Risø-Nr. 105016, Tab. 2). Die Tongehalte schwanken im Horizont zwischen 41 % bis 46 %, die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm bzw. lehmiger Ton. Das Gefüge ist subpolyedrisch bis polyedrisch, Toncutane bedecken die Aggregate und den Grobboden. Der Feinboden enthält Holzkohlefitter. Der  $C_T$ -Gehalt zwischen 60 cm

und 70 cm beträgt 1,3 %. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist zwischen 60 cm und 70 cm unter GOK stark sauer und steigt zur Horizontbasis auf sehr schwach sauer. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte erreichen im Horizont mit 41051  $\text{mgkg}^{-1}$  bis 45447  $\text{mgkg}^{-1}$  das Maximum im gesamten Profil. Die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen 24552  $\text{mgkg}^{-1}$  bis 26793  $\text{mgkg}^{-1}$ , die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit 965  $\text{mgkg}^{-1}$  bis 1119  $\text{mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 20 % bis 25 %, das Skelett besteht aus Grus und kantigen bis kantengerundeten Steinen und Blöcken. Der Grobboden ist stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Zur Basis des Horizonts nimmt der Grusanteil zu. Die Untergrenze ist aufgrund des höheren Grobbodenanteils und des carbonathaltigen Feinbodens im Liegenden scharf.

Das  $c_{40-100 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric* (Abb. 74), die *b-fabric* ist *granostriated* und *stipple-speckled*. Die Matrix ist porenreich, wobei die Poren und Risse eine hohe Konnektivität haben. Runde bis ovale Poren mit Durchmessern zwischen 150  $\mu\text{m}$  und 300  $\mu\text{m}$  sind sehr häufig (Abb. 85 bis Abb. 88). Stark verzweigte Risse und Poren werden meist von 30  $\mu\text{m}$  bis 80  $\mu\text{m}$  dicken staubigen Toncutanen gesäumt. Die Toncutane sind hellbraun und haben unter gekreuzter Polarisation meist breite Auslöschungslinien, was auf eine Überprägung der Toncutane durch Verbraunung hinweist (Abb. 83 bis Abb. 88). Auf Grobbodenfragmenten befinden sich oft porenarme Schluffhauben. In der graubraunen Matrix liegen häufig braune und runde *anorthic/disorthic nodules* mit Durchmessern zwischen 1000  $\mu\text{m}$  und 2000  $\mu\text{m}$ . In Wurzelrinden sind Phytolithe aus Calciumoxalat vorhanden. Das Skelett ist meist stark verwittert, in den Lösungs-poren sind leuchtende Toncutane und braune Eisenausfällungen zu finden.

Die Stratigrafie sowie die Textur und die mikromorphologischen Untersuchungen deuten auf eine präpedogene periglaziale Prägung des Sediments. Aufgrund der sedimentologischen Befunde und des OSL-Alters wird das Sediment als Mittellage eingeordnet.

#### **IV fBt+Cv°Cc 100–140 cm**

Der Feinboden ist gefleckt dunkel graubraun bis hell braun (7,5 YR 4/6 bis 6/6). Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Schwach ausgebildete Toncutane bedecken vor allem im oberen Bereich des Horizonts die Aggregate. Fleckenweise ist der Feinboden frei von Carbonaten. Zwischen 100 cm und 120 cm unter GOK beträgt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil 3,5 %, darunter ist der Feinboden mindestens carbonatreich ( $> c_4$ ). Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Bis zu 3 mm große Konkretionen aus Sekundärcarbonat verfüllen die Poren. Mit zunehmender Tiefe haften Calcitkrusten an der Unterseite des Skeletts. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Sediment ist ein diamiktischer *till*.

#### IV eICc 140–220+ cm

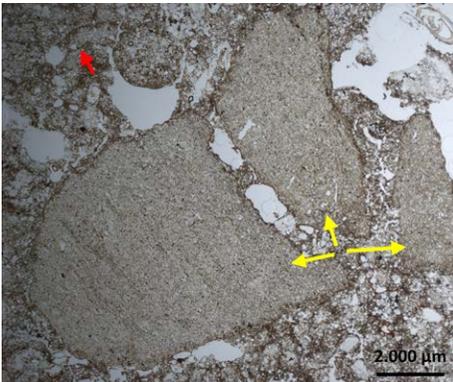
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der Feinboden ist teilweise mit Sekundärcarbonat zu 5 cm großen Aggregaten verkittet. An der Unterseite des Grobbodens haften teilweise Calcitkrusten.



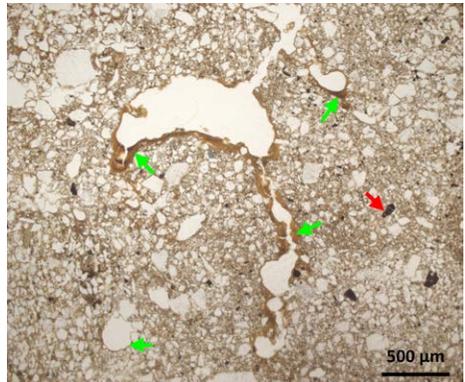
**Abbildung 73:** Übersicht Mikromorphologie Profil 190 (35–43 cm)



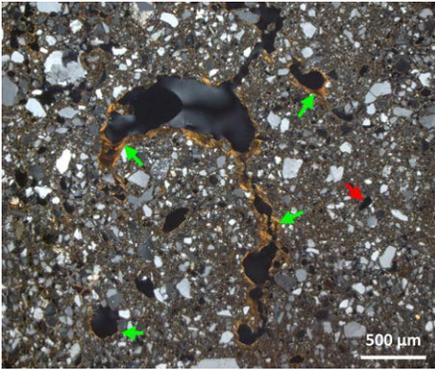
**Abbildung 74:** Übersicht Mikromorphologie Profil 190 (82–90 cm)



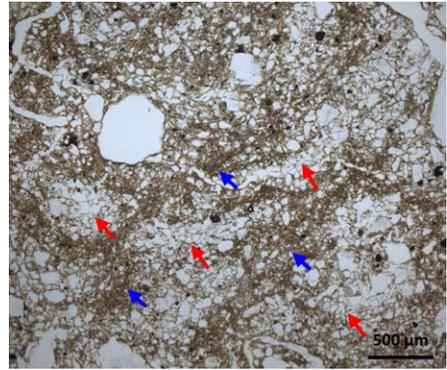
**Abbildung 75:** Fragmentierter Mittelkies (Profil 190, 35–43 cm, LPL); roter Pfeil: sichelförmiges Mikrogefüge; gelber Pfeil: fragmentierter Mittelkies mit teilweiser Verfüllung der Bruchspalten.



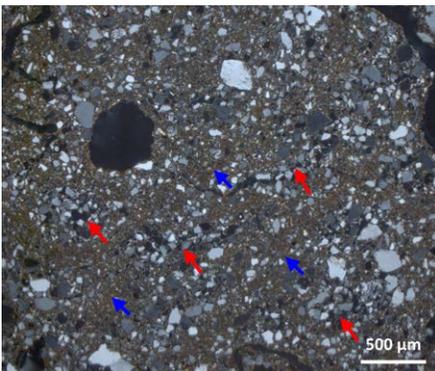
**Abbildung 76:** Toncutane (Profil 190, 35–43 cm, LPL); grüner Pfeil: leuchtende Toncutane; roter Pfeil: Holzkohlefragment



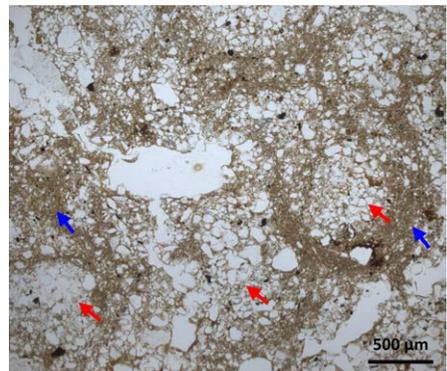
**Abbildung 77:** Toncutane (Profil 190, 35–43 cm, GPL); grüner Pfeil: leuchtende Toncutane; roter Pfeil: Holzkohlefragment



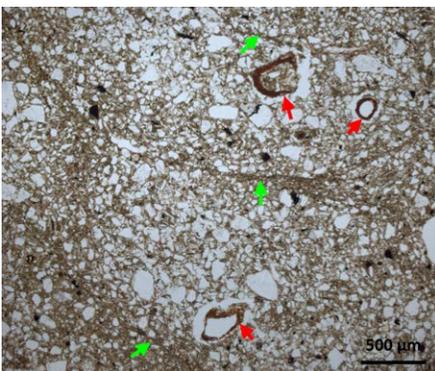
**Abbildung 78:** Sortierungen im Feinboden (Profil 190, 35–43 cm, LPL); roter Pfeil: porenreiche Agglomerationen aus Fein- und Mittelsand; blauer Pfeil: lehmiges Substrat



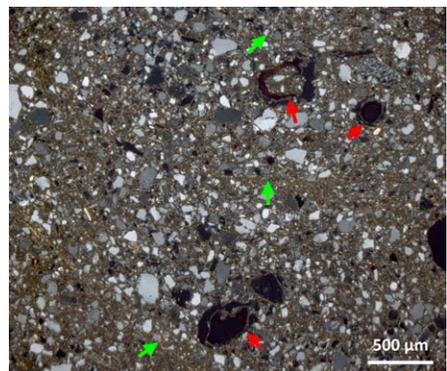
**Abbildung 79:** Sortierungen im Feinboden (Profil 190, 35–43 cm, GPL); roter Pfeil: Intraklasten aus Fein- und Mittelsand; blauer Pfeil: lehmiges Substrat.



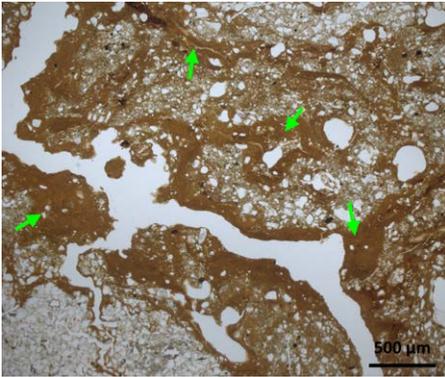
**Abbildung 80:** Runde Intraklasten (Profil 190, 35–43 cm, LPL); roter Pfeil: Intraklasten aus Fein- und Mittelsand; blauer Pfeil: lehmiges Substrat



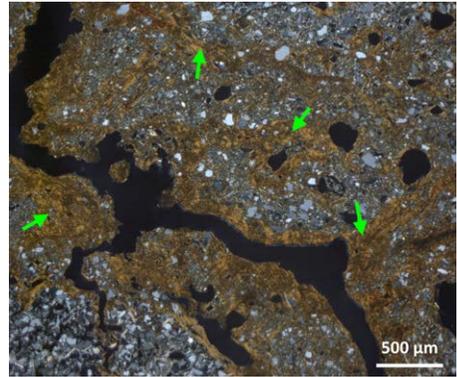
**Abbildung 81:** Sortierung des Feinbodens (Profil 190, 35–43 cm, LPL); grüner Pfeil: sichelförmiges Mikrogefüge; roter Pfeil: Wurzelreste



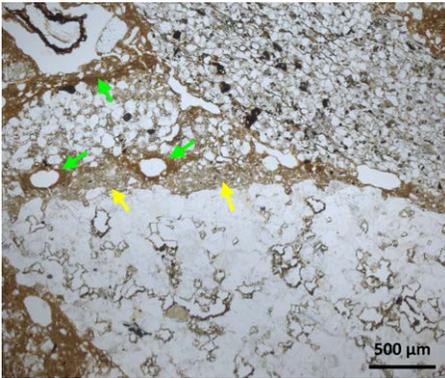
**Abbildung 82:** Sortierung des Feinbodens (Profil 190, 35–43 cm, GPL); grüner Pfeil: sichelförmiges Mikrogefüge; roter Pfeil: Wurzelreste



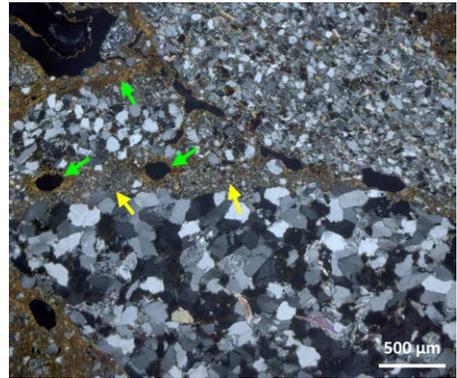
**Abbildung 83:** Illuviale Cutane im II Bt (Profil 190, 82–90 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutane mit einem hohen Anteil an Eisenoxiden



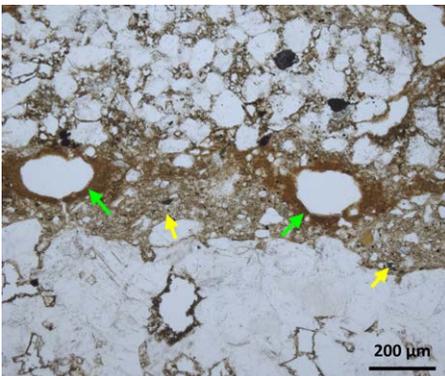
**Abbildung 84:** Illuviale Cutane im II Bt (Profil 190, 82–90 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutane mit einem hohen Anteil an Eisenoxiden



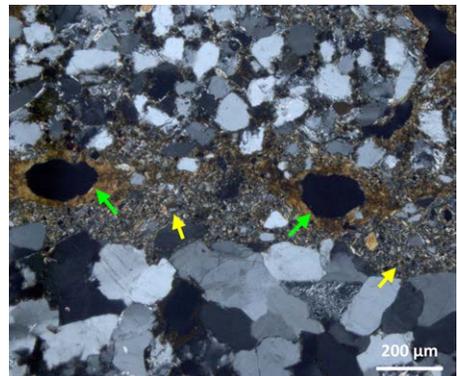
**Abbildung 85:** Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; gelber Pfeil: porenarme Schluffhaube auf Kies



**Abbildung 86:** Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; gelber Pfeil: porenarme Schluffhaube auf Kies



**Abbildung 87:** Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan in Vesikel; gelber Pfeil: Schluffhaube



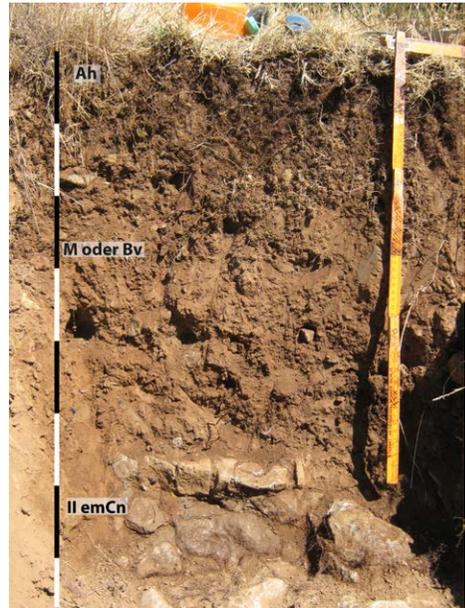
**Abbildung 88:** Schluffhaube und Vesikel mit Toncutanen (Profil 190, 82–90 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan in Vesikel; gelber Pfeil: Schluffhaube

## 6.17 Transekt 2 – Profil 192

Profil 192 befindet sich im Hangfuß auf 1157 m ü. M. (UTM: 30 T 703148 4729013). Die Hangneigung beträgt 5°, die Hangform ist konvex-gestreckt. Das Profil ist 65 cm bis zum Anstehenden aufgeschlossen (Abb. 89 und Abb. 90). Die Horizontabfolge ist Ah/M/II emCn oder Ah/Bv/II emCn. Eine Entstehung des Hangenden mittels Verwitterung aus dem Anstehenden kann aufgrund der scharfen Schichtgrenze und des schlagfesten Zustands des Kalksandsteins ausgeschlossen werden. Die Fazies des allochthonen, feinbodenreichen hangenden Sediments kann nicht abschließend geklärt werden. Der Bodentyp ist demzufolge entweder ein Kolluvisol oder eine Braunerde über anstehendem massiven Kalksandstein.



**Abbildung 89:** Profil 192 in feinbodenreichem Substrat über anstehendem Kalksandstein



**Abbildung 90:** Horizontabfolge Profil 192

### Ah 0–5 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (10 YR 2/2), das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei und die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus Kies und Grus.

### M oder Bv 5–58 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/4). Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Weißes Pilzmycel wächst nestartig im Horizont. Der Feinboden

ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Horizont ist reich an Holzkohleflittern und bis zu 3 cm großen Holzkohlefragmenten. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus Grus und angewittertem Kies.

### II emCn 58–65+ cm

Der anstehende und carbonatreiche Kalksandstein ist schlagfest und nicht grabbar.

## 6.18 Transekt 2 – Profil 193

Profil 193 befindet sich im Mittelhang auf 1100 m ü. M. (UTM: 30 T 703086 4728751). Die Hangneigung am Profil beträgt 5° und steigt 10 m hinter dem Profil auf 10° an. Die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Profil ist an einem Feldweg angelegt, das Anstehende wurde nicht erreicht (Abb. 91). Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/elCv/II elCck, der Bodentyp ist eine Braunerde in einer grobbodenarmen Hauptlage über carbonathaltigem und diamiktischem *till* mit rezenter Ausfällung sekundärer Carbonate (Abb. 92). Der Feinboden ist in der Hauptlage zwischen 0 cm und 34 cm unter GOK bei einer sehr schwach sauren Bodenlösung carbonatfrei und verbraunt, an der Basis steigt der Carbonatanteil sprunghaft an. Hinweise auf eine kolluviale Genese des hangenden Sediments sind mit den zahlreichen Holzkohlefragmenten und dem sprunghaften Anstieg des Carbonatanteils vorhanden, aufgrund der diffusen Untergrenze des Verbraunungshorizonts werden eine *in-situ*-Verbraunung des Hangenden und damit eine Hauptlagengenese favorisiert.

### Ah 0–2 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %.



Abbildung 91: Feldweg neben Profil 193

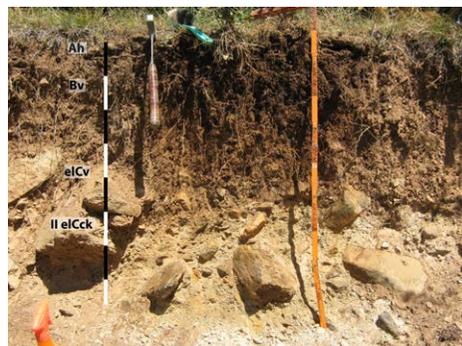


Abbildung 92: Horizontabfolge Profil 193

### **Bv 2–34 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3). Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer, der Feinboden ist carbonatfrei. Der Horizont ist reich an Holzkohleflittern und bis zu 2 cm großen Holzkohlebruchstücken. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 10 %, das Skelett besteht aus Grus und Kies. Die Lithologie bilden Kalksteine und Kalksandsteine, der Grobboden ist teilweise stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Die Untergrenze des Horizonts ist diffus.

### **eCv 34–48 cm**

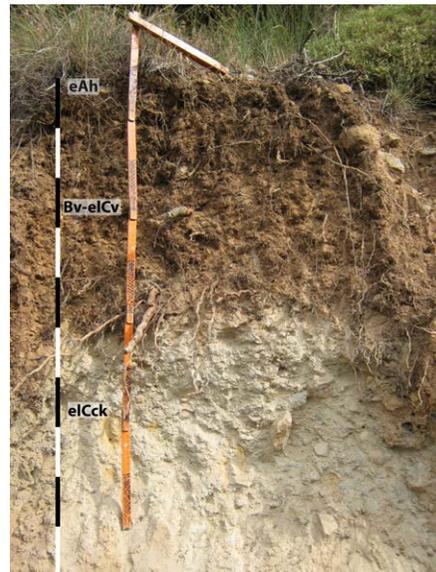
Der Horizont ähnelt dem hangenden Horizont, nur ist der Feinboden carbonathaltig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 40,6 %, die Bodenlösung ist neutral. Bei 43 cm unter GOK finden sich viele Holzkohlebruchstücke. Die Untergrenze zur liegenden Schicht ist aufgrund des sprunghaften Anstiegs des Grobbodenanteils im Liegenden und wegen des farblichen Unterschieds des Feinbodens scharf.

### **II eCck 48–60+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun, variiert aber je nach Carbonatgehalt. Der Feinboden ist mit Sekundärcarbonat massiv verkittet und nur schwierig mit dem Hammer grabbar. Der Grobbodenanteil beträgt 35 %, das Skelett ist diamiktisch und ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt.

## **6.19 Transekt 2 – Profil 181**

Profil 181 liegt im Mittelhang auf 1064 m ü. M. (UTM: 30 T 702896 4728696). Die Hangneigung beträgt  $40^\circ$ , die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Allochthone Blöcke und Großblöcke liegen auf dem Hang. Das Profil ist 90 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht. In Profil 181 ist der in Profil 180 unzugängliche Oberboden aufgeschlossen. Die Horizontabfolge ist eAh/Bv-eCv/eCck, der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina aus *till* mit einer rezenten Ausfällung sekundärer Carbonate im Unterboden und Untergrundhorizont (Abb. 93). Trotz der deutlichen Verbraunung ist der Feinboden im Unterboden carbonathaltig, wobei sowohl Primärcarbonat als auch Sekundärcarbonat vorhanden sind.



**Abbildung 93:** Horizontabfolge Profil 181

### eAh 0–3 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun bis dunkelbraun (7,5 YR 4/4 bis 4/6). Die Textur des Feinbodens ist ein stark sandiger Lehm (Abb. 94). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 11,9 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

### Bv–elCv 3-50 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun bis dunkelbraun (7,5 YR 4/4 bis 4/6). Der Sandanteil nimmt im Horizont zur Basis hin von 53 % auf 42 % ab, die Textur des Feinbodens reicht von stark sandigem bis zu schwach tonigem Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil schwankt im Horizont zwischen 9,4 % und 15,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. In den Poren sind Konkretionen aus Sekundärcarbonat ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, an der Unterseite und der hangwärtigen Seite des Skeletts haften Calcitkrusten. Bei 20 cm und 30 cm unter GOK sind viele Holzkohlefitter und bis zu 2 cm große Holzkohlereste. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und eben.

### elCck 50–90 cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 5/4). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig-lehmiger Schluff. Der Horizont hat ein Polyedergefüge, das in ein Kittgefüge übergeht. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 33,7 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Horizont wird aufgrund der Verkittung des Feinbodens mit zunehmender Tiefe massiver. Der Horizont ist im Gegensatz zum hangenden Horizont frei von Wurzeln. Der Grobbodenanteil beträgt 30 % bis 40 %, das Skelett ist diamiktisch.

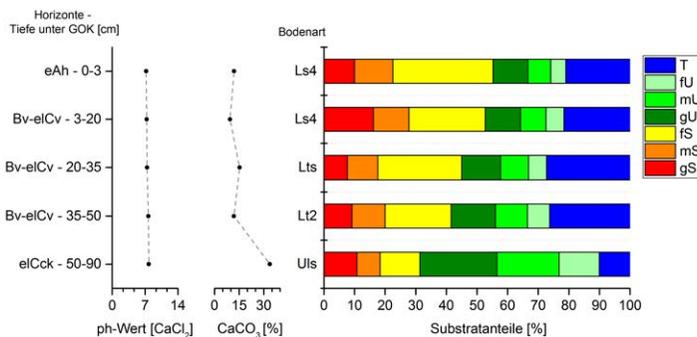


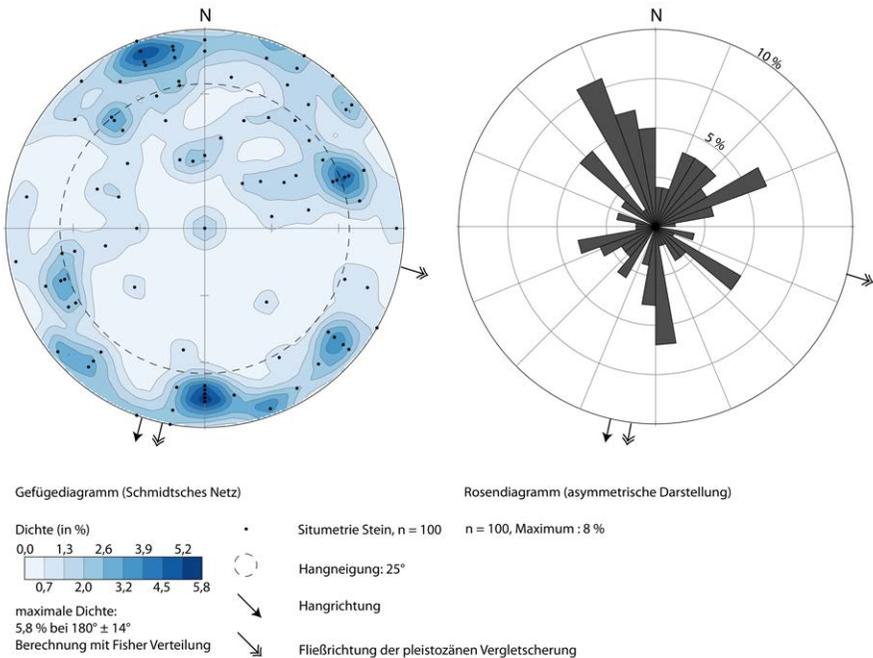
Abbildung 94: Laborergebnisse Profil 181

## 6.20 Transekt 2 – Profil 180

Profil 180 ist 100 m südlich von Profil 181 an einem in den Hang gegrabenen Trinkwasserspeicher angelegt (1023 m ü. M., UTM: 30 T 702852 4728593). Das Profil befindet sich an der Leeseite zur Fließrichtung des pleistozänen Gletschers. Die Hangneigung beträgt  $25^\circ$  und in der Baugrube ist der anstehende Kalksandstein mit dem hangenden *till* aufgeschlossen (Abb. 95). Der Oberboden des Profils war aufgrund der Aufschlussituation nicht zugänglich und wurde deshalb separat mit Profil 181 behandelt. Die glazialen Sedimente sind 4 m bis 8 m mächtig und liegen direkt auf dem anstehenden Kalksandstein. Die situmetrischen Untersuchungen zeigen eine Ausrichtung des Skeletts nach Nord bzw. Süd und damit in Fließrichtung der pleistozänen Vergletscherung (Abb. 96). Der Isotropie-Index beträgt 0,10 und der Elongations-Index 0,58, das Skelett hat damit sehr einheitliche Fallwinkel und eine einheitliche Streichrichtung (Abb. 30). Der *till* weist somit die Charakteristika eines subglazial geprägten allochthonen Diamikts auf.



**Abbildung 95:** Profil 180 im 4 m bis 8 m mächtigen *till* über dem Anstehenden



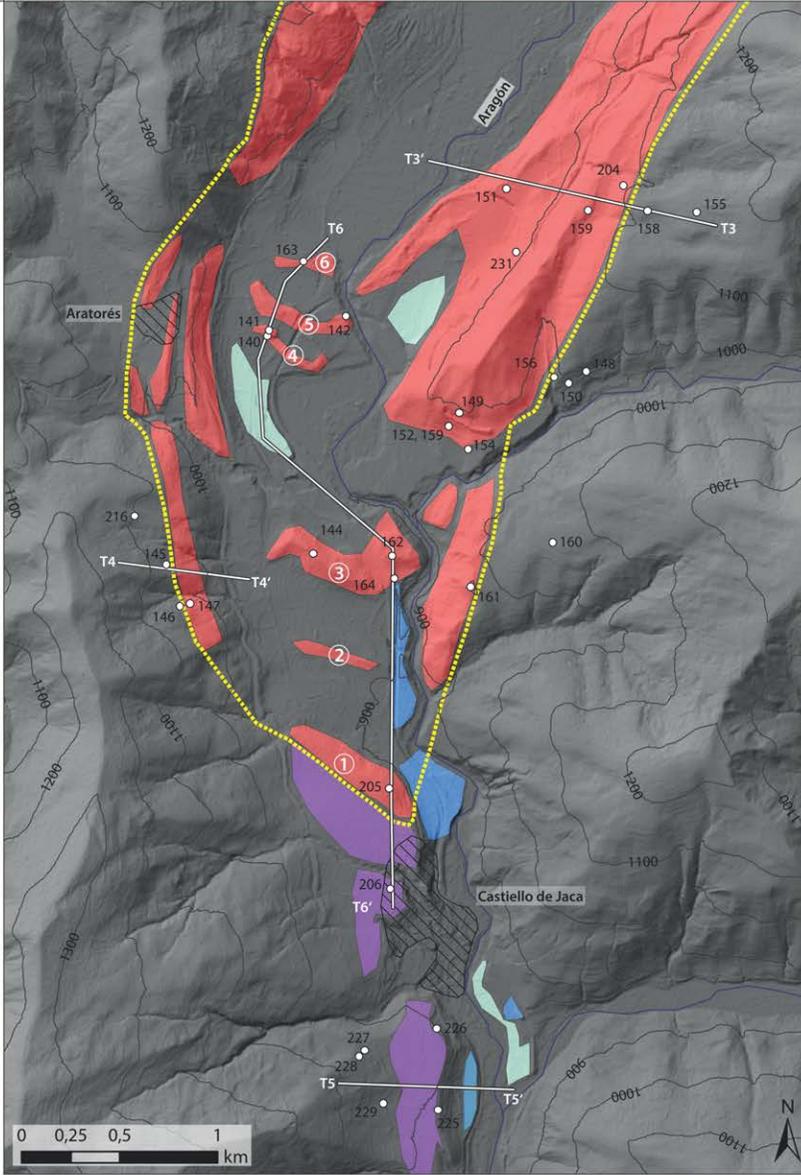
**Abbildung 96:** Situmetrie des Grobbodens Profil 180

## 6.21 Synthese Transekt 3

Transekt 3 ist am östlichen Ufer des Aragóns angelegt und reicht vom pleistozänen Extraglazialraum bis in den Talgrund (Abb. 5, Abb. 97 und Abb. 98). Die Seitenmoränen an der östlichen Talflanke sind mehrgliedrig aufgebaut. Insgesamt können anhand der räumlichen Verteilung der Seitenmoränen drei Gletscherstände differenziert werden. Der Scheitel der äußersten Seitenmoräne befindet sich 200 m über dem rezenten Talgrund, der Scheitel der mittleren Seitenmoräne 130 m über dem Talgrund. Die jüngste Seitenmoräne befindet sich im Talgrund etwa 200 m östlich des Aragóns und etwa 50 m über dem rezenten Flussbett. Die äußerste Seitenmoräne gehört zu der chronologisch als rißzeitlich eingeordneten Endmoräne 1 bei Castiello de Jaca (prä-ILGM). Die mittlere Seitenmoräne korreliert mit Endmoräne 2 und 3, wobei Endmoräne 3 im ILGM des Würms gebildet wurde. Endmoräne 4 stellt entweder einen schwach ausgeprägten erneuten Vorstoß während der Rückzugsphase der Vergletscherung mit Endmoräne 4 oder den maximalen Vorstoß des jüngsten Glazials dar, in dem auch Endmoräne 5 und 6 gebildet wurden.

- Sowohl im pleistozänen Extraglazialraum als auch auf den glazialen Sedimenten sind die Böden meist nur im Oberboden entcarbonatisiert und damit schwach entwickelt (Profile 149, 151 und 155). Die Oberböden enthalten oft große Mengen an Holzkohleresten. Eine Verkürzung der Profile aufgrund von Bodenerosion bzw. Bildung von Kolluvien ist in den mittels Terrassierung landwirtschaftlich genutzten Hängen anzunehmen. Mangels mikromorphologischer Probenahme an den potenziell kolluvial beeinflussten Profilen 149 und 155 konnte der Nachweis einer kolluvialen Fazies nicht erfolgen.
- Der *till* ist in den Untergrundhorizonten massiv mit Carbonat verkittet und schlagfest (Profile 149, 159 und 204), die Calcitkristalle sind mikritisch. In Profil 149 ist die Oberkante des verkitteten *till* glatt, eben und lässt sich über 30 m verfolgen. Aufgrund des ubiquitären, reliefunabhängigen Vorkommens und der vertikalen Mächtigkeit der Carbonatausfällungen im *till* werden die Carbonate mit synsedimentärer bzw. postsedimentärer Ausfällung übersättigter Lösungen assoziiert. Eine pedogene Entstehung wird für die Calcit ausfällungen entlang der Poren angenommen. Rezent ist der verkittete *till* von einer schwachen Carbonatverlagerung in Form von Entcarbonatisierung und Bildung von Sekundärcarbonat um die Poren geprägt. In der mit Mikrit verkitteten Matrix ist mikromorphologisch eine schwache Verwitterung eisenhaltiger Minerale bzw. eine Ausfällung von Eisenoxiden nachweisbar. Pedogene Sekundärcarbonate sind als weiße pudrige Flecken und Rhizolithe bzw. Kalkpseudomycelien in den Untergrundhorizonten aller Profile entlang des Transekts vorhanden.

- Hohe Grobschluff- und Feinsandanteile in Verbindung mit geringen Grobbodenanteilen weisen auf eine lokale äolische Beimengung allochthonen Materials bei der Genese der hangenden Schicht in den Profilen 158 und 231. Aufgrund des grobbodenarmen Charakters, der sich deutlich von den liegenden Sedimenten unterscheidet, und der Beimengung von Löss in Form von Grobschluff und Feinsand werden die hangenden Sedimente als Hauptlagen interpretiert. OSL Datierungen der Hauptlagen in Profil 231 ergeben mit  $10,6 \pm 0,8$  ka (Risø-Nr. 12 5027, Tab. 2) in 40 cm unter GOK und  $14,4 \pm 1,2$  ka (Risø-Nr. 10 5019, Tab. 2) an der Basis ähnliche Alter wie für Hauptlagen aus dem mitteleuropäischen Periglazialraum.
- In Profil 231 mit einer Hauptlage über *till* sind Lessivierung und Verbraunung die kennzeichnenden pedogenen Prozesse und die Tonverlagerung greift zapfenförmig in den liegenden *till* über. Die Differenz der Feintongehalte zwischen Eluvial- und Illuvialhorizont beträgt maximal 10 %, die Differenz der Mitteltongehalte maximal 7 % und die Differenz der Grobtongehalte maximal 1 %. Mikromorphologische Untersuchungen belegen, dass in Profil 231 Toncutane in den engen Grobporen weniger häufig vorkommen und auch schlechter ausgebildet sind als in den weiten Grobporen. Die Toncutane sind mehrschichtig, was auf verschiedene Lessivierungsphasen zurückgeführt wird, innerhalb des Dünnschliffs konnte keine einheitliche Abfolge der Toncutanschichtungen festgestellt werden. In den mittels chemischer Verwitterung entstandenen Residualporen der Grobbodenfragmente kleiden leuchtende Toncutane die Poren aus. Entlang von Wurzelröhren sind Toncutane oft fragmentiert, was auf Bioturbation zurückgeführt wird. In der porenfernen Matrix wurden weder eingebettete Toncutanfragmente noch *anorthic/disorthic nodules* vorgefunden, weswegen die Hauptlage als nicht kolluvial geprägtes Sediment interpretiert wird. Der aus dem Grobboden herausgelöste Zement deutet auf eine intensive chemische Verwitterung hin, die neben der Lessivierung stattgefunden hat. In der Matrix und in den verwitterten Grobbodenfragmenten weisen kirschrote Rhomboeder und nadelförmige braune Flocken auf die Bildung von Hämatit und Goethit. Biotite sind meist deutlich verwitterter als Muskovite.
- Während auf der rißzeitlichen Seitenmoräne eine Braunerde mit carbonatfreiem Unterboden ausgebildet ist, kann auf dem verbrauchten Unterboden der inneren Seitenmoräne noch fleckenweise Carbonat nachgewiesen werden. Auf der jüngsten Seitenmoräne ist keine Verbraunung feststellbar.

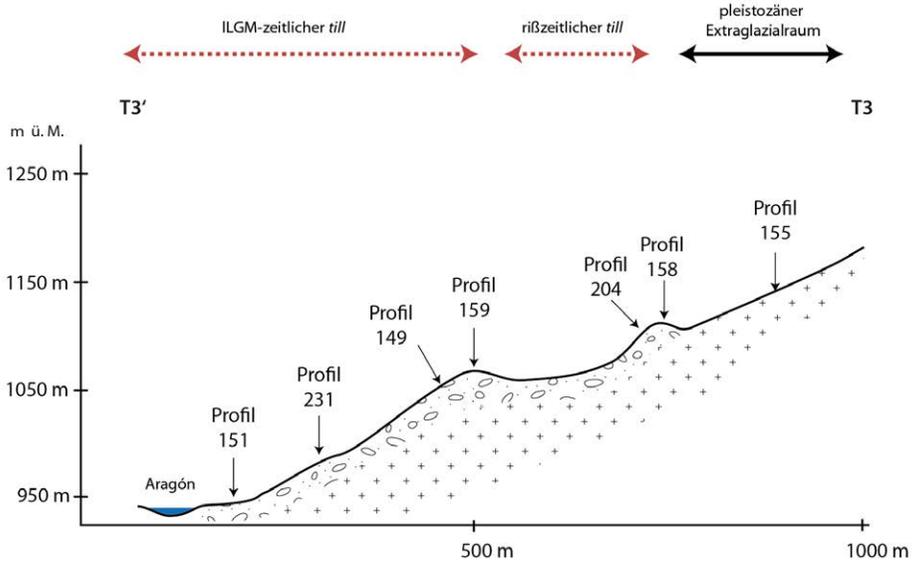


30 T 702889 m 4721277 m, Transversale Mercator Projektion, Datum WGS84

- |  |             |   |                  |
|--|-------------|---|------------------|
| Siedlung   | Bodenprofil | Bezeichnung der Endmoränen                      | 50 m Terrasse    |
| Fluss  | Transekt    | till  | 10-18 m Terrasse |
| -1300- Isohypsen, Abstand 100 m, Angaben in Meter über Meeresspiegel |             | Maximalstand der pleistozänen Vergletscherungen | 5-8 m Terrasse   |

**Abbildung 97:** Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 2 (s.a. Beilage 1); Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topographie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

### Querprofil Transekt 3



### Böden und Ausgangssubstrate Transekt 3

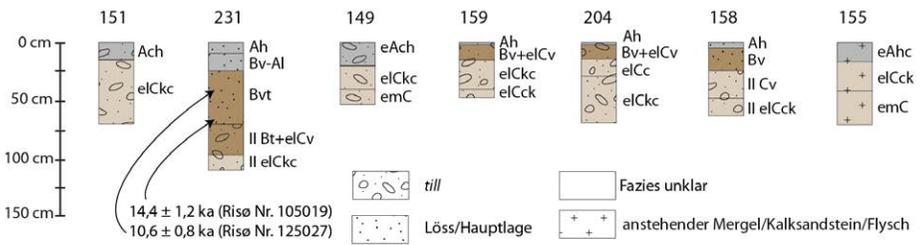


Abbildung 98: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 3 (s. a. Beilage 1)

## 6.22 Transekt 3 – Profil 155

Profil 155 (Abb. 97 und Abb. 98) befindet sich am östlichen Ende des Transekts Santiago auf 1157 m ü. M. (UTM: 30 T 702335 4726183). Der Nordwest exponierte-Hang hat eine Hangneigung von 18° und ist anthropogen terrassiert (Abb. 99). Das Profil befindet sich im Mittelhang, der Hang ist vertikal und horizontal gestreckt und von einem jungen Kiefernwald mit dichtem Graswuchs bestanden. Der anstehende unverwitterte Flysch wurde in 42 cm unter GOK erreicht. Die Horizontabfolge ist eAhc/elCck/emC (Abb. 100), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus Flysch. Der Feinboden ist im gesamten Profil primärcarbonathaltig, Sekundärcarbonat ist im Feinboden als pudrige Flecken und an der Unterseite des Skeletts als Calcitanhaftung ausgefällt. Sedimentologisch konnten keine eindeutigen Schichtwechsel festgestellt werden. Eine erosive Profilverkürzung mit der damit verbundenen Freilegung des primärcarbonathaltigen Untergrundhorizonts ist wegen der Terrassierungen in der direkten Umgebung des Profils, der nur schwach ausgeprägten pedogenen Entwicklung und der zahlreichen Holzkohlereste sehr wahrscheinlich. Die vielen Holzkohlereste im Oberboden deuten zusammen mit der nur geringen Entcarbonatisierung und der geringen Anreicherung organischer Substanz auf ein junges Alter des Bodens.

### **eAhc 0–17 cm**

Der dunkelgraue Feinboden ist schwach humos. Der Feinboden ist ein toniger Lehm. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 16,6 %, die Bodenlösung ist neutral (Abb. 101). Pudrige Flecken aus sekundären Carbonaten färben den Feinboden weißgrau. Der Horizont ist reich an Holzkohleflittern. Der Grobbodenanteil beträgt 10 % und besteht aus autochthonem bzw. parautochthonem Flysch. Die Klaster sind carbonathaltig. Die Längsachsen der plattigen Steine sind teilweise oberflächenparallel orientiert. An der Untergrenze des Grobbodens haften Calcitkrusten.

### **elCck 17–42 cm**

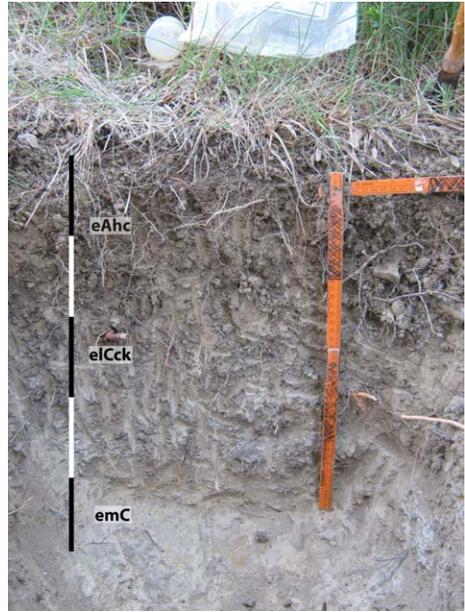
Der Feinboden ist heller als im hangenden Horizont. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Der Grobboden ist wie im hangenden Horizont. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 22,9 %, die Bodenlösung ist neutral. Das Gefüge ist ein Kittgefüge.

### **emC 42+ cm**

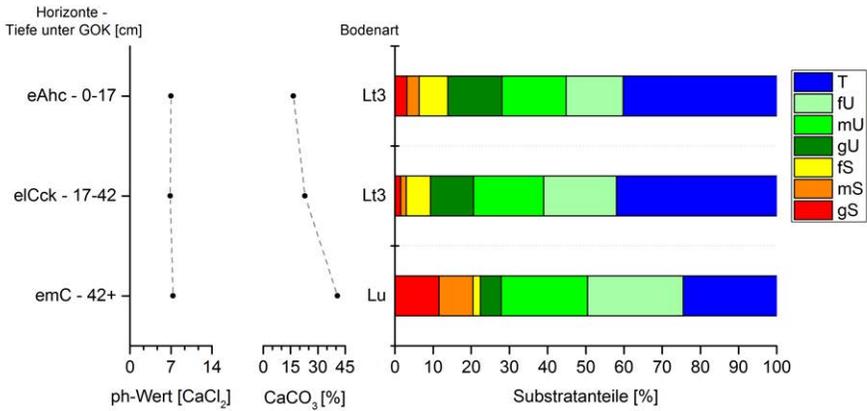
Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 40,8 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der anstehende Flysch ist nicht grabbar.



**Abbildung 99:** Terrasierter Hang nördlich Profil 155



**Abbildung 100:** Horizontabfolge Profil 155



**Abbildung 101:** Laborergebnisse Profil 155

## 6.23 Transekt 3 – Profil 158

Profil 158 ist auf dem Scheitel der östlichsten und damit äußeren Seitenmoräne auf 1125 m ü. M. angelegt (UTM: 30 T 702084 4726190). Die Hangneigung entlang der Streichrichtung der Seitenmoräne beträgt 10°, das Makrorelief ist aufgrund anthropogener Terrassen wellig. Das Anstehen wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/II Cv/II eCck, der Bodentyp ist eine Braunerde aus grobbodenarmem Substrat über *till* (Abb. 102). Der carbonat-



**Abbildung 102:** Horizontabfolge – Profil 158.

freie und verbrauchte Horizont der Braunerde reicht bis in die glazialen Sedimente, die Untergrenze zum primär- und sekundärcarbonathaltigen Feinboden im *till* ist scharf. Die im hangenden Sediment höheren Feinsand- und Grobschluffgehalte und der geringere Grobbodenanteil als im liegenden *till* weisen für das hangende Sediment auf einen äolischen Materialeintrag im Sinne einer Hauptlage.

### Ah 0–5 cm

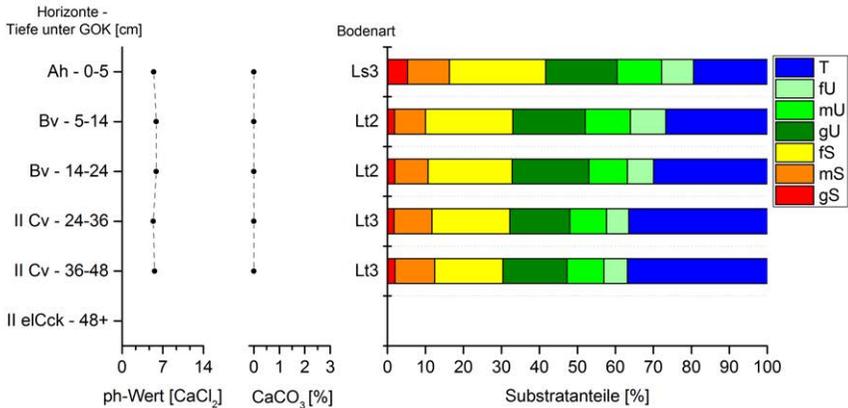
Der braune Feinboden ist schwach humos. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm, die Summe aus Feinsand und Grobschluff beträgt 44 %. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch und der Grobbodenanteil beträgt 5 %.

### Bv 5–24 cm

Der rötlichbraune Feinboden ist carbonatfrei, aber an der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch. Die Summen aus Feinsand und Grobschluff betragen 42 %, der Grobbodenanteil beträgt 5 %. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig bis taschenförmig.

### II Cv 24–48 cm

Der hellbraune Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig bis taschenförmig. Die Körnung des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Die Summen aus Grobschluff und Feinsand nehmen auf 36 % bzw. 35 % ab. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das Skelett ist diamiktisch.



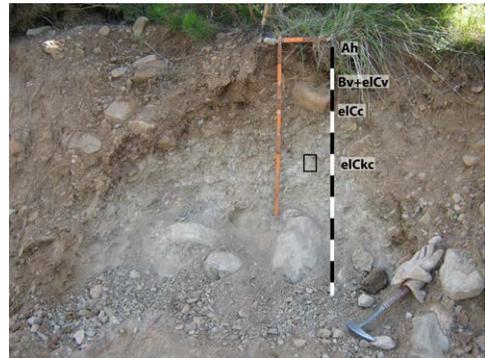
**Abbildung 103:** Laborergebnisse Profil 158

## II eCck 48+ cm

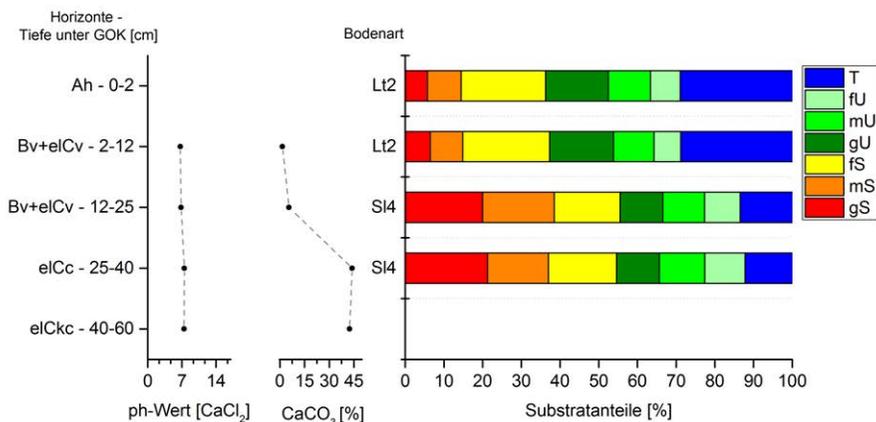
Der weißgraue Feinboden ist carbonatreich und verkittet. Der Grobbodenanteil im *till* nimmt mit der Tiefe weiter zu, aufgrund der Verkittungen mit Carbonat ist der Horizont an der Profilbasis massiv und nicht mehr grabbar.

## 6.24 Transekt 3 – Profil 204

Profil 204 befindet sich auf dem Innenhang der äußeren Seitenmoräne (1093 m ü. M., UTM: 30 T 701961 4726320). Die Hangneigung beträgt 16°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Aufgrund anthropogener Terrassierungen ist das Makrorelief sehr unruhig. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv+eCv/eCk/eCkc, der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina aus *till* mit einer rezenten Ausfällung sekundärer Carbonate im Unterboden (Abb. 104). Im Unterboden sind Kalkpseudomycelien und Kalkkonkretionen ausgefällt, unterhalb 40 cm unter GOK ist der Feinboden mit sekundären Carbonaten verkittet, an der Basis des Profils ist der Feinboden aufgrund der Verkittungen nicht mehr grabbar. Eisenausfällungen



**Abbildung 104:** Horizontabfolge Profil 204: Der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeobachtung



**Abbildung 105:** Laborergebnisse Profil 204

in den carbonathaltigen Verkittungen zeigen Redoximorphose an. Die Verbraunung ist im Unterboden fleckenhaft ausgebildet, aufgrund der Lage des Profils am Hang ist eine erosive Profilverkürzung zu erwägen. Das Skelett im *till* ist deutlich in Hangrichtung und damit entgegen der Fließrichtung des Gletschers eingeregelt, was auf eine periglaziale Überprägung des Sedimentes auch unter Berücksichtigung der Lage des Profils im gLGM zeitlichen Extraglacialbereich, schließen lässt.

### Ah 0–2 cm

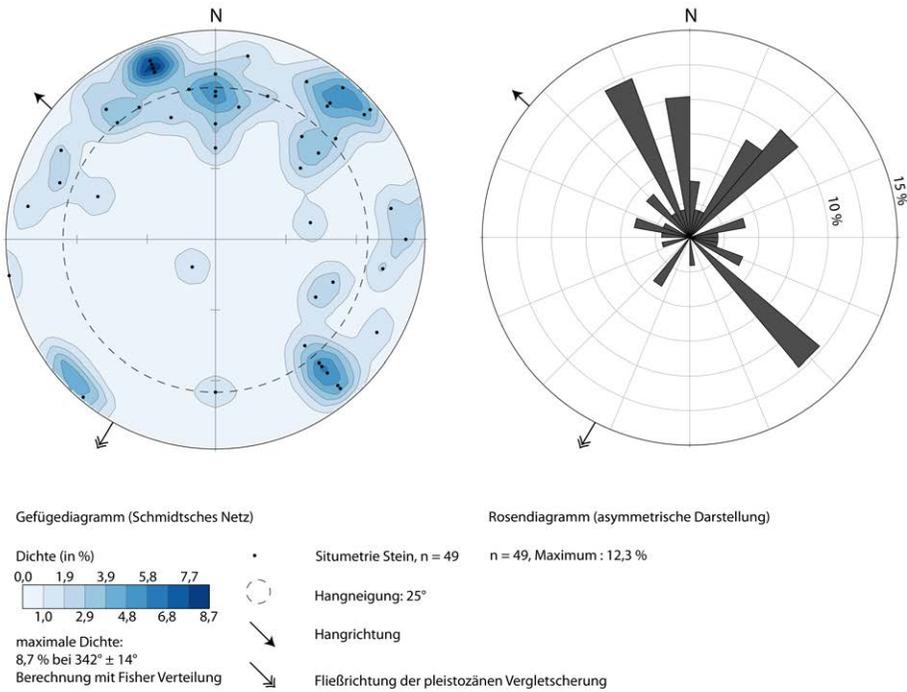
Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 4/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm, der Feinboden ist carbonatfrei. Das Gefüge ist krümelig und Ameisengänge durchziehen den Feinboden.

### Bv+elCv 2–25 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm bzw. ein stark lehmiger Sand. Der Horizont ist fleckenweise carbonatfrei, der im Labor ermittelte CaCO<sub>3</sub>-Anteil im Feinboden beträgt 1,6 % (Abb. 105). Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Grobbodenanteil variiert zwischen 5 % und 10 %. Der Grobboden besteht aus Kies, Grus und wenigen gerundeten Steinen. Das Skelett ist frei von Calcitanhaftungen. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf, wellig und parallel zur nach links geneigten GOK.

### elCc 25–40 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), die Textur ist ein stark lehmiger Sand. Das Gefüge ist polyedrisch. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 43,9 %, die Bodenlösung ist sehr schwach



**Abbildung 106:** Situmetrie des Grobbodens Profil 204

alkalisch. Sekundärcarbonat ist als 1 mm große Konkretionen in Poren und als Kalkpseudomycel ausgefällt. Die Verwitterung des Feinbodens nimmt mit der Tiefe deutlich ab. An der Basis des Horizonts führt die Ausfällung der sekundären Carbonate zu einer beginnenden Verkittung des Feinbodens. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten. Der Grobboden ist diamiktisch, der Grobbodenanteil beträgt 10 %. Der Grobboden ist aufgrund starker Verwitterung teilweise nicht mehr schlagfest.

Die situmetrischen Untersuchungen zeigen eine dominierende Grobbodenausrichtung nach Nordnordwest bzw. Südost und eine schwächer ausgeprägte Orientierung des Grobbodens nach Nordost (Abb. 106). Die Orientierung nach Nordost wird als glazigen interpretiert, wobei die Fallwinkel der Klasten entgegen der glazialen Fließrichtung liegen. Die dominierende Orientierung des Grobbodens nach Nordnordwest bzw. Südost wird aufgrund der Hangexposition nach Nordwest als solifluidal geprägt interpretiert. Der Isotropie-Index beträgt 0,24 und der Elongations-Index 0,27, das Skelett weist damit sehr einheitliche Fallwinkel, aber eine uneinheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30).

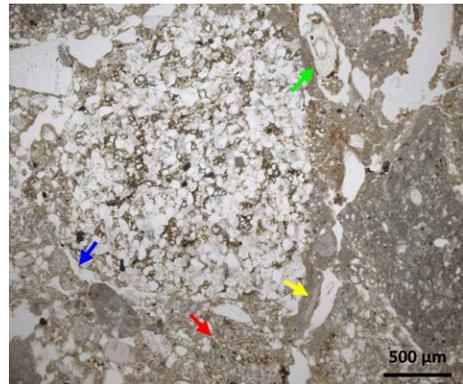
### eICkC 40–80+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 5/3). Die Textur des Feinbodens konnte aufgrund seiner Verkittung mit Sekundärcarbonaten nicht bestimmt werden. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 42,4 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

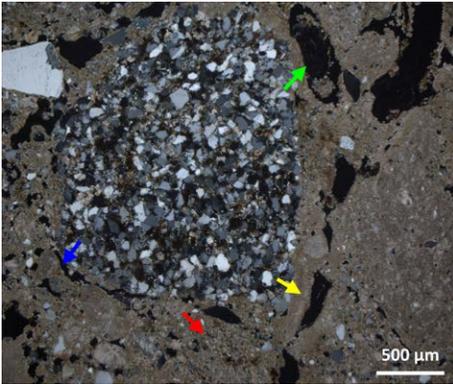
Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen ein ausgeprägtes Kittgefüge aus sekundären Carbonaten in Form von Mikrit (*calcitic crystalitic b-fabric*). Wurzelröhren und Lösungsporen zwischen dem Mikrit bilden sekundäre Poren (Abb. 108, Abb. 109, Abb. 110 und Abb. 111). In primärcarbonathaltigen Sedimentgesteinen ist das Primärcarbonat partiell mittels Verwitterung herausgelöst. (Abb. 108 und Abb. 109). In den residualen Lösungsporen des Grobbodens findet rezent eine Verwitterung unter Ausbildung traubiger und brauner Kristalle statt. Leuchtend kirschrote, nierige oder rhomboedrische Eisenausfällungen mit Kristalldurchmessern von 2  $\mu\text{m}$  bis 4  $\mu\text{m}$  sind häufig schwarmweise im Mikrit (Abb. 110, Abb. 111 und Abb. 112).



**Abbildung 107:** Überblick Mikromorphologie Profil 204, 50–54 cm unter GOK



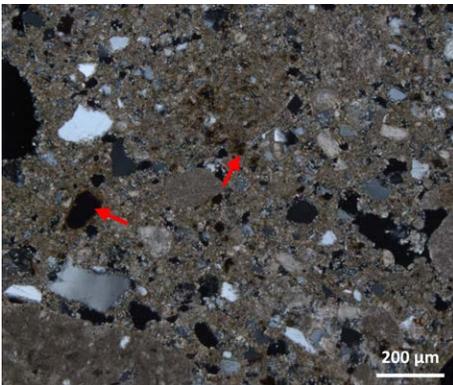
**Abbildung 108:** Grobsand mit Wurzelröhre und Mikrit (Profil 204, LPL); grüner Pfeil: Wurzel; blauer Pfeil: Lösungspore; roter Pfeil: Verkittung des Feinbodens mit Mikrit; gelber Pfeil: Carbonatausfällung an Porenwand



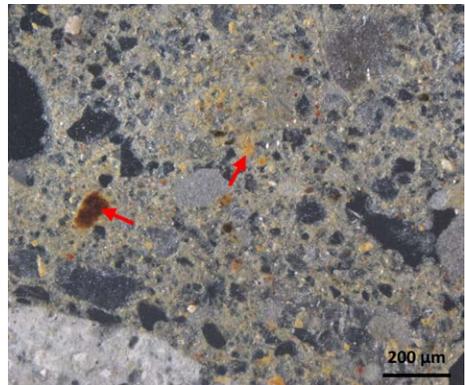
**Abbildung 109:** Grobsand mit Wurzelröhre und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, GPL); grüner Pfeil: Wurzel; blauer Pfeil: Lösungspore; roter Pfeil: Verkittung des Feinbodens mit Mikrit; gelber Pfeil: Carbonatausfällung an Porenwand



**Abbildung 110:** Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, LPL); roter Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 111:** Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, GPL); roter Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 112:** Eisenausfällungen und Verkittung des Feinbodens mit Mikrit (Profil 204, Schräglicht); roter Pfeil: Eisenausfällung

## 6.25 Transekt 3 – Profil 159

Profil 159 befindet sich auf dem Kulminationsbereich (1078 m ü. M., UTM: 30 T 701783 4726194) der 3500 m langen und parallel zum Tal verlaufenden inneren Seitenmoräne. Großblöcke mit mehreren Metern Durchmesser liegen oberflächlich auf der Seitenmoräne. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv+eCv/eCkCk/eCck (Abb. 113), der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina aus *till* mit massiver Ausfällung sekundärer Carbonate im Untergrundhorizont. Der verbrauchte Horizont enthält fleckenweise noch Carbonat im Feinboden, an der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten.

### Ah 0–2 cm

Die Textur des geringmächtigen und braunen Ah ist wie im Horizont darunter ein schwach sandiger Lehm. Der Feinboden ist carbonatfrei. Das Gefüge ist ein Krümelgefüge und geht nach unten in ein Einzelkorngefüge über.

### Bv+eCv 2–15 cm

Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm. Das Gefüge ist ein Einzelkorn- bis Subpolyederggefüge. Der Feinboden ist größtenteils carbonatfrei, fleckenweise konnte während der Profilsprache Calcit im Feinboden vorgefunden werden. Bei der Laboranalyse wurde ein  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden von 1,6 % ermittelt, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer (Abb. 114). Der diamiktische Grobboden besteht größtenteils aus Kalksandsteinen und Kalksteinen. Die Kalksandsteine sind teilweise stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Der Grobbodenanteil schwankt zwischen 10 % und 15 %.

Calcitkrusten haften an der Unterseite des Grobbodens, einige Klasten sind ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt. Die Ausprägung und das Ausmaß der Calcitkrusten an der Unterseite sind von der Größe des Grobbodens abhängig, an Kies und Grus sind die Calcitkrusten dünner und kleiner als an Steinen.

### eCkc 15–41 cm

Zwischen 15 cm und 41 cm ist der gesamte Horizont carbonathaltig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt zwischen 15 cm und 26 cm unter GOK 15,0 % und nimmt zur Basis des Horizonts auf 31,9 % zu. Sekundäre Carbonate sind als weiße Konkretionen mit 1 mm bis 2 mm Durchmesser im Feinboden ausgefällt. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %. Das Skelett ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt. Mit zunehmender Tiefe ist der Horizont aufgrund der Verkittungen mit Sekundärcarbonat schwierig grabbar.

### eCck 41–48+ cm

Der unverwitterte *till* ist mit Calcit verkittet und nur mit dem Hammer grabbar.

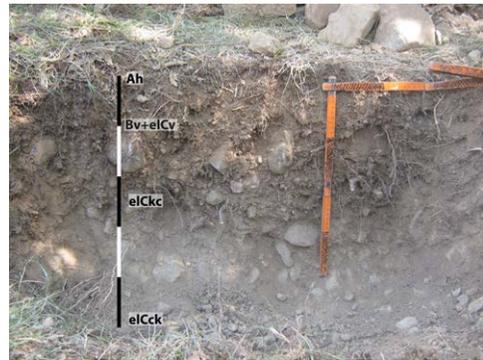
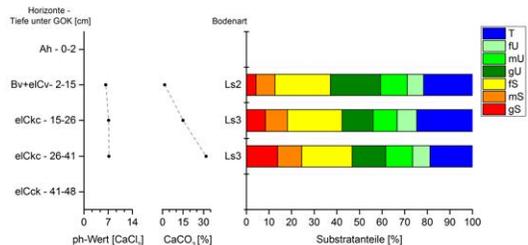


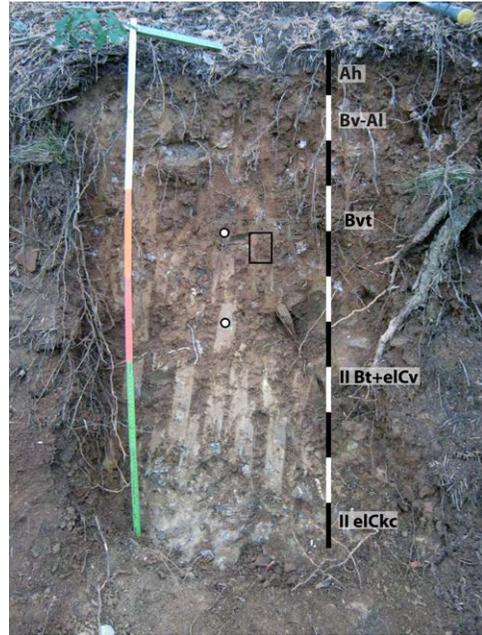
Abbildung 113: Horizontabfolge Profil 159

Abbildung 114: Laborergebnisse Profil 159



## 6.26 Transekt 3 – Profil 231

Das als Schürfgrube an einem Weganschnitt angelegte Profil 231 befindet sich auf dem mit Kiefernwald bestandenen und Nordwest-exponierten Innenhang der Seitenmoräne (1022 m ü. M., UTM: 30 T 701414 4725980). Die Hangneigung ist 23°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Makrorelief ist wellig. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv-Al/Bvt/II Bt+elCv/II elCkc (Abb. 115), der Bodentyp ist eine Braunerde-Parabraunerde in einer grobbodenarmen Hauptlage mit einem hohen Grobschluff- und Feinsandanteil und einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in den grobbodenreichen *till*. Die Hauptlage hat ein OSL-Alter von  $10,6 \pm 0,8$  ka in 40 cm unter GOK und  $14,4 \pm 1,2$  ka an der Basis (Risø-Nr. 12 5027 & 10 5019, Tab. 2). Der Feintonanteil steigt im Illuvialhorizont im Vergleich zum Eluvialhorizont um 10 %, die Mitteltonanteile nehmen um 6 % zu. Die Grobtongehalte schwanken sowohl im Eluvial- als auch Illuvialhorizont um 8 %. Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen, dass sowohl feintonreiche Toncutane als auch grobtonhaltige Toncutane und Schluffcutane die Porenränder auskleiden. Die Verlagerung des Tons über größere Distanzen ist demnach auf die Feintonfraktion und im eingeschränkten Maße auf die Mitteltonfraktion beschränkt. Zwar wurden mikromorphologisch Toncutanfragmente in der porennahe Matrix vorgefunden, *anorthic* bzw. *disorthic nodules* konnten aber nicht nachgewiesen werden, weswegen die Fragmentierung der Toncutane mit Bioturbation assoziiert wird. Die Gehalte an  $Fe_T$  und Goethit/Hämatit erreichen im Illuvialhorizont das Maximum im Profil. Die Gehalte an Goethit/Hämatit steigen aber im Vergleich zum hangenden Horizont im Illuvialhorizont nur geringfügig an, was auf eine Verlagerung des Eisens in silikatisch gebundener Form mit einer post-illuvialen Verbraunung weist. Bei der Verwitterung im Bvt sind sowohl brauner Goethit als auch kirschroter Hämatit gebildet worden, wobei die braune Farbe des Bvt-Horizonts auf die quantitative Dominanz von Goethit über Hämatit deutet. Der *till* ist im oberen Bereich entcarbonatisiert und die



**Abbildung 115:** Horizontabfolge Profil 231. Der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, die Punkte markieren die Position der OSL Beprobung

Grobtongehalte schwanken sowohl im Eluvial- als auch Illuvialhorizont um 8 %. Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen, dass sowohl feintonreiche Toncutane als auch grobtonhaltige Toncutane und Schluffcutane die Porenränder auskleiden. Die Verlagerung des Tons über größere Distanzen ist demnach auf die Feintonfraktion und im eingeschränkten Maße auf die Mitteltonfraktion beschränkt. Zwar wurden mikromorphologisch Toncutanfragmente in der porennahe Matrix vorgefunden, *anorthic* bzw. *disorthic nodules* konnten aber nicht nachgewiesen werden, weswegen die Fragmentierung der Toncutane mit Bioturbation assoziiert wird. Die Gehalte an  $Fe_T$  und Goethit/Hämatit erreichen im Illuvialhorizont das Maximum im Profil. Die Gehalte an Goethit/Hämatit steigen aber im Vergleich zum hangenden Horizont im Illuvialhorizont nur geringfügig an, was auf eine Verlagerung des Eisens in silikatisch gebundener Form mit einer post-illuvialen Verbraunung weist. Bei der Verwitterung im Bvt sind sowohl brauner Goethit als auch kirschroter Hämatit gebildet worden, wobei die braune Farbe des Bvt-Horizonts auf die quantitative Dominanz von Goethit über Hämatit deutet. Der *till* ist im oberen Bereich entcarbonatisiert und die

Tonverlagerung greift aus der hangenden Schicht in den *till* über. Im primärcarbonathaltigen *till* an der Basis des Profils ist der Feinboden mit Sekundärcarbonat verkittet.

### Ah 0–10 cm

Der dunkelbraune Ah (7,75 YR 4/4) ist locker gelagert und weist ein krümeliges Gefüge mit bis zu 4 cm großen biogenen Makroporen auf. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm (Abb. 116). Grobschluff und Feinsand betragen in Summe 50 %, der Anteil an Feinton beträgt 10,4 %. Der Feinboden ist frei von Carbonaten, die Bodenlösung ist stark sauer. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 2,7 %. Der Grobbodenanteil beträgt 2 % und die Klasten sind stark verwittert. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt 18 847  $mgkg^{-1}$ , der Gehalt von Goethit/Hämatit 9408  $mgkg^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit 733  $mgkg^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens beträgt 678  $mgkg^{-1}$ .

### Bv-Al 10–25 cm

Die Farbe des Feinbodens ist braun (7,5 YR 4,5/6). Der Feinboden ist locker gelagert und besitzt viele biogene Poren. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Feinsand und Grobschluff betragen in Summe 50 %, der Feintonanteil beträgt 10,4 %. Der Horizont ist reich an Holzkohleflittern. Der Feinboden ist carbonatfrei und die Bodenlösung ist stark sauer. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 0,5 %. Der Grobbodenanteil beträgt 2 %, der Grobboden besteht aus stark verwittertem Kies und Grus. An der hangwärtigen Seite des Grobbodens haften braune, glänzende, tonige Beläge. Weißes Pilzmycel wächst nestartig im Horizont. Die Durchwurzelungsintensität mit Feinwurzeln ist schwach, die Durchwurzelungsintensität mit Grobwurzeln mittel. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt 23 387  $mgkg^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit 13 100  $mgkg^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit 253  $mgkg^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens 466  $mgkg^{-1}$ .

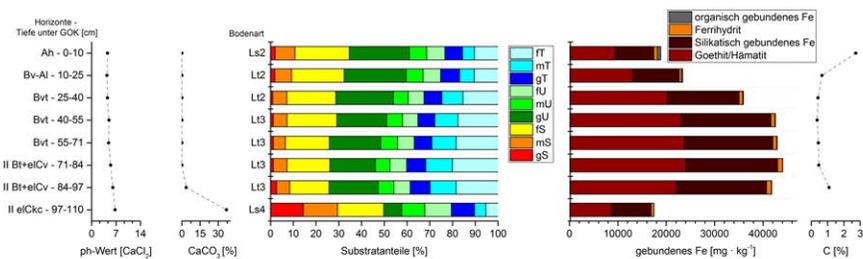


Abbildung 116: Laborergebnisse Profil 231

## Bvt 25–71 cm

Der 46 cm mächtige und dunkelbraune (7,5 YR 4/6) Bvt ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer bis schwach sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bis toniger Lehm. Während die Summe von Grobschluff und Feinsand zur Basis des Horizonts von 47 % auf 42 % abnimmt, steigt der Tonanteil mit zunehmender Tiefe von 33 % auf 37 % an. Die Unterfraktionierung der Tonfraktion zeigt, dass der Anstieg des Tongehalts fast ausschließlich durch eine Zunahme der Feintonfraktion von 15 % auf 18 % bedingt ist. Die Mitteltonfraktion nimmt nur geringfügig um 1,4 % zu, der Grobtonanteil schwankt um 8 %. Das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 117), die Oberfläche der Aggregate ist glatt und glänzend. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett ist stark verwittert. Weißes Pilzmycel durchdringt nestartig den Horizont. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 0,4 %. Die Grob- und Mittelsandkomponenten sind aufgrund der fehlenden Zementierung fragil und zerbrechen bei Druckbelastung mit der Pinzette. Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen zwischen 25 cm und 40 cm unter GOK  $35\,950\text{ mgkg}^{-1}$  und steigen zur Basis des Horizonts kontinuierlich auf  $42\,932\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte von Goethit/Hämatit steigen ebenfalls im Horizont mit zunehmender Tiefe von  $20\,209\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $23\,729\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte von Ferrihydrit schwanken zwischen  $748\text{ mgkg}^{-1}$  und  $813\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte organisch gebundenen Eisens nehmen zur Basis des Horizonts von  $145\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $124\text{ mgkg}^{-1}$  ab.



**Abbildung 117:** Übersicht Mikromorphologie Profil 231, 40–48 cm unter GOK

OSL-Datierungen ergeben ein Alter von  $10,6 \pm 0,8\text{ ka}$  in 40 cm unter GOK und  $14,4 \pm 1,2\text{ ka}$  in 60 cm unter GOK (Risø-Nr. 12 5027 und 10 5019, Tab. 2). In der Feinsand- und Grobschlufffraktion dominiert Quarz, die Feinsandkörner sind eher kantengerundet, der Grobschluff ist eher kantig. Der Grob- und Mittelsand besteht größtenteils aus Sand- bzw. Schluffsteinen, aufgrund von Verwitterung ist die Zementierung bereits herausgelöst und ein schwammartiger Porenraum umgibt den verwitterungsresistenten Quarz. Das  $c_{50-120\text{ }\mu\text{m}}/f_{5\text{ }\mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *stipple-speckled* und *granostriated*. Sklerotien und Pilzmycel sind häufig in der Matrix oder in den von Verwitterung angegriffenen Lösungsporen des Grobbodens.

Die mikromorphologischen Untersuchungen belegen, dass Lessivierung der dominierende pedogene Prozess ist. Die Tonpartikel in den Toncutanen sind parallel zur Porenwand

ausgerichtet (Abb. 123 und Abb. 128). In der porennahe Matrix sind teilweise Toncutane eingeschlossen, die Fragmentierung wird mit rezenter Bioturbation assoziiert (Abb. 119 bis Abb. 123), *anorthic* bzw. *disorthic nodules* konnten im Dünnschliff nicht identifiziert werden. Die bioturbat überprägten, randständigen Toncutane sind mehrschichtig und einzelne Sandkörner bis Sandlagen sind in den Toncutanen eingebettet. Illuviale Cutane in Form feintonreicher Toncutane bis Schluffcutane kleiden den rezenten Porenraum aus (Abb. 126 bis Abb. 128). Die Toncutane in den weiten Grobporen sind gut sortiert, teilweise mehrschichtig und mit Eisenausfällungen überprägt. Die Toncutane in den engen Grobporen sind schlechter sortiert und haben breite Auslöschungslinien (Abb. 124 und Abb. 125). In der porenfernen Matrix durchsetzen dunkelbraune Eisenausfällungen fleckenhaft die Matrix, wobei Quarzkörner durch die Eisenausfällung durchscheinen. Die Flecken treten oft schwarmweise auf, die Durchmesser der Eisenausfällungen betragen meist zwischen 200 µm und 400 µm. Poren mit 50 µm Durchmesser sind teilweise von dunkelbraunen Eisenausfällungen in Form von *hypocoatings* umgeben, die Außengrenzen der *hypocoatings* sind intrusiv und diffus.

In der Grobschluff- und Feinsandfraktion dominiert Muskovit quantitativ über Biotit, und ist im Gegensatz zum Biotit kaum verwittert. Die vorhandenen Biotit-Kristalle sind meist stark verwittert und randlich geweitet (Abb. 129 und Abb. 130). 4 µm bis 8 µm große kirschrote Rhomboeder und 2 µm bis 16 µm große kirschrote traubige Ausfällungen in den Biotit-Kristallen und in der Matrix deuten auf die Bildung von Hämatit. Braune, traubenförmige Ausfällungen und braune Flocken aus nadelförmigen Kristallen sind als Verwitterungsprodukte innerhalb und angrenzend an Biotit sowie in den Toncutanen ausgefällt und deuten auf die Bildung von Goethit.

## II Bt+elCv 71–97 cm

Der sprunghafte Anstieg des Grobbodenanteils auf 20 % markiert einen Schichtwechsel in 71 cm unter GOK. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und nach rechts gekippt. Der Horizont greift zapfenförmig entlang von Wurzelbahnen in den liegenden Horizont. Der Feinboden in den Zapfen ist verbraunt und Toncutane bedecken die Aggregate. Der Grobboden ist diamiktisch, an der Unterseite des Skeletts haften teilweise Calcitkrusten, die von braunen Tonüberzügen bedeckt sind. Das Skelett ist stark verwittert und meist nicht mehr schlagfest. Die Farbe des Feinbodens ist dunkelbraun (7,5 YR 4/6). Der Horizont ist im oberen Teil carbonatfrei, der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt an der Basis des Horizonts 3,6 %. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Das Gefüge ist polyedrisch, Toncutane bedecken die Aggregate und den Grobboden. Die Toncutane sind schwächer ausgeprägt als im hangenden Horizont. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Der maximale Tongehalt im Profil wird im Horizont zwischen 71 cm und 84 cm mit 40,2 % erreicht, der ebenfalls maximale

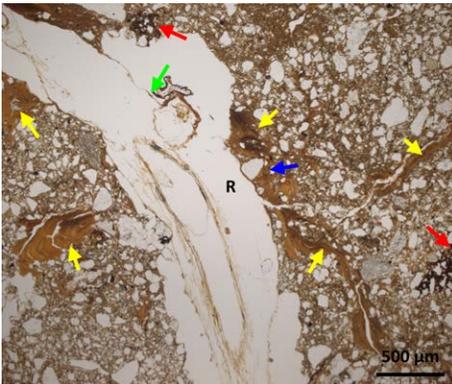
Feintonanteil beträgt 20,0 %. Die Summe aus Feinschluff und Feinsand beträgt im Horizont 39 %. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen zwischen 71 cm und 84 cm unter GOK  $44\,073\text{ mgkg}^{-1}$  und an der Basis des Horizonts  $41\,778\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte von Goethit/Hämatit nehmen im Horizont mit der Tiefe von  $24\,053\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $22\,142\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Gehalte von Ferrihydrit schwanken um  $990\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte organisch gebundenen Eisens betragen  $74\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $63\text{ mgkg}^{-1}$ .

## II elCkc 97–110+ cm

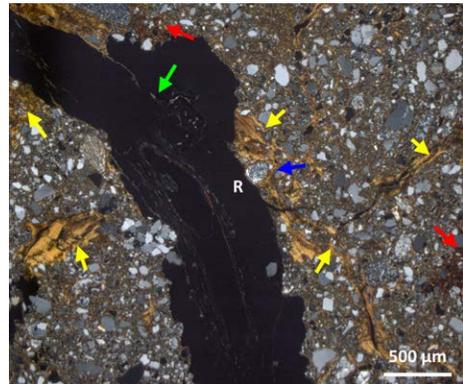
Die Farbe des Feinbodens ist außerhalb des zapfenförmig übergreifenden hangenden Horizonts grau, der Feinboden ist carbonatreich. Die Laboruntersuchungen liefern einen  $\text{CaCO}_3$ -Anteil von 36,8 %, die Bodenlösung ist aufgrund der Vermischung mit Material aus dem hangenden Horizont nur sehr schwach sauer. Der Feinboden des Horizonts ist teilweise mit sekundären Carbonaten verkittet (Abb. 118). Der Grobbodenanteil nimmt mit der Tiefe auf 30 % bis 40 % zu. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $17\,749\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt von Goethit/Hämatit  $8643\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $587\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $11\text{ mgkg}^{-1}$ .



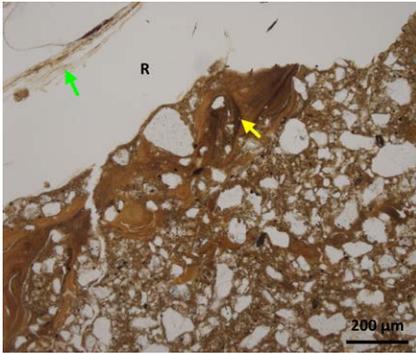
**Abbildung 118:** Grobsand aus 97–110 cm unter GOK mit Ausfällungen von Sekundärcarbonat



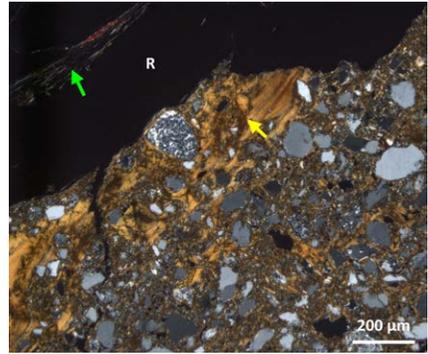
**Abbildung 119:** Wurzelröhre (Profil 231, 40–48 cm, LPL); R: Wurzelröhre; grüner Pfeil: Wurzel; gelber Pfeil: Toncutan; roter Pfeil: Eisenausfällung; blauer Pfeil: in Toncutan eingeschlossener Feinsand



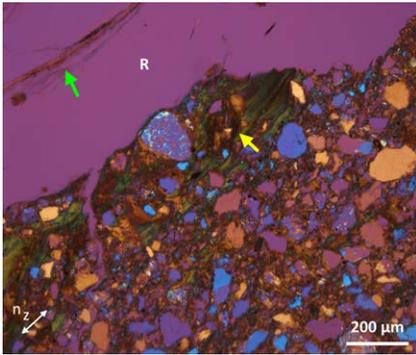
**Abbildung 120:** Wurzelröhre (Profil 231, 40–48 cm, GPL); R: Wurzelröhre; grüner Pfeil: Wurzel; gelber Pfeil: Toncutan; roter Pfeil: Eisenausfällung; blauer Pfeil: in Toncutan eingeschlossener Feinsand



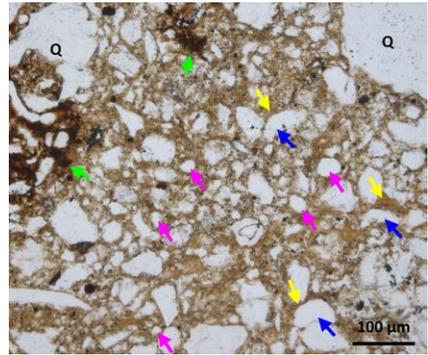
**Abbildung 121:** Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, LPL); R: Wurzelröhre; grüner Pfeil: Wurzel; gelber Pfeil: gestörtes Toncutan



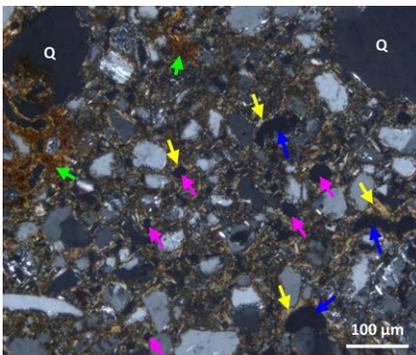
**Abbildung 122:** Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, GPL); R: Wurzelröhre; grüner Pfeil: Wurzel; gelber Pfeil: gestörtes Toncutan



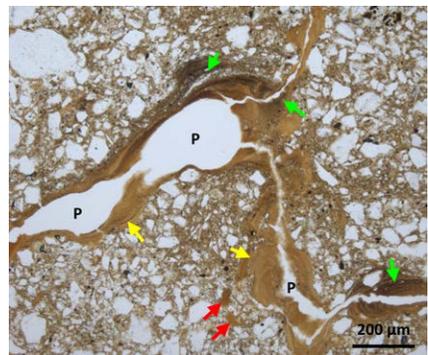
**Abbildung 123:** Bioturbat überprägtes Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, A+GPL); R: Wurzelröhre; grüner Pfeil: Wurzel; gelber Pfeil: gestörtes Toncutan



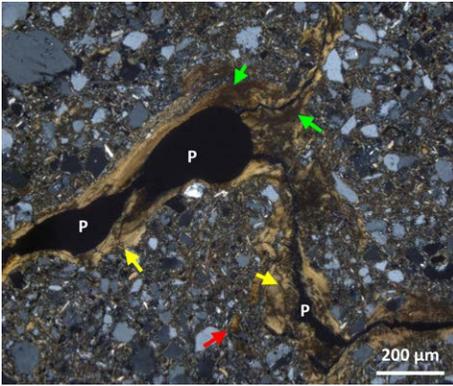
**Abbildung 124:** Grobporen in der nicht aggregierten Bodenmatrix (Profil 231, 40–48 cm, LPL); Q: Quarz; grüner Pfeil: Eisenausfällung; gelber Pfeil: Toncutan; blauer Pfeil: weite Grobpore; violetter Pfeil: enge Grobpore



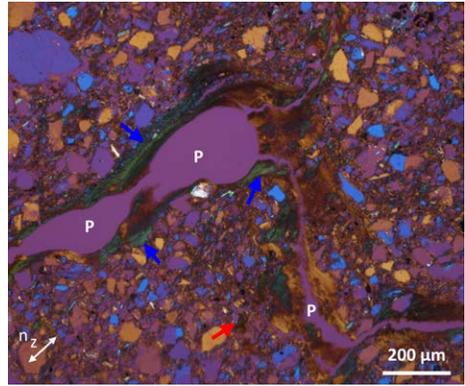
**Abbildung 125:** Grobporen in der nicht aggregierten Bodenmatrix (Profil 231, 40–48 cm, GPL); Q: Quarz; grüner Pfeil: Eisenausfällung; gelber Pfeil: Toncutan; blauer Pfeil: weite Grobpore; violetter Pfeil: enge Grobpore



**Abbildung 126:** Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, LPL); P: Pore; gelber Pfeil: feinkörniges Toncutan; grüner Pfeil: grobkörniges Toncutan; roter Pfeil: umgelagertes Toncutan



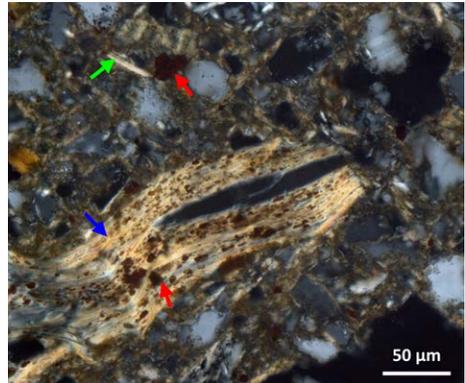
**Abbildung 127:** Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, GPL); P: Pore; gelber Pfeil: feinkörniges Toncutan; grüner Pfeil: grobkörniges Toncutan; roter Pfeil: umgelagertes Toncutan



**Abbildung 128:** Mehrschichtiges Toncutan (Profil 231, 40–48 cm, λ+GPL); P: Pore; gelber Pfeil: feinkörniges Toncutan; grüner Pfeil: grobkörniges Toncutan; roter Pfeil: umgelagertes Toncutan



**Abbildung 129:** Verwitterter Biotit (Profil 231, 40–48 cm, LPL); blauer Pfeil: Biotit mit randlicher Aufweitung, grüner Pfeil: Muskovit, roter Pfeil: kirschrote Eisenkristalle



**Abbildung 130:** Verwitterter Biotit (Profil 231, 40–48 cm, GPL); blauer Pfeil: Biotit mit randlicher Aufweitung, grüner Pfeil: Muskovit, roter Pfeil: kirschrote Eisenkristalle

## 6.27 Transekt 3 – Profil 149

Profil 149 liegt 900 m südlich von Profil 231 auf 991 m ü. M. (UTM: 30 T 701125 4725158). Das Profil ist im südexponierten Mittelhang der Seitenmoräne angelegt. Die Hangneigung beträgt 20°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Die Horizontabfolge ist eAch/elCkc/emC, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till* mit einer massiven Verkittung an der Profilbasis (Abb. 131 und Abb. 132). Unterhalb von 40 cm unter GOK ist der Boden massiv mit Carbonat verkittet, die Obergrenze des verkitteten Horizonts ist glatt, wellig und lässt sich über die

gesamte Breite des Aufschlusses von 30 m verfolgen. Oberhalb des verkitteten Horizonts sind im lockeren *till* horizontal gelagerte und plattige Calcitausfällungen. Eine sedimentologische Differenzierung des unverkitteten Horizonts im Hangenden und des liegenden massiven *till* war aufgrund der Verkittung nicht möglich.

#### **eAch 0–20 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schluffiger Lehm (Abb. 135). Der Horizont ist reich an Holzkohleflittern. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt zwischen 0 cm und 10 cm unter GOK 7,4 % und an der Basis des Horizonts 22,3 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, der Grobboden besteht hauptsächlich aus Grus und Kies. Die Untergrenze ist wellig, taschenförmig und diffus. Im gesamten Profil enthält der Feinboden sowohl Primär- als auch Sekundärcarbonat.

#### **eICkc 20–40 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm bzw. ein schluffiger Lehm. Der Horizont ist grabbar, das Gefüge ist subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, der Grobboden besteht aus Grus, Kies und Steinen. Das Skelett ist an der Unterseite und an der hangwärtigen Seite mit Calcitkrusten bedeckt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 40,4 % und 26,5 %, die Bodenlösung ist neutral. Die Basis des Horizonts durchziehen 3 mm bis 8 mm dicke plattige Calcitausfällungen in horizontaler Orientierung über mehrere Dezimeter (Abb. 133).

#### **emC 40–100+ cm**

Die Farbe des Horizonts ist weißgrau und aufgrund der Verkittung mit Calcit schlagfest. Die Obergrenze des verkitteten Horizonts ist scharf, wellig und bildet eine glatte Grenzfläche zum hangenden Horizont (Abb. 134). Der Grobbodenanteil beträgt 50 %.



**Abbildung 131:** Profil 149 am Südhang der Seitenmoräne



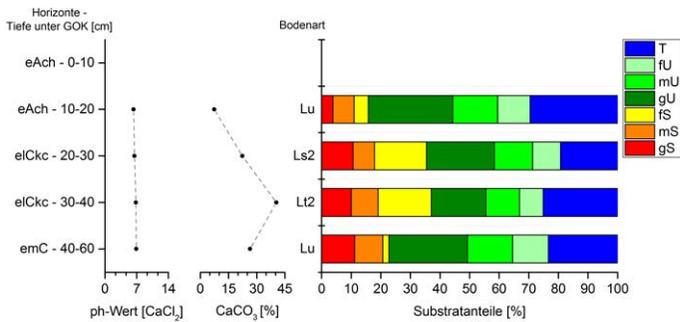
**Abbildung 132:** Horizontabfolge Profil 149



**Abbildung 133:** Plattige Calcitausfällungen im *till* von Profil 149



**Abbildung 134:** Profil 149, Seitenansicht des massiv verkitteten *tills*, 40 cm unter GOK



**Abbildung 135:** Laborergebnisse Profil 149

### 6.28 Transekt 3 – Profil 151

Profil 151 befindet sich 45 m über dem rezenten Flusslauf des Aragón (965 m ü. M. 30 T 701363 4726303). Das Profil ist als 70 cm tiefe Schürfgrube im *till* angelegt, das Anstehende wurde nicht erreicht. Zum Zeitpunkt der Profilaufnahme wurde der Standort als Weide



**Abbildung 136:** Horizontabfolge Profil 151



**Abbildung 137:** Calcitanhaftung an der Unterseite eines Steines in Profil 151

genutzt. Die Horizontabfolge ist Ach/elCkc, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till* (Abb. 136). Feinboden und Grobboden im gesamten Profil sind von der Ausfällung sekundärer Carbonate geprägt.

#### **Ach 0–15 cm**

Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Im Feinboden sind weiße Konkretionen aus Sekundärcarbonat mit bis zu 2 mm Durchmesser vorhanden. Sekundärcarbonatausfällungen finden sich teilweise an der Unterseite von Klasten. Der Grobbodenanteil beträgt etwa 10 % bis 15 %. Der Feinboden hat einen hohen Anteil an Schluff und Feinsand.

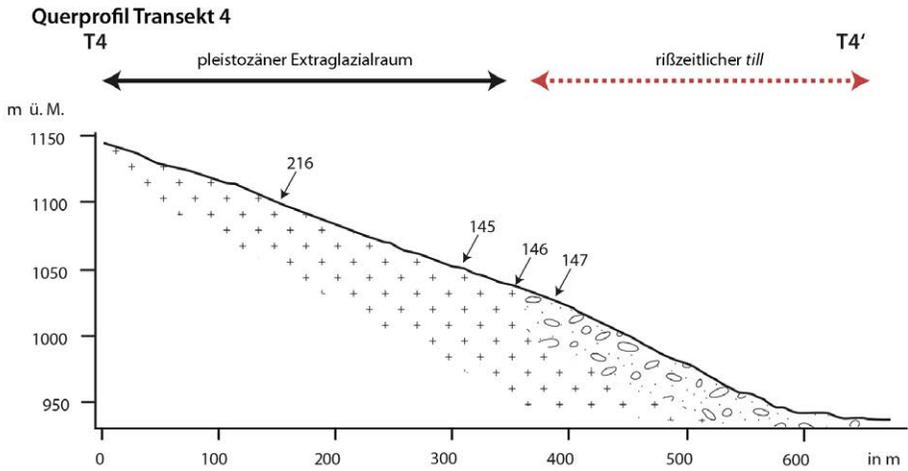
#### **elCkc 15–70+ cm**

Der Feinboden ist mindestens carbonatreich, aber noch grabbar. Das Gefüge ist subpolyedrisch und geht mit zunehmender Tiefe in ein Kittgefüge über. Der Grobbodenanteil beträgt 40 % und der Grobboden ist chaotisch gelagert. Das Skelett ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt, die Calcitkrusten sind an der Unterseite des Grobbodens am ausgeprägtesten und bis zu 8 mm mächtig (Abb. 137).

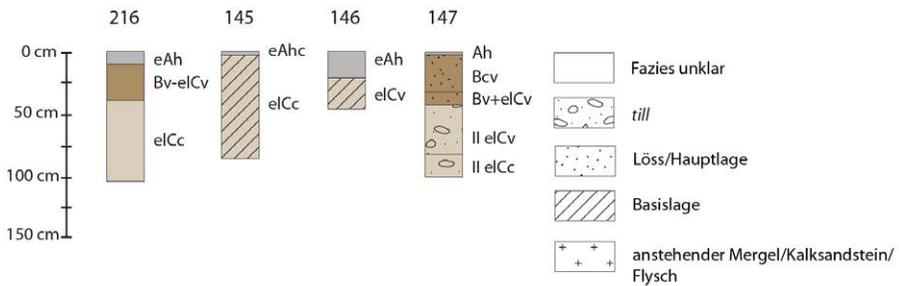
## 6.29 Synthese Transekt 4

Transekt 4 ist auf der zur Endmoräne 1 zugehörigen rißzeitlichen Seitenmoräne angelegt (Abb. 18). Der würmzeitliche Gletschervorstoß reichte nicht bis zu Transekt 4 (Abb. 97 und Abb. 138). Entlang Transekt 4 bilden die Wechsellagerungen aus Kalksandstein und Mergel des anstehenden Flyschs die Ausgangssubstrate. Unterhalb von 1036 m ü. M. hängen die glazialen Sedimente der Seitenmoräne über dem Anstehenden (Abb. 8 und Abb. 97). Oberhalb von 1036 m ü. M. wurden bei den Feldarbeiten keine glazialen Erratika gefunden. Die Seitenmoräne ist nicht als eigene Form differenzierbar, sondern schmiegt sich übergangslos an den Hang an.

- Der während des Pleistozäns unvergletscherte Hang oberhalb der Seitenmoräne ist von zahlreichen Runsen zerschnitten, die bis zu 1,5 m tief sind und auf den massiven Kalksandstein herunterreichen. Die Sohle der Runsen wird von plattigem Skelett gebildet. Die nicht erodierten Bereiche des Hangs sind von einem feimbodenreichen Sediment bedeckt. Der Grobbodenanteil nimmt in den nicht erodierten Sedimenten kontinuierlich mit der Tiefe zu. Das Skelett besteht aus parautochthonen kantigen Steinen und Blöcken, die Längsachsen des Skeletts sind hangparallel ausgerichtet und erfüllen damit die Charakteristika einer Basislage (Profil 145). Eine Schichtgrenze konnte innerhalb der hangenden Sedimente anhand der Textur des Feinbodens nicht ausgemacht werden. Die Bodenentwicklung ist in den carbonathaltigen Sedimenten des pleistozänen Extraglazialraums rezent von Entcarbonatisierung und Verbraunung geprägt, wobei die Unterböden mindestens fleckenweise Primärcarbonat enthalten (Profile 216 und 146). Mikromorphologisch vorgefundene Scherflächen bzw. *slickensides* weisen auf Quellung und Schrumpfung in den tonigen Substraten, schwach ausgeprägte Toncutane zeigen eine nicht horizontbildende Lessivierung an (Profil 216). Im Unterboden wurden sekundäre Carbonate als Rhizolithe, nadelförmiger Calcit und Phytolithe aus Calciumoxalat mikromorphologisch identifiziert (Profil 216).
- In Profil 147 ist auf den glazialen Sedimenten eine Kalkbraunerde in einer 4 dm mächtigen Hauptlage entwickelt. Der liegende *till* ist nur schwach verbraunt und carbonathaltig. Die im Profil fleckenhaft verteilten Carbonate im Unterboden und der sprunghafte Anstieg des Carbonatanteils im *till* deuten auf eine mögliche laterale Zufuhr carbonathaltiger Lösungen.



**Böden und Ausgangssubstrate Transekt 4**



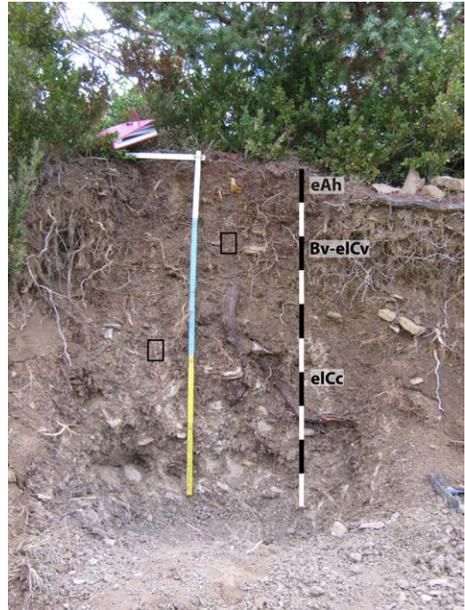
**Abbildung 138:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 4 (s. a. Beilage 1)

**6.30 Transekt 4 – Profil 216**

Profil 216 befindet sich auf dem ostexponierten Unterhang im Aragón-Tal auf 1100 m ü. M. (UTM: 30 T 699469 4724633). Die Hangneigung beträgt 8°, die Hangform ist gestreckt-konvex. In den Hang sind bis zu 1,5 m tiefe Runsen eingeschnitten, etwa 3 m hohe Kiefern und hüfthohe Buchsbüsche wachsen auf den nicht erodierten Sedimenten neben den Runsen (Abb. 139). Die Sohlen der Runsen sind mit plattigem Schutt bedeckt und der anstehende Flysch in Form von Kalksandstein ist teilweise in den Runsen aufgeschlossen. Das Profil ist 105 cm gegraben. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv-elCv/elCc, der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina aus parautochthonem grobbodenarmen Substrat über anstehendem Kalksandstein (Abb. 140). Eine kolluviale Genese des hangenden grobbodenarmen



**Abbildung 139:** Von Runsen zerschnittener Hang mit Profil 216



**Abbildung 140:** Horizontabfolge Profil 216: Die schwarzen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeobachtung

Sediments ist wegen der hohen Gehalte an Holzkohlefaltern, des allochthonen Substratcharakters und der mikromorphologisch nachgewiesenen runden *anorthic nodules* wahrscheinlich. Aufgrund der maskierenden Effekte der Sekundärcarbonate kann die Fazies allerdings nicht zweifelsfrei bestimmt werden. Im Falle einer kolluvialen Prägung wäre das Profil als Kolluvisol mit Ah/eMc anzusprechen. Das Mikrogefüge im Unterboden ist von Quellen und Schrumpfen geprägt. Rezent ist das hangende Sediment von einer markanten Erosion mittels Runsen zerschnitten. Die Umlagerung der sekundären Carbonate ist teilweise biogen bedingt. Phytolithe aus Calciumoxalat und Rhizolithe weisen auf eine biogen verursachte ascendente Carbonatverlagerung.

Die während der Profilsprache im Feld beobachteten glatten und glänzenden Außenflächen der Aggregate wurden im Gelände mit Tonverlagerung assoziiert, aufgrund der mikromorphologischen Untersuchungen kann eine horizontprägende Tonverlagerung ausgeschlossen werden. Die mikromorphologisch vorgefundenen Toncutane sind nur sehr schwach ausgeprägt, die im Gelände als vermeintliche Toncutane angesprochenen tonigen Oberflächen sind den hohen Tongehalten des Feinbodens geschuldet und nicht das Ergebnis einer Tonverlagerung.

### eAh/Bv-elCv 0-40 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkelgraubraun (10 YR 4/3,5). Das Gefüge ist nahe der GOK krümelig und geht nach unten in ein Polyedergefüge über. Die polyedrischen Aggregate zerbrechen leicht unter geringer Druckeinwirkung. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Grus. Der Anteil an  $\text{CaCO}_3$  beträgt zwischen 0 cm und 20 cm unter GOK 2,7 % und steigt mit zunehmender Tiefe auf 7,7 % an (Abb. 141). Die Bodenlösung ist neutral. Die Textur des Feinbodens ist zwischen 20 cm und 40 cm unter GOK ein schwach schluffiger Ton. Im Feinboden sind viele Holzkohlefitter, deren Anzahl mit der Tiefe zunimmt.

Die Farbe der Matrix ist gelbbraun und das  $c_{50\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *open porphyric* (Abb. 142). Die Matrix ist *stipple-speckled*, *granostriated*, *porostriated* und *random striated*. Die Mineralogie des Grobschluffs und Feinsands besteht aus Quarzen und Primärcarbonat. Mikritische Calcite in Grobsandgröße sind stark von randlicher Lösung angegriffen. Dunkelbraune redoximorphe Eisenaufällungen mit 50  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  Durchmesser finden sich um Poren als *hypocoatings* und durchdringen die Matrix des Feinbodens, wobei sie meist schwarmweise auftreten. Leuchtend braune Eisenaufällungen mit scharfen Außengrenzen weisen auf Verbraunung einzelner Minerale. Abgestorbene Feinwurzeln haben Phytolithe aus Calciumoxalat in der Wurzelrinde, wobei die Calciumoxalatkristalle stark von Verwitterung angegriffen sind (Abb. 148 & Abb. 149). In abgestorbenen Wurzeln und in Grobporen ist häufig Milbenkot zu finden. Die Matrix ist von einem rautenartigen Netz aus parallelen und kreuzenden Scherflächen geprägt, der Kreuzungswinkel beträgt etwa  $70^\circ$  und die Maschenweite ist 2000  $\mu\text{m}$ . Selten kleiden in Poren und Rissen 5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$  dünne Toncutane die Porenwände aus.

### eCc 40-105 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), die Körnung ist 80 cm unter der Basis des Profils ein toniger Lehm. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden schwankt zwischen 24,5 % bis 20,1 %. Der Grobboden besteht aus Grus,

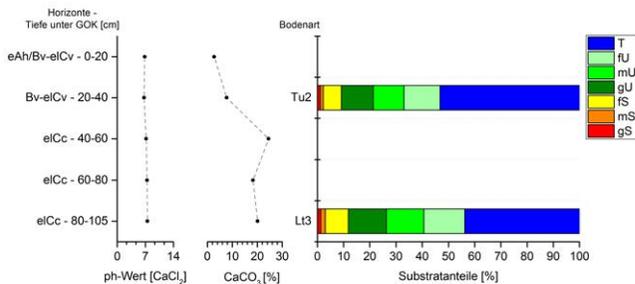
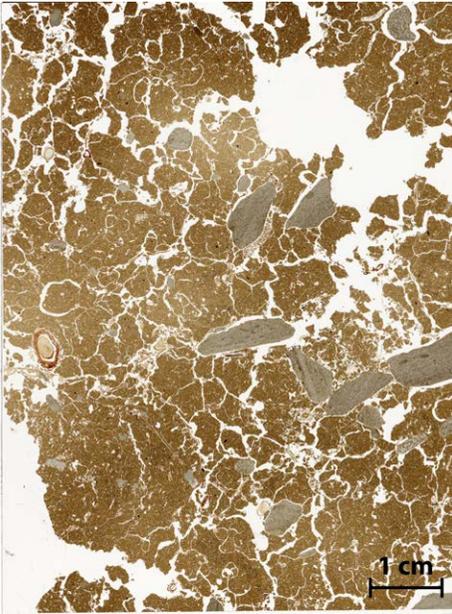
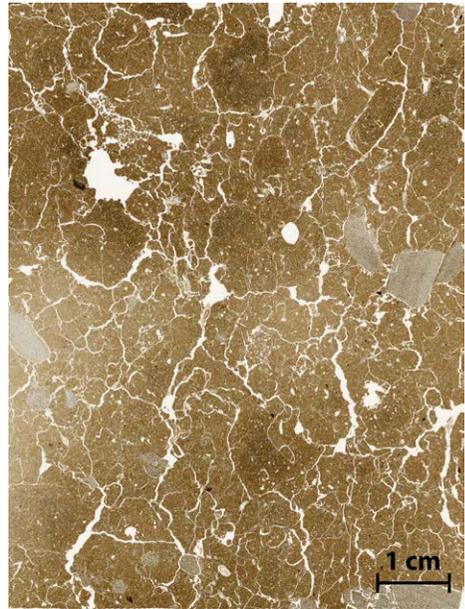


Abbildung 141: Laborergebnisse Profil 216



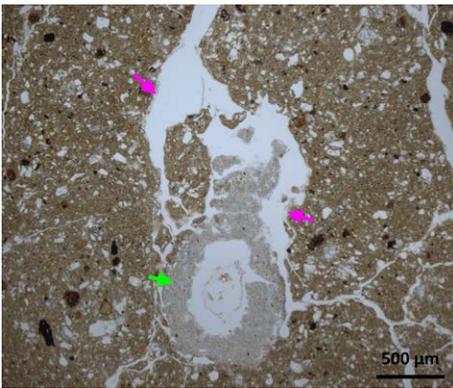
**Abbildung 142:** Übersicht Mikromorphologie Profil 216, 18–26 cm unter GOK



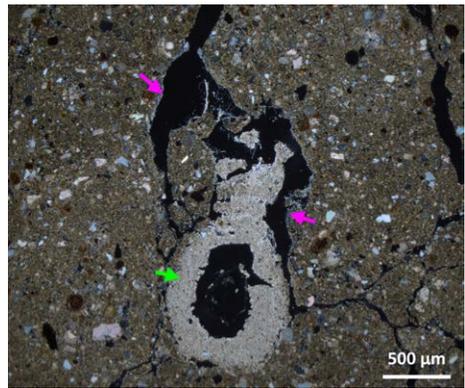
**Abbildung 143:** Übersicht Mikromorphologie Profil 216, 55–63 cm unter GOK

der Grobbodenanteil variiert zwischen 5 % und 10 %. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten. Der Feinboden ist reich an Holzkohleflittern. Das Gefüge des Feinbodens ist polyedrisch bis kohärent, die Aggregate sind sehr fest. Der Horizont ist schwer grabbar. Die tonigen Außenflächen der Aggregate und der Grobboden sind glatt und glänzen. Das  $c_{50\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *open porphyric*, die Farbe der Matrix ist graubraun und deutlich heller als im Horizont darüber (Abb. 143). Die Matrix ist *granostriated*, *porostriated*, *stipple-speckled* und schwach *monostriated striated* bis *random striated*. Runde *disorthic nodules* mit 1000  $\mu\text{m}$  im Durchmesser sind *concentric striated*. Der Feinsand/Grobschluff besteht aus Quarz und Calcit. Die Matrix ist nicht verkittet, Sekundärcarbonat ist in Form von 50  $\mu\text{m}$  bis 500  $\mu\text{m}$  großen Konkretionen aus Mikrit in der Matrix eingeschlossen. Die Konkretionen sind nur schwach von randlicher Verwitterung angelöst. Um abgestorbene Feinwurzeln finden sich Rhizolithe mit einem Gesamtdurchmesser von 1100  $\mu\text{m}$ , der mikritische Rand des Rhizoliths ist 200  $\mu\text{m}$  dick, der Wurzeldurchmesser 700  $\mu\text{m}$ , wobei die Wurzel schon stark verwittert ist (Abb. 144 und Abb. 145). Die an die Wurzelröhren angrenzende Matrix liefert keine Hinweise auf eine Carbonatumlagerung. Nadelförmiger Calcit kleidet oft die Porenränder aus, die einzelnen Kristalle sind chaotisch zueinander gelagert (Abb. 146 und Abb. 147). Neben in der Matrix eingeschlossenen Sklerotien mit Durchmessern zwischen 50  $\mu\text{m}$  und 120  $\mu\text{m}$  sind häufig redoximorphe Eisenausfällungen mit 50  $\mu\text{m}$

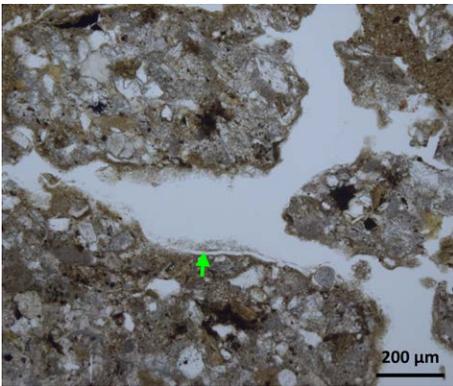
bis 100 µm Durchmesser und diffusen Außengrenzen in der Matrix vorhanden. Um Poren mit 50 µm Durchmessern dringen braune *hypocoatings* in die Matrix. Direkt an die Poren angrenzend ist die Farbe des *hypocoatings* dunkelbraun, die diffuse Intrusion in die Matrix ist hellbraun. Die bei der Profilansprache vorgefundenen glänzenden Außenflächen der Aggregate konnten mikromorphologisch nicht als illuviale Toncutane bestätigt werden. Lediglich vereinzelt können 10 µm dünne, von carbonathaltiger Matrix (Mikrit) umgebene Toncutane (*impure clay coatings*) im Dünnschliff identifiziert werden, die sich in ihrer Textur von der Matrix unterscheiden und aufgrund der Doppelbrechung sicher einen illuvialen Ursprung haben. Die bei der Profilansprache sehr häufig vorgefundenen glänzenden Außenflächen der Aggregate sind somit eher durch den hohen Tonanteil im Feinboden als durch eine Lessivierung bedingt.



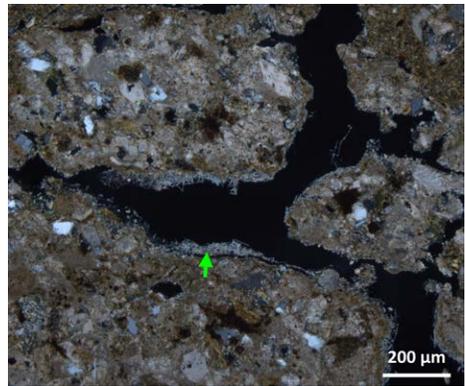
**Abbildung 144:** Ausfällung von Calcit (Profil 216, 55–63 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritisches Calciumcarbonat; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit



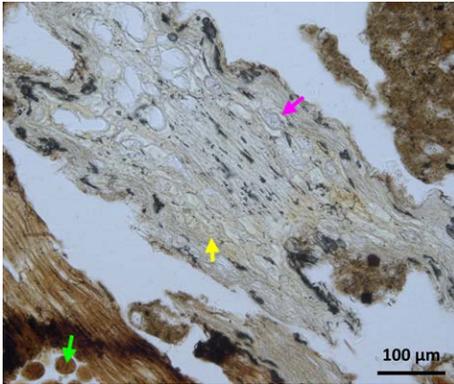
**Abbildung 145:** Ausfällung von Calcit (Profil 216, 55–63 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritisches Calciumcarbonat; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit



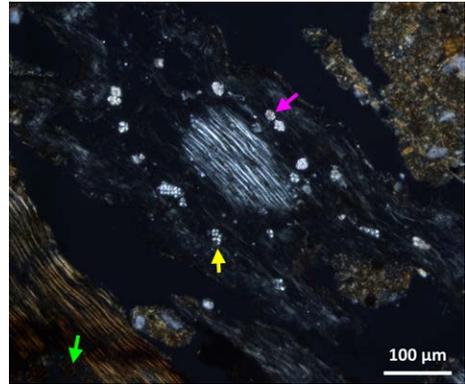
**Abbildung 146:** Nadelförmiger Calcit in Pore (Profil 216, 55–63 cm, LPL); grüner Pfeil: nadelförmiger Calcit



**Abbildung 147:** Nadelförmiger Calcit in Pore (Profil 216, 55–63 cm, GPL); grüner Pfeil: nadelförmiger Calcit



**Abbildung 148:** Biogene Kristallisation in Wurzel (Profil 216, 18–26 cm, LPL); gelber Pfeil: Phytolith; pinker Pfeil: Phytolith aus Calciumoxalat; grüner Pfeil: Milbenkot



**Abbildung 149:** Biogene Kristallisation in Wurzel (Profil 216, 18–26 cm, GPL); gelber Pfeil: Phytolith; pinker Pfeil: Phytolith aus Calciumoxalat; grüner Pfeil: Milbenkot

### 6.31 Transekt 4 – Profil 145

Profil 145 ist auf 1049 m ü. M. im ostexponierten Mittelhang im pleistozänen Extraglacialbereich oberhalb der äußersten Seitenmoräne angelegt (UTM: 30 T 699630 4724385). Die Hangneigung beträgt 20°, der anstehende Flysch wurde im Profil nicht erreicht, an einem Waldweg etwa 20 m östlich des Profils steht Kalkstein an. Die Horizontabfolge ist eAhc/elCc (Abb. 150), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus grobbodenführendem Substrat mit parautochthonem Skelett (Basislage). Der Feinboden ist primärcarbonathaltig, die Ausfällung sekundärer Carbonate im gesamten Profil mit Rhizolithen und Konkretionen markant. Ein Schichtwechsel konnte im Profil aufgrund des homogenen Aufbaus nicht festgestellt werden, lediglich der Grobbodenanteil nimmt mit der Tiefe kontinuierlich zu. Calcitkrusten haften allein an der Unterseite von Grobboden, weswegen eine kolluviale Überprägung ausgeschlossen wird.



**Abbildung 150:** Horizontabfolge Profil 145

#### eAhc 0–20 cm

Der Feinboden ist graubraun und carbonatreich (mindestens c4). Das Carbonat liegt in Form von Primärcarbonat und als Sekundärcarbonat im Feinboden vor. Die sekundären

Carbonate bilden runde Konkretionen mit Durchmessern bis 2 mm. Der Feinboden ist ein sandig-toniger Lehm.

**eCc 20–86+ cm**

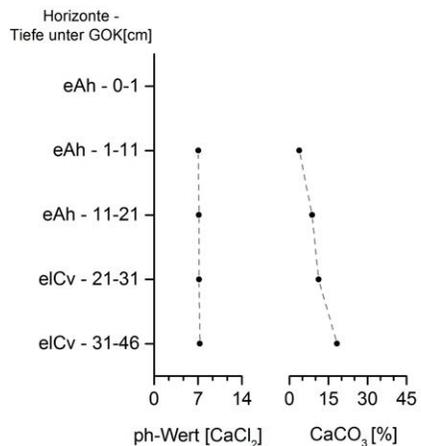
Die Farbe des Feinbodens ist beige-hellgrau. Der Grobbodenanteil beträgt 30 % und nimmt mit der Tiefe zu. Der Grobboden besteht aus Grus, kantigen Steinen und Blöcken. Die Lithologie des Skeletts besteht aus autochthonen bzw. parautochthonen Kalksandsteinen und Mergel. Der Feinboden ist carbonatreich (mindestens c4), wobei die Carbonate als Primärcarbonat und als Sekundärcarbonat in Form von Rhizolithen und runden Konkretionen vorhanden sind. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten.

**6.32 Transekt 4 – Profil 146**

Profil 146 ist am ostexponierten Hang auf 1043 m ü. M. (UTM: 30 T 699700 4724173) etwa sechs Höhenmeter oberhalb der äußersten pleistozänen Seitenmoräne angelegt. Die Hangform ist gestreckt-gestreckt, die Hangneigung beträgt 25°. Der unverwitterte Flysch wurde in dem 45 cm tiefen Hammerschurf nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/elCv (Abb. 151), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus grobbodenführendem Substrat mit einer so-lifluidalen Ausrichtung des Skeletts (Basislage). Im Vergleich zu Profil 145 ist der Feinboden in Profil 146 brauner und carbonatärmer.



**Abbildung 151:** Horizontabfolge Profil 146



**Abbildung 152:** Laborergebnisse Profil 146

### **eAh 0–21 cm**

Der eAh hat ein krümeliges Gefüge, die Farbe ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt zwischen 1 cm und 11 cm unter GOK 3,8 % und steigt zur Basis des Horizonts auf 8,7 % (Abb. 152). Die Bodenlösung ist neutral.

### **eCv 21–46+ cm**

Der Feinboden ist dunkel gelblichbraun (10 YR 4/6) und wird nach unten heller. Das Gefüge ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 30 %, der Grobboden besteht aus Flysch, die Klasten sind nach visueller Einschätzung hangparallel eingeregelt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 11,2 % und nimmt zur Basis des Aufschlusses auf 18,3 % zu. Die Bodenlösung ist neutral bzw. sehr schwach alkalisch. An der Unterseite des Grobbodens haften schwach ausgeprägte Calcitkrusten.

## **6.33 Transekt 4 – Profil 147**

Profil 147 ist am ostexponierten Hang im Kulminationsbereich der zur südlichsten Endmoräne zugehörigen Seitenmoräne angelegt (1036 m ü. M., UTM: 30 T 699751 4724187). Die Hangneigung beträgt 30°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Die Seitenmoräne ist nicht als konvexe Vollform ausgeprägt, die glazialen Sedimente schmiegen sich übergangslos an den Hang. Der Übergang zwischen pleistozänem Extraglazialraum und dem *till* ist oberflächlich aufgrund der glazial angelieferten allochthonen Großblöcke gut erkennbar. Die Horizontabfolge ist Ah/Bcv/Bv+eCv/II eCv/II eCc (Abb. 153), der Bodentyp ist eine Kalkbraunerde in einer grobbodenarmen Hauptlage über carbonathaltigem und diamiktischem *till*. Das Profil ist in der Hauptlage bis 32 cm unter GOK frei von Primärcarbonat, der Feinboden enthält aber Sekundärcarbonat. Der Carbonatanteil steigt im *till* erst ab 52 cm unter GOK sprunghaft an, was auf eine laterale Zufuhr carbonathaltiger Lösungen deutet. Als Ursache für die schwankenden Carbonatgehalte ist ebenso die Fossilisierung einer älteren Bodenbildung oder eine periglaziale Prägung am Standort aufgrund des rißzeitlichen Alters des *till* zu erwägen, da die glazialen Vorstöße während des Würm-Glazials nicht bis zum Standort reichten. Mangels mikromorphologischer Untersuchungen am Profil können hinsichtlich der periglazialen Prozesse und früheren Bodenentwicklungen aber keine weiteren Aussagen getroffen werden.

### **Ah 0–2 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch, der Grobbodenanteil beträgt 5 %. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 0,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer (Abb. 154).

### Bcv 2–32 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Das Gefüge ist subpolyedrisch und geht zur Basis des Horizonts in ein Polyedergefüge über. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Kies, Grus und gerundeten Steinen. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil schwankt von 0,2 % bis 0,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer.

### Bv+eCv 32–42 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun bis dunkel gelblichbraun (10 YR 4/4 bis 4/6). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 2,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Das Gefüge ist polyedrisch und die Außenflächen der Aggregate sind glatt und glänzen. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % und an der hangwärtigen Seite und an der Unterseite des Skeletts haften schmutzige Calcitkrusten. Der Grobboden ist nach visueller Einschätzung chaotisch gelagert. Die Untergrenze der Schicht ist scharf, die Untergrenze des Horizonts ist diffus.

### II eCv 42–82 cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 4,5/3). Der  $\text{CaCO}_3$  Anteil beträgt zwischen 42 cm und 52 cm 2,7 % und steigt darunter sprunghaft auf 26,3 % und fällt zur Basis auf 14,2 %. Die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 60 %, der Grobboden besteht aus Grus, Kies, Steinen und Blöcken. An den Unterseiten des Grobbodens haften Calcitkrusten. Das Skelett ist nicht eingeregelt.

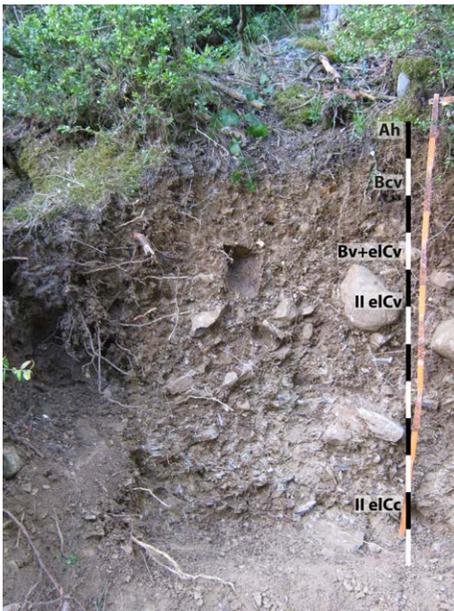


Abbildung 153: Horizontabfolge Profil 147

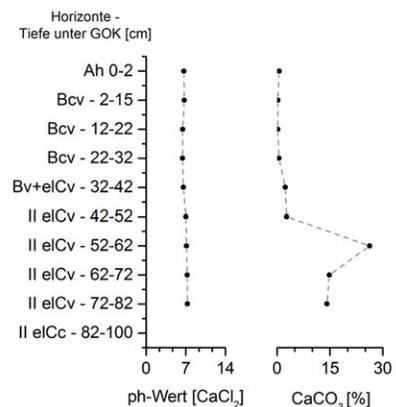


Abbildung 154: Laborergebnisse Profil 147

## **II e/Cc 82-100+ cm**

Der Feinboden ist gelbgrau (2,5 Y 5/4) und carbonatreich (mindestens c4). Ausgeprägte Calcitkrusten bedecken ganzseitig den Grobboden. Der Feinboden ist teilweise mit Sekundärcarbonat verkittet.

### 6.34 Synthese Transekt 5

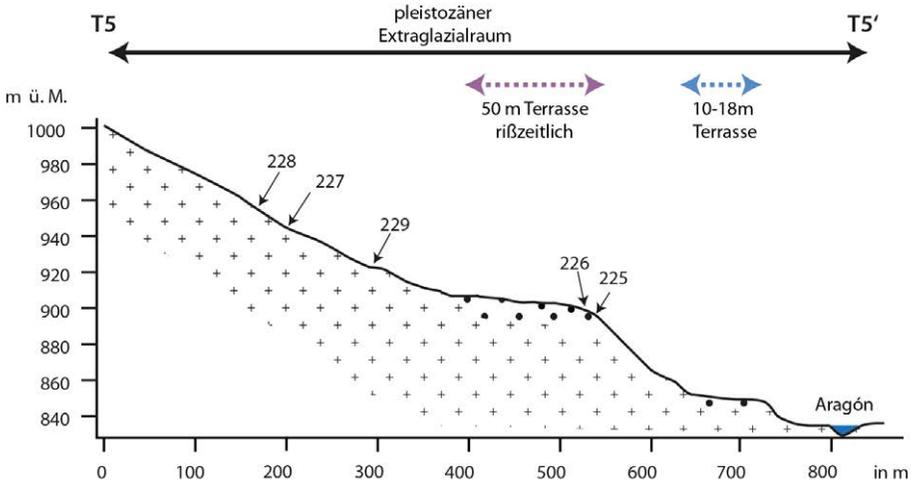
Transekt 5 befindet sich 1400 m südlich der äußersten Endmoräne im Aragón-Tal und damit im pleistozänen Extraglazialraum (Abb. 18). Das Transekt ist am ostexponierten Hang angelegt (Abb. 97, Abb. 155 und Abb. 156), wobei der anstehende Flysch und glazifluviale Sedimente aufgeschlossen sind.

- Im Mittel- und Oberhang steht der Kalksandstein meist oberflächlich an. Das Anstehende ist teilweise von losem plattigen Skelett bedeckt (Profil 228). Aufgrund der Feinbodenarmut beschränkt sich die Bodenentwicklung auf den Hängen meist auf Felshumusböden (Profil 228). Der Hang ist spärlich mit Sekundärvegetation bestanden.
- Basislagen mit hangparallel eingeregelter Skelett sind im Liegenden entlang des Transekts aufgeschlossen (Profile 226, 227 und 229). In Profil 226 liegt die Basislage über dem rißzeitlichen fluvialen Schotter.
- Im Unterhang weisen feinbodenreiche Sedimente im Hangenden auf die Verlagerung parautochthonen Substrats. Die  $\text{CaCO}_3$ -Anteile in den hangenden Substraten nehmen mit der Tiefe teilweise ab (Profil 227 und 229). Fragmente von Holzkohlen, Ziegeln und plattiger Grobboden mit Calcitkrusten an der Oberseite deuten auf eine Durchmischung oder kolluviale Umlagerung der Sedimente.
- Die Böden entlang Transekt 5 sind allesamt im Oberboden carbonathaltig. Neben Primärcarbonat weisen Rhizolithe und Konkretionen aus Calcit auf die rezente Ausfällung sekundärer Carbonate. Die Gehalte an Goethit/Hämatit zeigen Oxidation als bodenbildenden Prozess an, allerdings dominieren die Carbonate die Bodenfarbe und maskieren somit die Verbraunung der Böden.
- Wechsellagerungsminerale oder mit Ethylenglykol quellfähige Minerale, die bei der Belegung mit Kalium kontrahieren, deuten auf eine Tonmineralneubildung in den carbonathaltigen Substraten. Zusammen mit der Oxidbildung lassen sich damit die typusgebenden Prozesse der Braunerde – Verbraunung und Verlehmung – nachweisen.

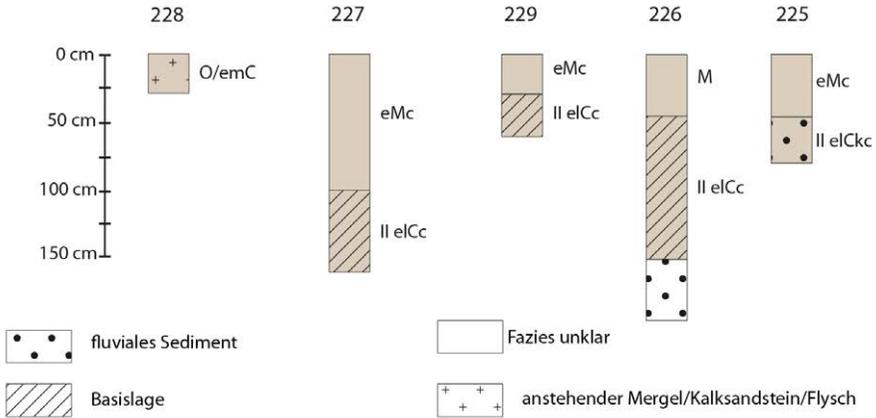


Abbildung 155: Panoramablick nach Süden auf Transekt 5

### Querprofil Transekt 5



### Böden und Ausgangssubstrate Transekt 5



**Abbildung 156:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 5 (s.a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabsgetreu

### 6.35 Transekt 5 – Profil 228 und Profil 227

Profil 228 (958 m ü. M., UTM: 30 T 700614 4721877) und Profil 227 (943 m ü. M., UTM: 30 T 700641 4721908) befinden sich am ostexponierten Hang im pleistozänen Extraglazialbereich. Profil 228 liegt im Mittelhang und ist 50 m von Profil 227 entfernt. Der Hang um

Profil 228 ist konkav-gestreckt. Der anstehende Flysch ist nur fleckenhafte von feinkörnigem Substrat bedeckt, in dem die spärliche Vegetation aus Garrigue und Gräsern wächst. Die Horizontabfolge in Profil 228 ist O/emC, der Bodentyp ist ein Felshumusboden (Abb. 157). Der Flysch verwittert in plattiger Abschuppung, wobei lose plattige Steine das Anstehende überlagern. Hangparallele Girlanden aus plattigem Skelett bedecken die Oberfläche in geschützten Lagen und weisen auf die Verlagerung des Grobbodens durch Oberflächenabfluss.

Profil 227 befindet sich im Unterhang, die Hangneigung beträgt 15°. Die Hangform ist konkav-gestreckt. Der Hang ist terrassiert und ein Steinpflaster aus losen plattigen Sandsteinen, Kalksandsteinen und Kalksteinen bedeckt den Hang. Das Profil ist 160 cm aufgeschlossen. Die Horizontabfolge in Profil 227 ist eMc/II eLcC (Abb. 158), der Bodentyp ist ein Kolluvisol über einer mit solifluidal verlagertem Grobboden geprägten Basislage. Die Carbonatgehalte des Feinkörnigen nehmen im Kolluvium zur Basis hin leicht ab, in der Basislage steigen die Carbonatgehalte sprunghaft an. Röntgendiffraktometrische Untersuchungen der Tonfraktion an der Basis des Profils belegen im carbonatreichen Substrat Übergangsmminerale, quellfähige und kontrahierbare Tonminerale bzw. Wechsellagerungsminerale, was auf eine rezente oder reliktsche Tonmineralneubildung weist.



**Abbildung 157:** Felshumusboden Profil 228



**Abbildung 158:** Horizontabfolge Profil 227

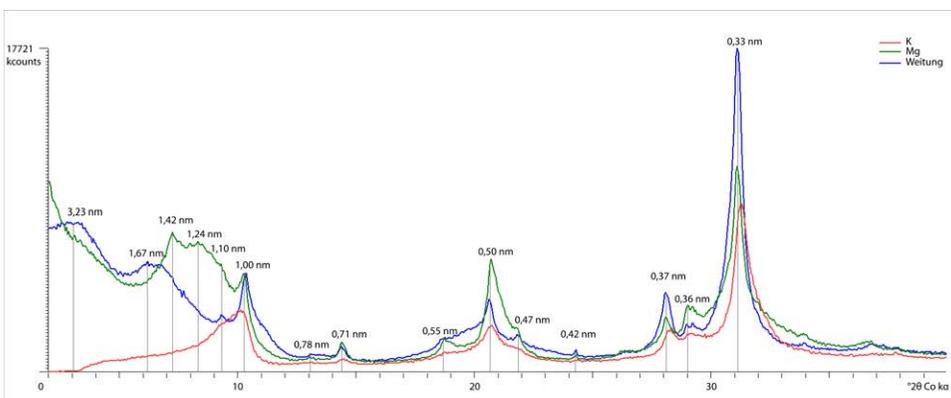
## eMc 0–100 cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 4/3). Die Textur des Feinbodens ist zwischen 0 cm und 35 cm unter GOK ein tonig-sandiger Lehm, darunter ein toniger Lehm bzw. schwach schluffiger Ton (Abb. 160). Das Gefüge ist polyedrisch, die Aggregate sind hart. Im gesamten Kolluvium sind viele Holzkohleflitter und ziegelrote mineralische Fragmente mit bis zu 1 cm Durchmesser vorhanden. Die Bodenlösung ist vom 0 cm bis 35 cm unter GOK sehr schwach sauer, darunter ist die Bodenlösung sehr schwach alkalisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden nimmt im Kolluvium mit 23,3 % von oben nach unten mit 15,4 % leicht ab. Der Feinboden enthält sowohl Primär- als auch Sekundärcarbonat. Das Sekundärcarbonat ist in Form weißer Konkretionen mit Durchmessern zwischen 3 mm und 4 mm im Feinboden ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 8 % und besteht aus plattigem parautochthonem Flysch. Die Klasten sind jeweils nur auf einer Seite mit Calcitkrusten bedeckt, wobei entweder die Unterseite oder die Oberseite betroffen ist.

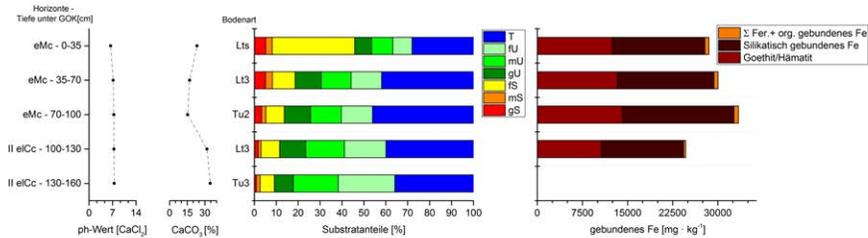
## II eICc 100–160+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun bis dunkel graubraun (2,5 Y 5/3 bis 4/3). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 31,8 % und 34,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Das Gefüge ist kohärent bis polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 20 % und nimmt mit der Tiefe weiter zu. An der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten. Sekundärcarbonate sind als Kalkpseudomycelien und als 4 mm bis 5 mm große Konkretionen ausgefällt.

Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion aus 130 cm bis 160 cm unter GOK zeigt bei der Belegung mit Magnesium zwischen 1,00 nm und 1,42 nm die Präsenz von Übergangsmaterialien (Abb. 159). Bei der Behandlung des Magnesiumpräparats mit Ethylglykol nehmen die Intensitäten zwischen  $6^\circ 2\Theta$  und  $9,5^\circ 2\Theta$  und 0,50 nm ab, bei 0,33 nm und 1,67 nm nehmen die



**Abbildung 159:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 227, 130–160 cm unter GOK

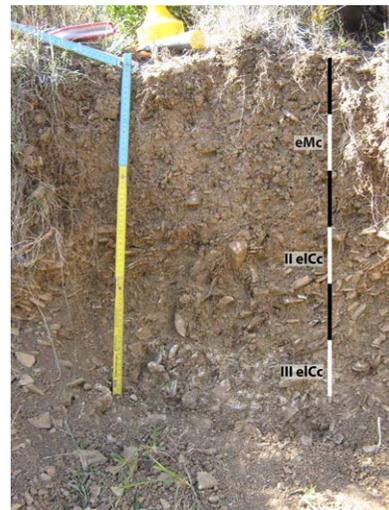


**Abbildung 160:** Laborergebnisse Profil 227

Intensitäten zu, wobei die Zunahme bei 1,67 nm auf die Weitung quellfähiger Tonminerale weist. Die Belegung mit Kalium verursacht mit der Abnahme der Intensitäten unterhalb von  $9,5^\circ 2\theta$  eine markante Kontraktion, die zu hohen Intensitäten bei 1,00 nm, 0,50 nm und 0,33 nm führt. Die Untersuchungen weisen neben den Übergangsmaterialien auf die Präsenz mit Ethylenglykol quellfähiger Minerale, die bei der Belegung mit Kalium kontrahieren. Hierbei handelt es sich um sogenannte Bodenvermikulte bzw. quellfähige Minerale mit einer Schichtladung zwischen Smektit und Vermikulit oder um Wechsellagerungsminerale aus Illit mit quellfähigen Dreischichtmineralen. Weitere Minerale sind Quarz (0,42 nm und 0,33 nm), Illit (1,0 nm, 0,50 nm, 0,37 nm und 0,33 nm) und Kaolinit (0,71 nm und 0,35 nm).

### 6.36 Transekt 5 – Profil 229

Profil 229 befindet sich im ostexponierten Unterhang auf 922 m ü. M. (UTM: 30 T 700737 4721638). Die Hangform ist gestreckt-konvex, der Hang ist  $16^\circ$  geneigt und teilweise verstürzte Mauerreste weisen auf eine frühere Terrassierung. Der Hang ist von 2 m bis 3 m tiefen Runsen zerschnitten. Das Profil ist 60 cm außerhalb einer Runse als Hammerschurf angelegt, das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eMc/II eICc/III eICc (Abb. 161), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat über skelettführendem Substrat über solifluidal geprägtem grobbodenhaltigen Substrat (Basislage). Zur Basis des Kolluviums nimmt der Carbonatgehalt im Feinboden ab, in der Schicht darunter steigt der Carbonatgehalt deutlich an. Im gesamten



**Abbildung 161:** Horizontabfolge Profil 229

Profil sind sekundäre Carbonate in Form von Konkretionen und pulverigen Flecken ausgefällt. Trotz des Carbonatanteils in der Basislage weisen Übergangsminerale, Wechsellagerungsminerale bzw. quellfähige und kontrahierbare Tonminerale auf eine reliktsche oder rezente Mineralumwandlung bzw. Tonmineralneubildung.

### **eMc 0–29 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), die Textur ist ein sandig-toniger bzw. toniger Lehm (Abb. 163). Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett ist schwach hangparallel eingeregelt. Der plattige Grobboden ist einseitig mit Calcitkrusten bedeckt, wobei entweder die Oberseite oder die Unterseite mit Calcit verkrustet ist. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 20,0 % bzw. 12,4 %. Runde Konkretionen aus Sekundärcarbonat mit 2 mm bis 3 mm Durchmesser befinden sich im Feinboden. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt zwischen 0 cm und 15 cm unter GOK 28 219  $\text{mgkg}^{-1}$  und darunter 32 254  $\text{mgkg}^{-1}$ . Der Anteil an Goethit/Hämatit nimmt im Horizont von 11 512  $\text{mgkg}^{-1}$  mit der Tiefe auf 15 191  $\text{mgkg}^{-1}$  zu. Die Summe von organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit steigt mit der Tiefe von 521  $\text{mgkg}^{-1}$  auf 617  $\text{mgkg}^{-1}$ .

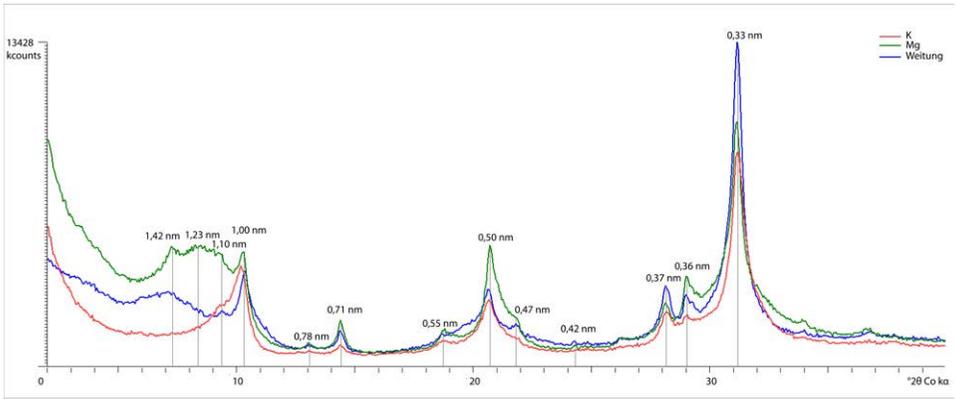
### **II eICc 29–50 cm**

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), die Textur ist ein schwach schluffiger Ton. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, die Klasten sind schwach hangparallel eingeregelt. Aufgrund des sprunghaften Anstiegs des Grobbodenanteils in der liegenden Schicht ist die Untergrenze des II eICc scharf. Der grusige Grobboden besteht aus parautochthonem Flysch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 18,8 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt 33 578  $\text{mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit 16 320  $\text{mgkg}^{-1}$  und die Summe von organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit 624  $\text{mgkg}^{-1}$ .

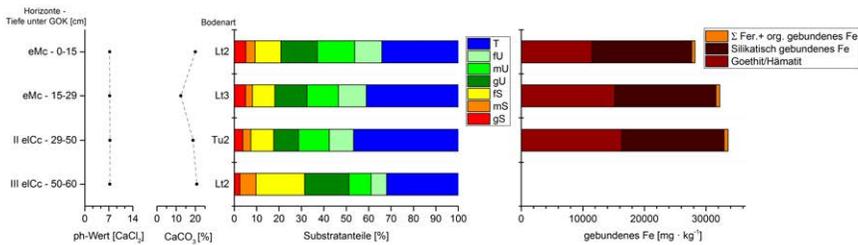
### **III eICc 50–60+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), wobei der Feinboden zwischen den Klasten teilweise von pudrigen Ausfällungen von Sekundärcarbonat weiß gefleckt ist. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 20,7 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. An der Unterseite und an der hangwärtigen Seite des Skeletts haften fleckenhafte bis pockige schmutzige Calcitkrusten. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, der Grobboden ist schwach hangparallel eingeregelt. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm.

Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion zeigt, ähnlich wie in Profil 227, die Präsenz von Übergangsmineralen zwischen 1,0 nm und 1,42 nm bei der Belegung mit Magnesium (Abb. 162). Bei der Behandlung des Magnesiumpräparats mit Ethylenglykol ist bis  $9,5^\circ 2\theta$  keine eindeutige Aussage hinsichtlich der Intensitätsmaxima möglich, bei 0,5 nm ist im Vergleich zum Magnesiumpräparat wie in Profil 227 eine Abnahme und bei 0,33 nm eine Zunahme



**Abbildung 162:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 229, 50–60 cm unter GOK



**Abbildung 163:** Laborergebnisse Profil 229

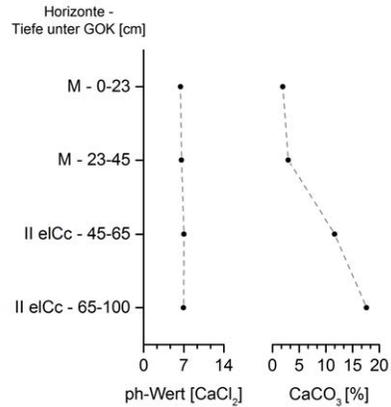
der Intensitäten festzustellen. Die Belegung mit Kalium führt zu einer Kontraktion mit markanten Intensitätsabnahmen unterhalb von  $9,5^\circ 2\Theta$ , die mit Zunahmen bei 1,0 nm, 0,50 nm und 0,33 nm einhergehen. Ähnlich wie in Profil 227 sind dies Belege für Übergangsmminerale und quellfähige Minerale, die bei der Belegung mit Kalium kontrahieren bzw. für Wechsellagerungsminerale aus Illit mit quellfähigen Dreischichtmineralen.

### 6.37 Transekt 5 – Profil 226

Profil 226 befindet sich im Unterhang an der Kante der nach Nordost exponierten Terrasse auf 906 m ü. M. (UTM: 30 T 701008 4722019), 65 m über dem rezenten Flussbett des Aragón. Die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt  $4^\circ$ , die Hangform ist schwach konkav bis schwach konkav. Das Profil ist 100 cm gegraben, der Schichtwechsel zu den glazifluvialen Sedimenten bei etwa 150 cm bis 200 cm unter GOK ist nur im steilen Außenhang der Terrasse aufgeschlossen und war für Untersuchungen nicht zugänglich. Die Horizontabfolge ist M/II eMcC (Abb. 164), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat über



**Abbildung 164:** Horizontabfolge Profil 226



**Abbildung 165:** Laborergebnisse Profil 226

einer grobbodenreichen und parautochthonen Basislage über glazifluvialen Schottern. Die Terrasse geht im Norden bei Profil 205 in die südlichste Endmoräne über. Das parautochthone Skelett der Basislage in Profil 226 hängt über dem rißzeitlichen glazifluvialen Schotter.

### M 0–45 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/4). Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm, wobei Feinsand die Sandfraktion dominiert. Das Gefüge ist auf den obersten 10 cm ein Krümelgefüge, darunter ist das Gefüge polyedrisch bis subpolyedrisch. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 1,9 % und 3,0 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer (Abb. 165).

### II elCc 45–100+ cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 11,6 % und 17,6 %, die Bodenlösung ist neutral. Kalkpseudomycelien sind im Feinboden vorhanden und haften am Grobboden. Das Gefüge ist subpolyedrisch und geht nach unten aufgrund der Ausfällung sekundärer Carbonate in ein Kittgefüge über. Der Grobbodenanteil beträgt 50 % und besteht aus plattigem Grus und plattigen Steinen. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden in Streichrichtung des Hangs eingeregelt, wobei die Klatten leicht nach hinten in das Profil bzw. in den Hang hineinkippen. An der Unterseite des Grobbodens haften Verkrustungen aus Calcit, mit zunehmender Tiefe ist der Grobboden ganzseitig mit

Calcit verkrustet. Des Weiteren sind im oberen Bereich des Horizonts an der Unterseite des Grobbodens glatte und tonige Flecken zu finden.

### **6.38 Transekt 5 – Profil 225**

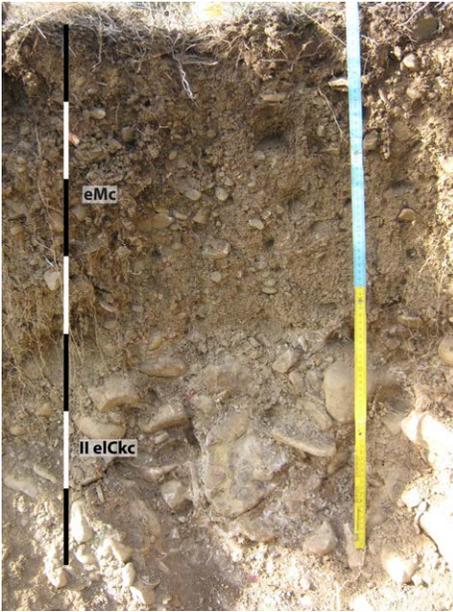
Profil 225 liegt auf 894 m ü. M. an der Kante der Flussterrasse 60 m über dem rezenten Flussbett des Aragón (UTM: 30 T 701015 4721602). Die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt  $4^\circ$ , die Hangform ist schwach konkav - schwach konvex. Die Basis der Terrassenschotter und der anstehende Fels wurden im Profil nicht erreicht, im unzugänglichen Steilhang neben dem Profil beträgt die Schottermächtigkeit etwa 2 m. Die Horizontabfolge ist eMc/II elCkc (Abb. 166), der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus grobbodenführendem Substrat über glazifluvialen Schotter. Der Feinboden im Liegenden ist mit Sekundärcarbonat verkittet. Calcitkrusten haften in der liegenden Schicht an der Unterseite des Grobbodens, im Hangenden werden Calcitkrusten an der Oberseite von Grobboden auf eine kolluviale Verstellung zurückgeführt.

#### **eMc 0–46 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3). Die Untergrenze der Schicht ist scharf, gerade und horizontal. Die Textur des Feinbodens ist ein schluffiger Lehm, das Gefüge ist auf den obersten 5 cm krümelig und nach unten polyedrisch bis subpolyedrisch. Die Aggregate zerfallen bei Belastung. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 20,1 % und 25,8 %, die Bodenlösung ist neutral (Abb. 168). Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, der Grobboden besteht aus Kies und Grus. Die Klaster sind schwach oberflächenparallel eingeregelt. Calcitkrusten haften entweder an der Oberseite oder an der Unterseite des Grobbodens. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $25\,243 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $25\,738 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $10\,363 \text{ mgkg}^{-1}$  und nehmen zur Basis der Schicht auf  $11\,568 \text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Summe aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen beträgt  $568 \text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $563 \text{ mgkg}^{-1}$ .

#### **II elCkc 46–80 cm**

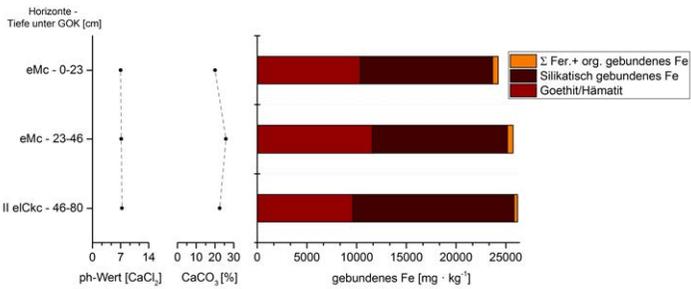
Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3), Flecken aus pudrigem Sekundärcarbonat färben den Horizont teilweise weißgrau. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, nach visueller Einschätzung ist keine Einregelung erkennbar. Der Grobboden besteht neben Kies aus Steinen und Blöcken, die jeweils stark gerundet bis gerundet sind. An der Unterseite des Grobbodens haften Verkrustungen aus Calcit (Abb. 167). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 22,5 %, der Feinboden ist verkittet. Aufgrund des Kittgefüges sind keine Aussagen über die Textur des Feinbodens möglich. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $26\,184 \text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $9\,621 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe von organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $346 \text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 166:** Horizontabfolge Profil 225



**Abbildung 167:** Calcitkruste an der Unterseite von Grobboden

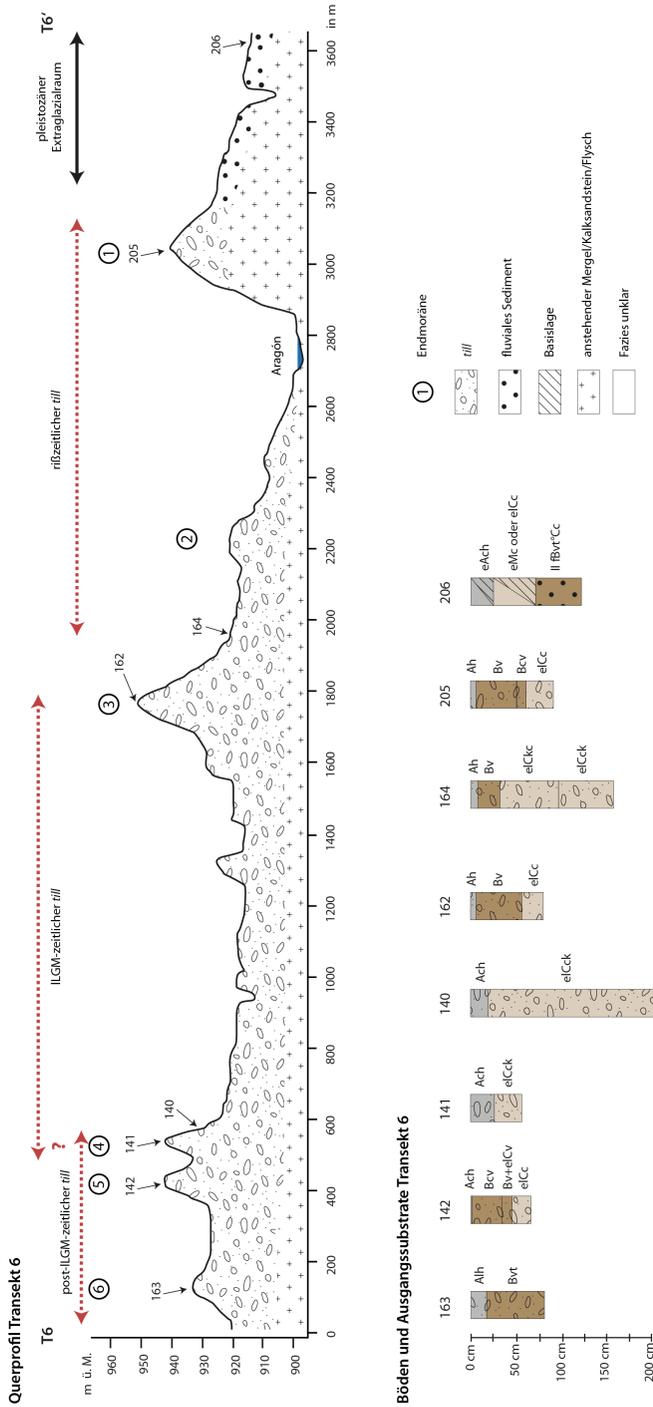


**Abbildung 168:** Laborergebnisse Profil 225

### 6.39 Synthese Transekt 6

Transekt 6 quert die Abfolge der würmzeitlichen Endmoränen 2 bis 6 bis zur rißzeitlichen Endmoräne 1 im Aragón-Tal in Nord-Süd-Richtung (Abb. 18, Abb. 97 und Abb. 169). Während die Endmoränen rezent mit Sekundärvegetation verbuscht sind, werden die Hangfußbereiche um die Endmoränen intensiv landwirtschaftlich genutzt, weswegen eine Profilaufnahme in den Unterhängen und Fußbereichen nicht möglich war.

- Das Spektrum der Böden auf den glazialen Sedimenten der Endmoränen reicht von Parabraunerden auf Endmoräne 6 (Profil 163) über Kalkbraunerden auf Endmoräne 5 (Profil 142) und Braunerden auf Endmoräne 3 (Profile 162 und 164) bzw. Endmoräne 1 (Profil 205) bis hin zu Pararendzinen (Endmoräne 4 mit Profil 140 und 141). Ausgenommen Profil 163, in dem die Untergrenze des Unterbodens nicht erreicht wurde, sind alle Böden auf den glazialen Sedimenten von einer markanten Ausfällung sekundärer Carbonate im Untergrundhorizont geprägt. Der Feinboden ist dort mit Carbonaten verkittet und in den Poren sind sekundäre Carbonate ausgefällt. In Profil 142 und in Profil 205 ist Sekundärcarbonat auch im Unterboden ausgefällt.
- Der Grobboden in dem mit Carbonat verkitteten *till* ist randlich von Entcarbonatisierung angegriffen (Profil 140). Eisenausfällungen in den mittels Lösungsverwitterung entstandenen Poren belegen eine rezente oder subrezente Oxidation von Eisen und zeigen damit eine Verbraunungsdynamik an.
- Auf der Endmoräne 1 südlich vorgelagerten rißzeitlichen glazifluvialen Terrasse überdecken parautochthone Substrate die glazifluvialen Sedimente. In den glazifluvialen Sedimenten ist ein fossiler Illuvialhorizont einer Parabraunerde ausgebildet, der zugehörige Eluvialhorizont fehlt. Aufgrund von Holzkohleresten im hangenden Sediment ist eine kolluviale Genese wahrscheinlich, eine periglaziale Genese des Hangenden mittels Solifluktion kann aber nicht ausgeschlossen werden.
- Eine Abhängigkeit der Bodenentwicklung vom Alter der Moränen ist nicht erkennbar, obwohl die Spannweite des Alters der Endmoränen von MIS 6 für die südlichste Endmoräne bis zu MIS 3 und MIS 2 der nördlichen Endmoränen reicht. Im Vergleich zu dem fossilisierten, rubefizierten Illuvialhorizont in Profil 206 sind die Böden auf den glazialen Sedimenten (Profile 140, 141 und 142) nur schwach entwickelt, was auf eine erosive Profilverkürzung auf den exponierten Endmoränen zurückgeführt wird.
- In den Profilen 142, 162, 164 und 205 weist die Lithologie des Grobbodens aus Konglomeraten mit einem weinroten Zement und weinroten Schiefen und der weinroten Farbe des Feinbodens auf die Vererbung der Bodenfarbe durch die Verwitterung der Ausgangsgesteine. Die Bodenmerkmale werden hier somit zumindest teilweise als geogen interpretiert und sind nicht alleinig das Produkt von Oxidation und Tonmineralneubildung im Sinne einer pedogenen Verbraunung *in situ*.



**Abbildung 169:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 6 (s. a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabgetreu

## 6.40 Transekt 6 – Profil 163

Profil 163 befindet sich im Kulminationsbereich der nördlichsten Endmoräne auf 932 m ü. M. (UTM: 30 T 700330 4725932). Um das Profil liegen Großblöcke allochthoner Gesteine. Das Profil ist 80 cm abgeschlossen, der Untergrundhorizont wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Alh/Bvt, der Bodentyp ist eine Parabraunerde aus *till* (Abb. 170). Die Tonanteile nehmen im Bt-Horizont auf 48 % zu, die Feinsand- und Grobschluffanteile im gleichen Maße ab.

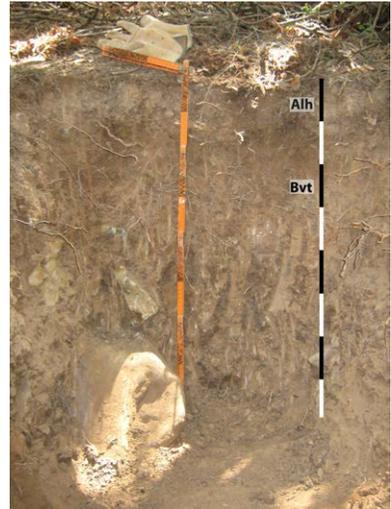


Abbildung 170: Horizontabfolge Profil 163

### Alh 0–17 cm

Der Feinboden ist gelblichbraun. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch, die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger bzw. sandiger Lehm (Abb. 171). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark bis mäßig sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, der Grobboden besteht größtenteils aus Kies und Grus, wobei Feinkies und Feingrus dominieren.

### Bvt 17–80+ cm

Der Feinboden ist rötlich-braun, der Horizont wird mit zunehmender Tiefe dunkler. Die

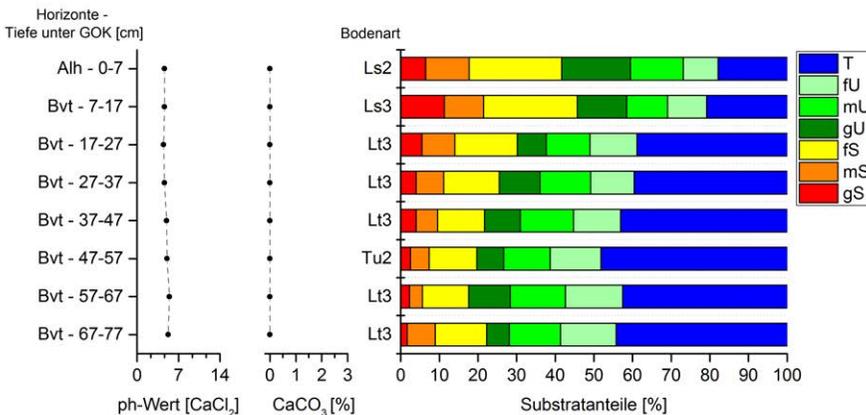


Abbildung 171: Laborergebnisse Profil 163

Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm bzw. schwach schluffiger Ton. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Aufgrund des hohen Tonanteils ist der Horizont nur mit der Spitzhacke grabbar, über Nacht wurde die Profilgrube nach einem Starkregenereignis mit Wasser aufgefüllt, das bis zum Morgen nicht komplett versickert war. Der gesamte Horizont ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig bis schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 10 % und der Grobboden besteht wie im hangenden Horizont vornehmlich aus Feinkies und Feingrus, wobei Steine und Blöcke vorhanden sind.

### 6.41 Transekt 6 – Profil 142

Profil 142 befindet sich im Kulminationsbereich der vierten Endmoräne auf 935 m ü. M. (UTM: 30 T 700546 4725652). Die Horizontabfolge ist Ach/Bcv/Bv+elCv/elCc, der Bodentyp ist eine Kalkbraunerde aus *till* (Abb. 172). Der Grobboden ist parallel zur Fließrichtung des pleistozänen Gletschers eingeregelt. An der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten, deren Ausprägung im Profil mit der Tiefe zunimmt. Das Skelett besteht aus weinroten Schiefen und Konglomeraten, die geogene weinrote Farbe des teilweise stark verwitterten Skeletts ist auch für den Feinboden im Bv+elCv farbgebend. Die Farbe des Bv+elCv ist demnach nicht alleine auf eine *in situ*-Verbraunung zurückzuführen, sondern wie in Profil 207 zumindest teilweise vom Ausgangssubstrat vererbt.

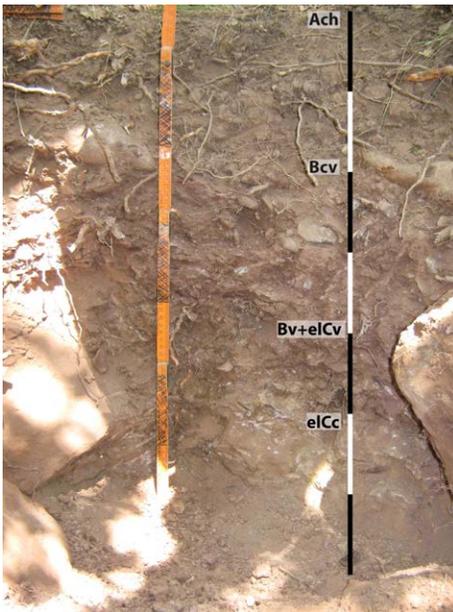


Abbildung 172: Horizontabfolge Profil 142

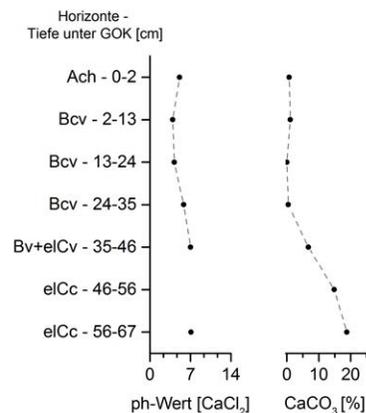


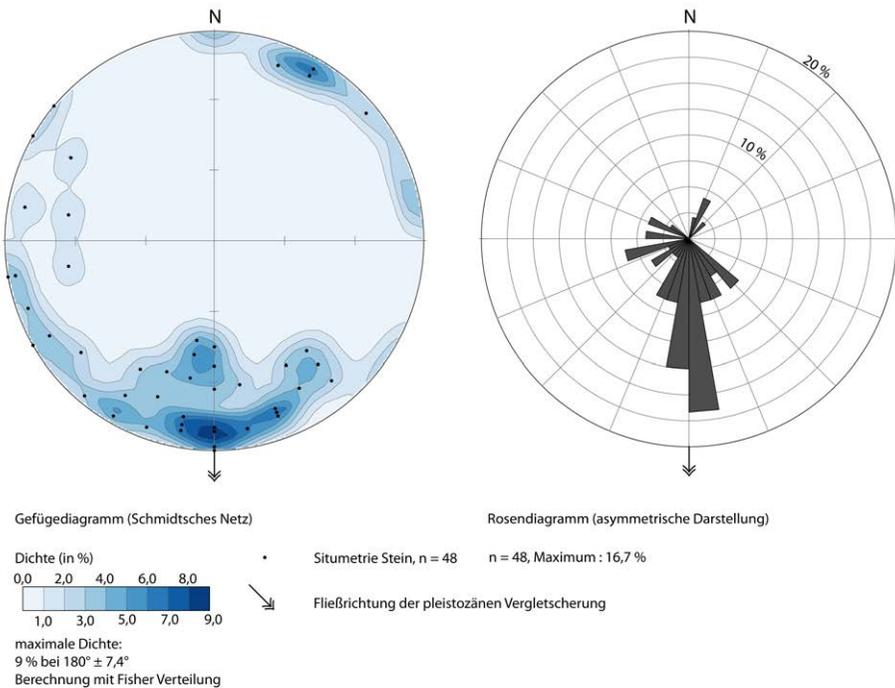
Abbildung 173: Laborergebnisse Profil 142

## Ach 0–2 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (5 YR 3/2). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Schluff. Das Gefüge ist subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 0,8 %, die Bodenlösung ist mäßig sauer (Abb. 173).

## Bcv 2-35/Bv+eICv 35–46 cm

Die Farbe des Feinbodens ist bis 18 cm unter GOK sehr dunkel braungrau (5 YR 3/2) und darunter sehr dunkel rotgrau (2,5 Y 3/3). Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm, das Gefüge ist subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden schwankt zwischen 0 % und 1,1 %, die Bodenlösung ist stark sauer bis schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 50 % und besteht aus Kies, Grus, Steinen und Blöcken. An der Unterseite des Grobbodens haften teilweise schmutzige Calcitkrusten. Die Lithologie ist allochthon, vor allem die weinroten Schiefer sind stark verwittert und zerfallen unter Druck. Die Farbe der weinroten Schiefer und die Farbe des Zements der Konglomerate ähneln sehr stark der Farbe des Feinbodens. Zwischen 35 cm und 46 cm verzahnen sich die Horizonte. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 6,7 %, die Bodenlösung ist neutral.



**Abbildung 174:** Situmetrie des Grobbodens Profil 142, 20–67 cm unter GOK

Die Situmetrie des Grobbodens zeigt eine Ausrichtung der Längsachsen des Grobbodens in Richtung der Fließrichtung des pleistozänen Gletschers (Abb. 174). Der Isotropie-Index beträgt 0,11 und der Elongations-Index 0,57, das Skelett weist damit sehr einheitliche Fallwinkel und eine sehr homogene Streichrichtung auf (Abb. 30).

#### **eCc 46–67+ cm**

Der Horizont ist fleckig-dunkel braungrau (5 YR 4/3) bis dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3). Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 14,8 % und 18,8 %, die Bodenlösung ist neutral. Die Textur des Feinbodens und der Grobbodenanteil sind wie im Horizont darüber. Die Ausprägung der Calcitanhaftungen an der Unterseite des Skeletts ist deutlich ausgeprägter als im hangenden Horizont.

### **6.42 Transekt 6 – Profil 141**

Profil 141 ist auf dem Kulminationsbereich der dritten Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca angelegt (940 m ü. M., UTM: 30 T 700153 4725581). Die Horizontabfolge ist Ach/eCc (Abb. 175), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till*. Der Oberboden ist frei von Primärcarbonat, die Grenze zum carbonatreichen Unterboden ist scharf. Calcitkrusten haften im Oberboden an der Unterseite des Skeletts. Der Unterboden ist mit Sekundärcarbonat verkittet und nur mit dem Hammer grabbar.



**Abbildung 175:** Horizontabfolge Profil 141

#### **Ach 0–26 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist braun. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer bis neutral. An der Unterseite und Hangseite des Grobbodens haften Calcitkrusten, die im oberen Bereich des Horizonts schmutzig braun sind. Mit zunehmender Tiefe im Horizont sind die Krusten weißgrau und die Ausprägung der Krusten nimmt zu.

#### **eCc 26–56+ cm**

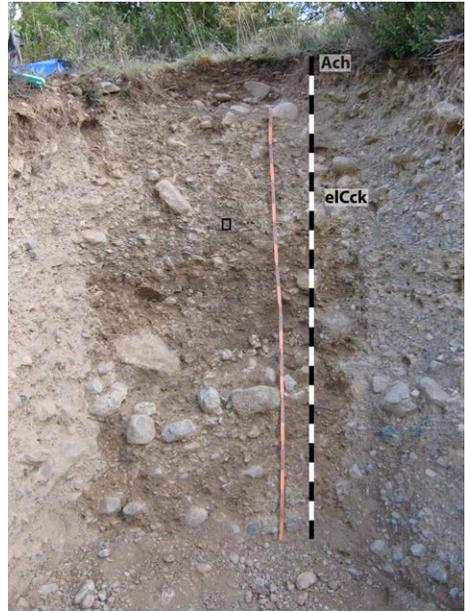
Die Farbe des Feinbodens ist weißgrau, der Feinboden ist mit Sekundärcarbonat verkittet. Der *till* ist aufgrund der Verkittungen nur mit dem Hammer grabbar.

### **6.43 Transekt 6 – Profil 140**

Profil 140 liegt auf dem südostexponierten Außenhang der dritten Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca auf 933 m ü. M. (UTM: 30 T 700145 4725552). Die Profilgrube befindet sich in einer Kiesgrube im Unterhang der Endmoräne, die Hangform ist konvex-konvex.



**Abbildung 176:** Horizontabfolge Profil 140, oberer Teil des Aufschlusses



**Abbildung 177:** Horizontabfolge Profil 140, unterer Teil des Aufschlusses; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung

Das Profil ist zweiteilig gegraben, die obersten 40 cm sind einen Meter versetzt hinter der unteren Profilwand angelegt. Die Horizontabfolge ist Ach/elCck, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till* (Abb. 176 und Abb. 177). Der Oberboden ist wie im 20 m entfernten Profil 141 frei von Primärcarbonat. Im Unterboden ist Sekundärcarbonat ausgefällt, mikritischer Calcit verkittet den Grob- und Feinboden. In den Poren sind Kalkpseudomycelien ausgefällt und sparitischer Calcit säumt die Porenränder. Mit Carbonat verkittete Schluffcutane weisen in dem glazialen Sediment auf eine synsedimentäre oder postsedimentäre Verlagerung von Schluff, auf die Verlagerung folgte die Verkittung mit Sekundärcarbonat. Im primärcarbonathaltigen Skelett ist im Randbereich der Zement herausgelöst, in den dadurch entstandenen Lösungsporen sind braune Eisenausfällungen vorhanden. Der Grobboden im *till* ist parallel zur Fließrichtung des Gletschers eingeregelt.

#### **Ach 0–19 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (8,75 YR 3/4). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm, die Sandkomponente wird von Feinsand dominiert. Das Gefüge ist krümelig. Der Grobbodenanteil aus Kiesen und gerundeten bis kantengerundeten Steinen beträgt 20 %. An der Unterseite und der hangwärtigen Seite des Grobbodens haften Calcitverkrustungen. Die Ausprägung und das Ausmaß der Calcitverkrustungen

nehmen mit der Tiefe zu. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 1,0 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer.

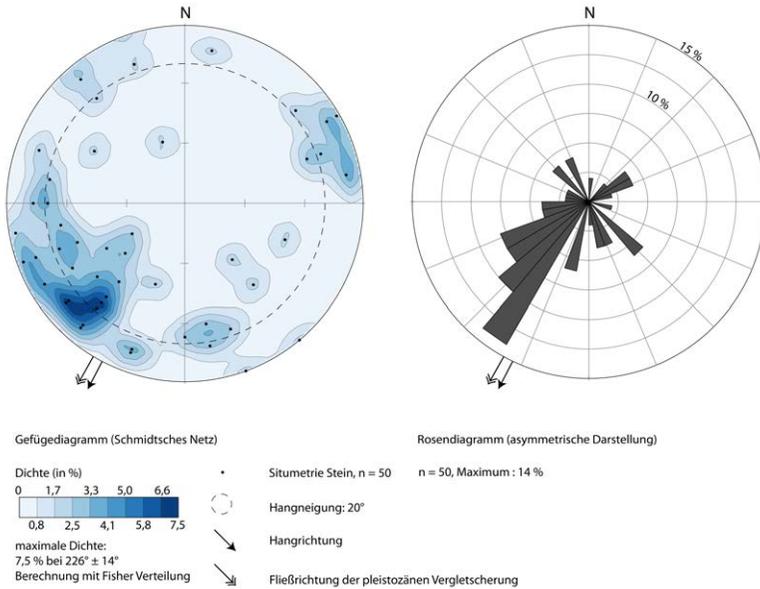
### **elCck 19–200+ cm**

Die Ausfällung von Sekundärcarbonat führt zur Bildung eines Kittgefüges (Abb. 180). Der Horizont ist nur mit dem Schürfhämmer grabbar. Vor allem mit zunehmender Tiefe sind die lagerungsbedingten Zwischenräume des Grobbodens frei von Feinboden. In den Primärporen sind sekundäre Carbonate ausgefällt (Abb. 179). Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer, der im Labor bestimmte  $\text{CaCO}_3$ -Anteil von 7,2 % repräsentiert nur bedingt den bei der Feldansprache festgestellten Carbonatgehalt von mehr als 25 % (mindestens c4). Ursache hierfür ist das Absieben des Feinbodens vor den Laboranalysen, bei der pedogene Verkittungen mit Sekundärcarbonat bei einer Korngröße von mehr als 2 mm verloren gehen. Der Grobbodenanteil beträgt 50 % bis 70 %, die Klasten sind teilweise aufgrund Verwitterung nicht mehr schlagfest.

Obwohl bei der visuellen Einschätzung keine Orientierung des Grobbodens erkennbar war, zeigte dessen anschließend durchgeführte Situmetrie eine deutliche Ausrichtung der Klasten (Abb. 178). Die Fallwinkel der Klasten sind meist größer als der Winkel der Hangneigung. Der Isotropie-Index beträgt 0,24 und der Elongations-Index 0,54, das Skelett weist sehr einheitliche Fallwinkel und eine sehr einheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30). Das Streichen der Klasten nach  $226^\circ$  und das Fallen mit  $14^\circ$  belegten die Orientierung der Klasten parallel zur pleistozänen Gletscherfließrichtung unter einem kleineren Fallwinkel mit  $14^\circ$  als die rezente Hangneigung von  $20^\circ$ . Da der Grobboden zur Messung mit dem Hammer aus dem Kittgefüge befreit werden musste, ist die Einregelung chronologisch vor die Entstehung des Kittgefüges einzuordnen.

Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen die Dominanz der Carbonatdynamik. Die *b-fabric* ist *calcitic crystallitic*. Sekundärcarbonat ist als Mikrit und als isometrischer Sparit mit  $20\ \mu\text{m}$  Durchmesser ausgefällt, isometrisches Sparit säumt die Porenränder runder bis ovaler Poren mit Porendurchmessern zwischen  $100\ \mu\text{m}$  und  $300\ \mu\text{m}$  (Abb. 181 und Abb. 182). Geschichtete Schluffbänder mit Quarz, die mit Calcit ausfällungen fixiert sind, weisen auf eine frühere partikuläre Verlagerung. *Hypocoatings* aus Calcit infiltrieren die Matrix ausgehend von den Poren in den Schluffbändern. In den stärker verzweigten Poren und Rissen sind die Porenränder mit schmutzig graubraunem mikritischen Calcit bedeckt. Unregelmäßige Poren innerhalb des sekundären Mikrits und teilweise vom Mikrit eingeschlossen Quarzkörner in Feinsandgröße weisen auf eine aktive Calciumdynamik in Form von Lösungsverwitterung und lokaler Wiederausfällung. Der Randbereich calcithaltigen Grobbodens ist von chemischer Verwitterung angegriffen, wobei der calcithaltige Zement von Kalksandsteinen herausgelöst wird (Abb. 183 und Abb. 184). Braune Eisenausfällungen im

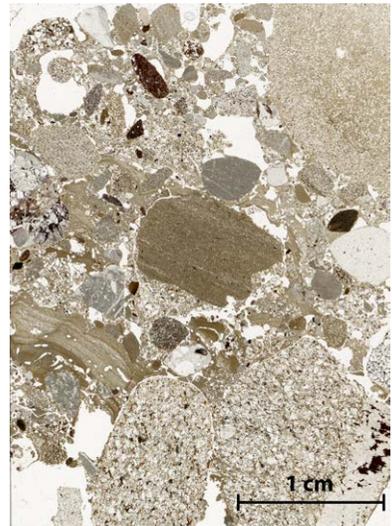
Feinboden und Grobboden belegen eine rezente Eisenoxidation und damit Verbraunungsdynamik. Bei carbonatfreien Gesteinen ist die Verbraunung stärker als bei carbonathaltigen Gesteinen (Abb. 181 und Abb. 182). Die Verbraunung in den calcithaltigen Gesteinen grenzt aber oft direkt an Calcitkristalle an.



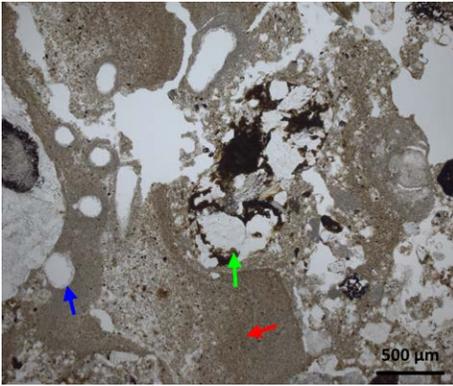
**Abbildung 178:** Situmetrie des Grobbodens Profil 140



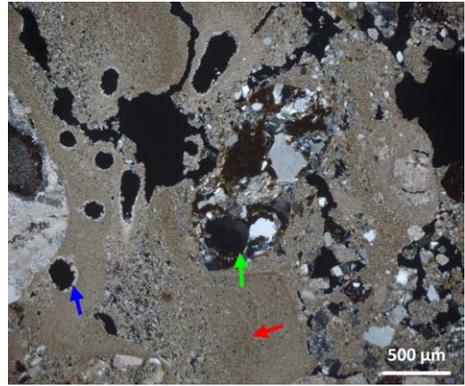
**Abbildung 179:** Profil 140, sekundäre Carbonate im *till*



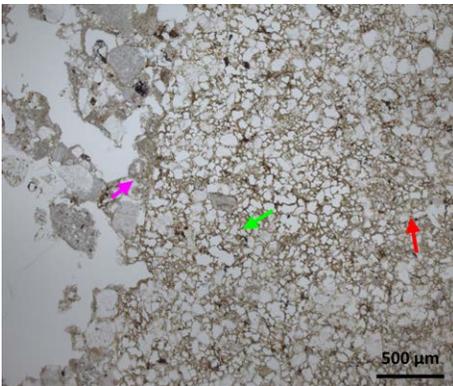
**Abbildung 180:** Übersicht Mikromorphologie Profil 140



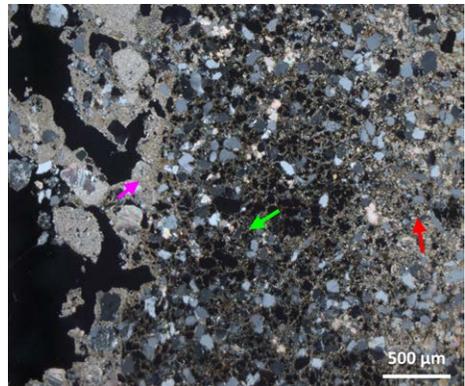
**Abbildung 181:** Sekundärcarbonat und Schluffeintrag (Profil 140, LPL); blauer Pfeil: Drusenbildung in Vesikel durch Calcitausfällung; grüner Pfeil: Verbraunung im Grobsand; roter Pfeil: geschichtete Schluffbänder



**Abbildung 182:** Sekundärcarbonat und Schluffeintrag (Profil 140, GPL); blauer Pfeil: Drusenbildung in Vesikel durch Calcitausfällung; grüner Pfeil: Verbraunung im Grobsand; roter Pfeil: geschichtete Schluffbänder



**Abbildung 183:** Verwitterung im *till* (Profil 140, LPL); pinker Pfeil: mikritisches Calcit; grüner Pfeil: Verwitterungsrinde in Kalksandstein; roter Pfeil: unverwitterter Kalksandstein



**Abbildung 184:** Verwitterung im *till* (Profil 140, GPL); pinker Pfeil: mikritisches Calcit; grüner Pfeil: Verwitterungsrinde in Kalksandstein; roter Pfeil: unverwitterter Kalksandstein

#### 6.44 Transekt 6 – Profil 162

Profil 162 ist im Kulminationsbereich der zweiten Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca angelegt (941 m ü. M., UTM: 30 T 700783 4724430). Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/e/Cc, der Bodentyp ist eine Braunerde aus *till* (Abb. 185). Der verbrauchte Unterboden ist bis in 56 cm unter GOK carbonatfrei, die Farbe des Feinbodens ist ähnlich wie in Profil 142, 164 und 207 weinrot. Trotz der mäßig sauren bis sehr schwach sauren Bodenlösung haften an

der Unterseite des Grobbodens Calcitkrusten, die mit zunehmender Tiefe und steigenden pH-Werten der Bodenlösung deutlicher ausgebildet sind.

#### **Ah 0–6 cm**

Der Feinboden ist sehr dunkel rotgrau bis sehr dunkel braungrau (2,5 YR 3/3 bis 5 YR 3/3). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger Lehm (Abb. 186). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, die Untergrenze des Horizonts ist scharf und eben.

#### **Bv 6–56 cm**

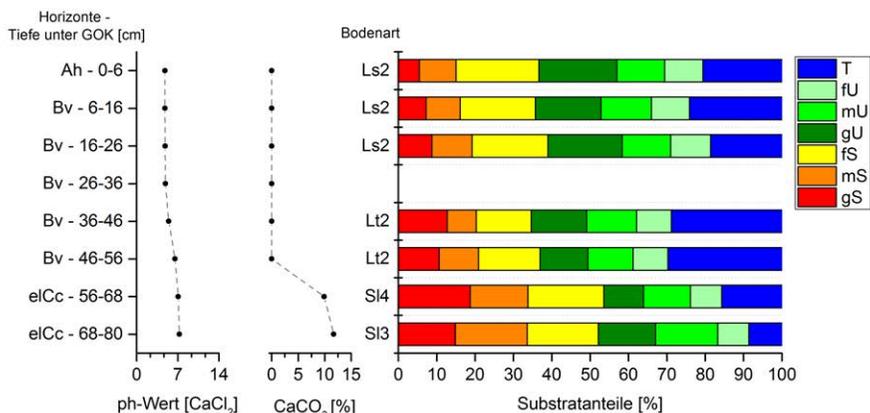
Der Feinboden ist sehr dunkel rotgrau (2,5 YR 3/4) und ähnelt farblich den weinroten Schiefen in der Grobbodenfraktion. Der Feinboden ist im oberen Bereich des Horizonts ein schwach sandiger Lehm und in der unteren Hälfte ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist zwischen 6 cm und 16 cm unter GOK mäßig sauer und steigt zur Basis des Horizonts kontinuierlich auf sehr schwach sauer. Calcitanhaftungen an der Unterseite des Grobbodens sind vor allem im oberen Teil des Horizonts nur schwach ausgeprägt und auf Steine beschränkt. Die Farbe der Calcitkrusten ist schmutzig braungelb. An der Basis des Horizonts sind die Calcitausfällungen am Grobboden ausgeprägter, beschränken sich aber auf die Unterseite der Klasten. Der Grobbodenanteil beträgt 30 %, Feinkies und Feingrus dominieren. Der *till* ist diamiktisch, die Klasten sind kantig bis stark gerundet. Die Lithologie der Klasten besteht aus Kalksandsteinen, Kalksteinen, weinroten Schiefen und Konglomeraten. Die Untergrenze des Horizonts ist diffus und taschenförmig.

#### **e1Cc 56–80+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (2,5 YR 3/3). Die Textur des Feinbodens ist ein stark lehmiger bzw. lehmiger Sand. Das Gefüge ist ein Einzelkorngefüge bis Subpolyederggefüge. Der Horizont ist aufgrund einer kompakten Lagerung deutlich schwieriger grabbar als der hangende Horizont. Der Feinboden enthält 9,9 % und 11,7 %  $\text{CaCO}_3$ , die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch.



**Abbildung 185:** Horizontabfolge Profil 162



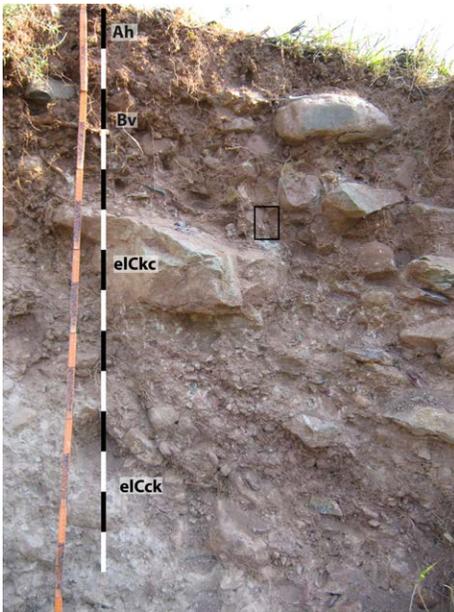
**Abbildung 186:** Laborergebnisse Profil 162

### 6.45 Transekt 6 – Profil 164

Profil 164 ist am Südhang der zweiten Endmoräne, 120 m südlich von Profil 162 und oberhalb des Eisenbahntunnels gegraben (916 m ü. M., UTM: 30 T 700793 4724313). Das Profil befindet sich im Unterhang, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt 10°. Das Profil ist 160 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht. Um das Profil ragen Großblöcke aus dem Hang heraus. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/e/CkC/e/Cck, der Bodentyp ist eine Braunerde aus *till* mit einer rezenten Ausfällung sekundärer Carbonate im Unterboden (Abb. 187). Der entcarbonatisierte Unterboden hat wie in den Profilen 142, 162 und 207 eine weinrote Farbe. Der Grobboden und Feinboden im Verbraunungshorizont ist stark verwittert, in den Lösungsporen des Grobbodens und im Porenraum der Matrix sind schwach ausgeprägte Toncutane. Sternporen, *granostriations* und *slickensides* weisen auf Turbation oder Umlagerung. Das Skelett im *till* ist in die mit der rezenten Hangexposition zusammenfallende Fließrichtung des pleistozänen Gletschers eingeregelt. Zwischen einer solifluidal induzierten oder glazial induzierten Einregelung kann nicht differenziert werden.

#### Ah 0–8 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel braungrau (5 YR 4/3). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer (Abb. 190). Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm, die Untergrenze des Horizonts ist diffus und gerade. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 20 % und besteht größtenteils aus Kies und Grus, wobei Feinkies und Feingrus dominieren. Der Fe<sub>T</sub>-Gehalt beträgt 40 685 mgkg<sup>-1</sup>, der



**Abbildung 187:** Horizontabfolge Profil 164; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffprobe



**Abbildung 188:** Übersicht Mikromorphologie Profil 164, 48–53 cm unter GOK

Gehalt an Goethit/Hämatit  $17\,993\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $1008\text{ mgkg}^{-1}$ .

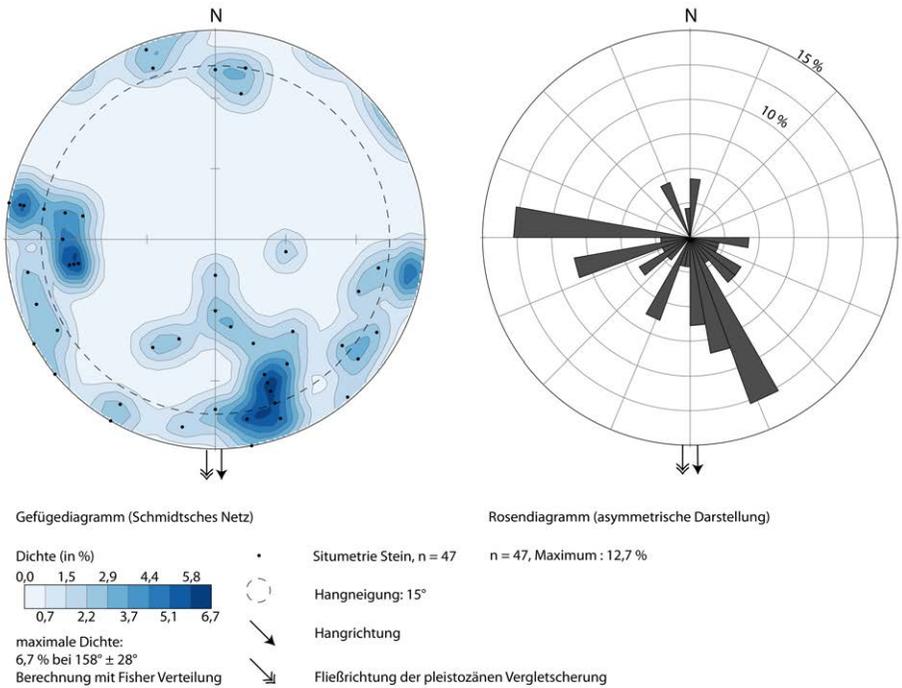
### **Bv 8–36 cm**

Der Feinboden ist sehr dunkel rotgrau bis sehr dunkel braungrau (2,5 YR 3/3 bis 5 YR 3/3). Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und kippt nach rechts. Aufgrund des hohen Skelettanteils ist die Untergrenze taschenförmig. Die Tongehalte des Feinbodens nehmen mit der Tiefe um 6 % zu, die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bis toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch, die Flächen der Aggregate glänzen. Der Feinboden ist zwischen 8 cm und 26 cm carbonatfrei, an der Basis des Horizonts beträgt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil 0,3 %. Oberhalb des Großblocks links im Profil ist der Feinboden innerhalb eines etwa 3 cm mächtigen Bereichs carbonathaltig. Die Bodenlösung ist schwach sauer bis neutral. An der Basis des Horizonts sind an der Unterseite des Grobbodens schwach ausgeprägte Calcitkrusten vorhanden. Der Grobbodenanteil beträgt 40 %. Der Grobboden besteht aus weinroten Schiefern und Kalksandsteinen in der Kornfraktion Kies, Grus, kantig bis stark gerundeten Steinen und Blöcken. Die Gehalte an  $\text{Fe}_T$  betragen  $44\,254\text{ mgkg}^{-1}$  bis  $50\,782\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte von Goethit/Hämatit liegen zwischen  $20\,908\text{ mgkg}^{-1}$  und  $23\,074\text{ mgkg}^{-1}$ , das Maximum wird an der Basis des Horizonts erreicht. Die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit schwankt zwischen  $1297\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1384\text{ mgkg}^{-1}$ .

Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen eine starke Verwitterung des Grobbodens und Grobsands mit vielen Lösungsporen (Abb. 191 und Abb. 192). Braune Flecken in den Lösungsporen und in der Matrix weisen auf eine aktive Verbraunung durch Eisenoxidation. In den Lösungsporen von Grobboden sind dünne Toncutane mit Feinschluffbeimengungen identifizierbar. Die Toncutane sind meist 10 µm bis 15 µm mächtig und haben scharfe Auslöschungen bei gekreuzter Polarisation. Im rezenten Porenraum können nur sehr wenige Toncutane nachgewiesen werden, sodass der bei der Profilsprache vorgefundene Glanz der Aggregate nicht auf Lessivierung zurückzuführen ist. In der Matrix wurden keine Toncutanfragmente vorgefunden, aber häufig sind Fragmente von Holzkohlen mit Durchmessern von 200 µm bis 600 µm zu sehen. Das  $c_{50-120 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *double-spaced porphyric* bis *open porphyric*. Um Grobboden, Grobsand und Mittelsand ist das umgebende tonige Substrat der Matrix parallel zu den gröberen Komponenten ausgerichtet (*granostriated b-fabric*), was auf eine gemeinsame Umlagerung tonigen Substrats mit den gröberen Fraktionen hinweist (Abb. 193 bis Abb. 198). *Slickensides* in der Matrix (*monostriated b-fabric*) und Sternporen kennzeichnen ebenfalls eine intensive Durchmischung oder Umlagerung. Der tonige Feinboden zwischen plattigen Grobbodenkomponenten zeigt eine deutliche Orientierung parallel zur Längsachse des Grobbodens, die durch Scherung verursacht wurde.

### **eICkC 36–100 cm**

Die rötliche Farbe des Feinbodens ist wie im hangenden Horizont wegen der Ausfällung sekundärer Carbonate grau, allerdings stärker grau als darüber. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt zwischen 36 cm und 46 cm unter GOK 7,1 % und steigt zur Basis des Horizonts auf 25,1 % an. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Feinboden ist zwischen 36 cm und 46 cm unter GOK ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist ein Subpolyedergefüge bis Kittgefüge (Abb. 188). Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und nach rechts gekippt. Der Grobbodenanteil schwankt zwischen 50 % und 70 %, in einigen Teilen des Horizonts haften an der Unterseite des Grobbodens Calcitkrusten, deren Ausprägung und Ausmaß mit der Tiefe zunehmen. Zur Basis des Horizonts ist der Grobboden ganzseitig mit Calcit verkrustet. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt zwischen 36 cm und 46 cm unter GOK  $44\,014 \text{ mgkg}^{-1}$  und nimmt sprunghaft mit  $38\,725 \text{ mgkg}^{-1}$  zwischen 46 cm und 56 cm ab. Mit zunehmender Tiefe sinken die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte kontinuierlich auf  $29\,131 \text{ mgkg}^{-1}$  an der Basis des Horizontes. Die Abnahme der  $\text{Fe}_T$ -Gehalte ist dem umgekehrt steigenden Carbonatanteil geschuldet, die unterhalb von 36 cm unter GOK sinkenden  $\text{Fe}_T$ -Gehalte zeigen keine Schichtwechsel oder Verlagerungsprozesse von Eisen in gelöster oder partikulärer Form an. Im Gegensatz dazu weisen die von der GOK bis in 26 cm Tiefe zunehmenden  $\text{Fe}_T$ -Gehalte auf eine partikuläre oder gelöste Verlagerung von Eisen. Die Gehalte an Goethit/Hämatit erreichen im Horizont das Maximum mit  $18\,925 \text{ mgkg}^{-1}$  zwischen 36 cm bis 46 cm. An der Basis des



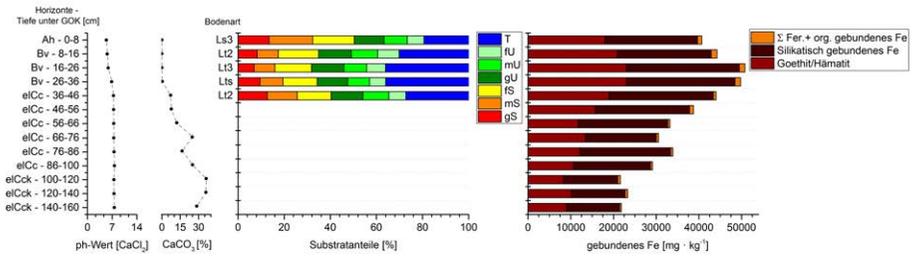
**Abbildung 189:** Situmetrie des Grobbodens Profil 164, 20–80 cm unter GOK

Horizonts betragen die Gehalte an Goethit/Hämatit  $10\,625\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Summe von organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit schwankt im Horizont zwischen  $473\text{ mgkg}^{-1}$  und  $927\text{ mgkg}^{-1}$ .

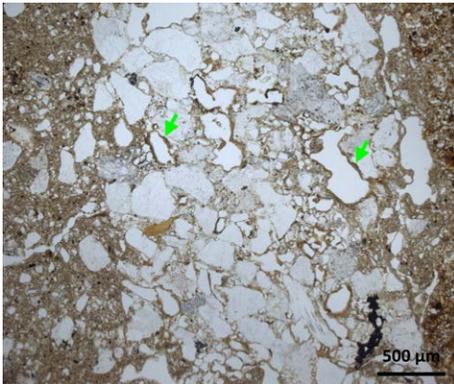
Die Situmetrie des Grobbodens belegt eine Ausrichtung der Klasten in Richtung der pleistozänen Fließrichtung des Gletschers, die mit der rezenten Hangrichtung zusammenfällt (Abb. 189). Die Fallwinkel der Klasten sind meist größer als die Winkel der Hangneigung. Der Isotropie-Index beträgt 0,29 und der Elongations-Index 0,24, das Skelett weist damit einheitliche Fallwinkel und eine eher uneinheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30).

### eICck 100–160+ cm

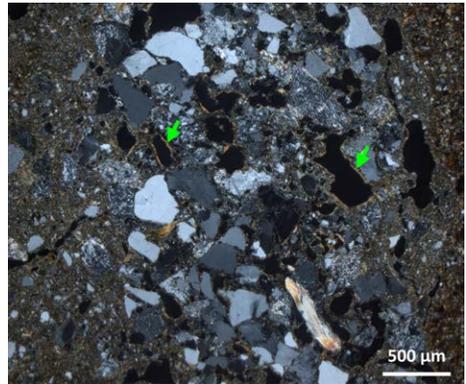
Die Farbe des Feinbodens ist von der Ausfällung sekundärer Carbonate dominiert, weswegen grau überwiegt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 28,5 % bis 36,2 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die Ausfällung der Carbonate führt zu einem Kittgefüge, das Profil ist nur mit dem Hammer grabbar. Der Grobbodenanteil beträgt 50 % bis 70 %. Die Gehalte von  $\text{Fe}_T$  liegen zwischen  $21\,603\text{ mgkg}^{-1}$  und  $23\,315\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte von Goethit/Hämatit schwanken zwischen  $8308\text{ mgkg}^{-1}$  und  $10\,118\text{ mgkg}^{-1}$ , die Summe von organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit nimmt im Horizont zur Basis von  $615\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $403\text{ mgkg}^{-1}$  ab.



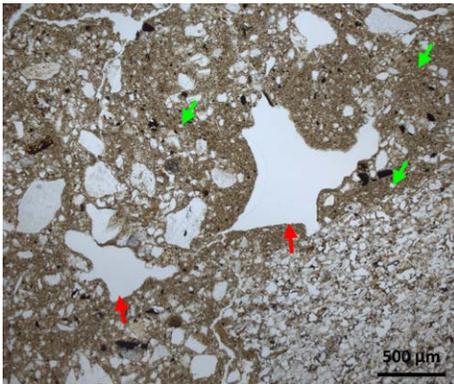
**Abbildung 190:** Laborergebnisse Profil 164



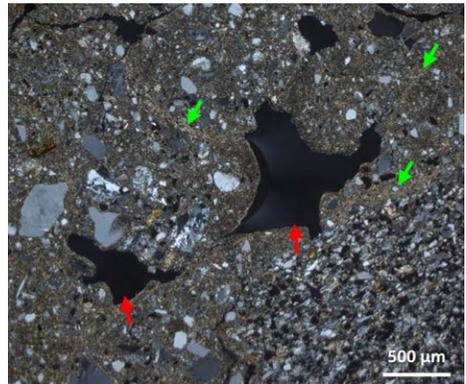
**Abbildung 191:** Toncutane in Lösungsporen von Sandstein (Profil 164, LPL); grüner Pfeil: Toncutane



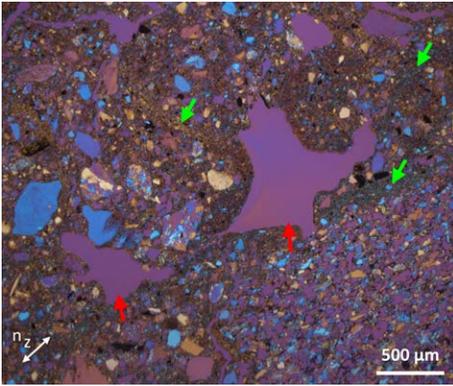
**Abbildung 192:** Toncutane in Lösungsporen von Sandstein (Profil 164, GPL); grüner Pfeil: Toncutane



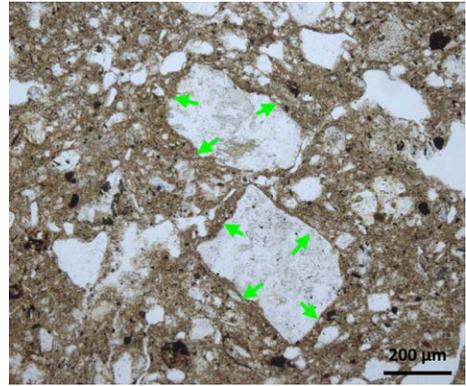
**Abbildung 193:** Sternporen (Profil 164, LPL); grüner Pfeil: *slickenside*; roter Pfeil: Sternpore



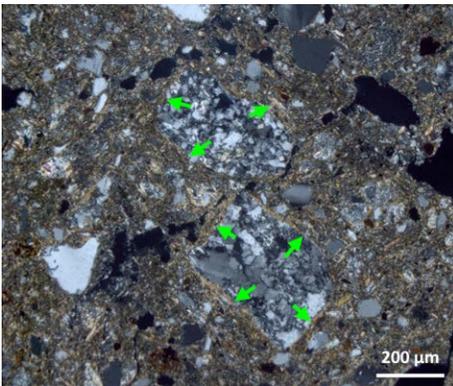
**Abbildung 194:** Sternporen (Profil 164, GPL); grüner Pfeil: *slickenside*; roter Pfeil: Sternpore



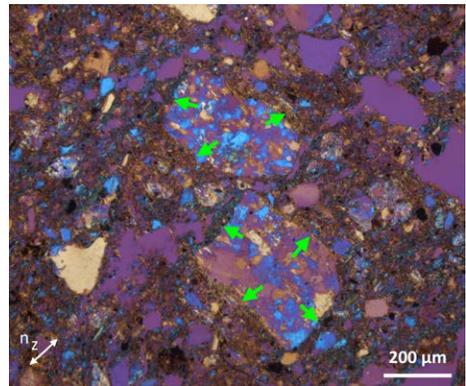
**Abbildung 195:** Sternporen (Profil 164, GPL+Lambda); grüner Pfeil: slickenside; roter Pfeil: Sternpore



**Abbildung 196:** Granostriations um Mittelsand (Profil 164, LPL); grüner Pfeil: Granostriation



**Abbildung 197:** Granostriations um Mittelsand (Profil 164, GPL); grüner Pfeil: Granostriation



**Abbildung 198:** Granostriations um Mittelsand (Profil 164, GPL+Lambda); grüner Pfeil: Granostriation

## 6.46 Transekt 6 – Profil 205

Profil 205 ist auf der südlichsten Endmoräne im Aragón-Tal auf 941 m ü. M. angelegt (UTM: 30 T 700766 4723244). Die Basis der Endmoräne liegt auf einer Terrasse aus glazifluvialen Schottern. Die Endmoräne befindet sich am Nordende der Terrasse, die Terrasse begleitet über zwei Kilometer in südlicher Richtung den Aragón. Die Terrasse ist 100 m bis 200 m breit, das Terrassenniveau befindet sich 60 m über dem rezenten Flusslauf des Aragóns. Das Südende der Terrasse wird in Transekt 5 behandelt. Der Kulminationsbereich der Endmoräne liegt etwa 14 m über dem Niveau der Terrasse. Auf der Endmoräne liegen Großblöcke allochthoner Konglomerate mit Kantenlängen bis zu 4 m. Die Endmoräne ist konvex-konvex.

Das Profil ist im Oberhang direkt unter dem Kulminationsbereich der Endmoräne auf der Nordseite angelegt. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv/Bcv/elCc, der Bodentyp ist eine Braunerde mit Kalkpseudomycelien und einem Kittgefüge aus sekundären Carbonaten an der Basis (Abb. 199).

#### Ah 0–6 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4), das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer (Abb. 200). Der Grobbodenanteil beträgt 5 %.

#### Bv 6–50 cm und Bcv 50–60 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (7,5 YR 3/3 bis 3/4). Das Gefüge ist polyedrisch. Der Horizont ist zwischen 6 cm und 50 cm unter GOK carbonatfrei und mäßig bis sehr schwach sauer. Zwischen 50 cm und 60 cm unter GOK enthält der Feinboden 0,4 %  $\text{CaCO}_3$  und die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Die Carbonate sind sekundären Ursprungs. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % bis 15 %, das Skelett ist teilweise stark verwittert und nicht mehr schlagfest.

#### elCc 60–90+ cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4,5). Sekundärcarbonate sind als Calcitkrusten an der Unterseite von Grobboden und im Feinboden als Kalkpseudomycelien ausgefällt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 6,1 % und an der Basis des Profils 17,9 %, die Bodenlösung ist schwach sauer bis sehr schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %. Der Grobboden ist diamiktisch, wobei Grus quantitativ über Kies und Steinen dominiert.

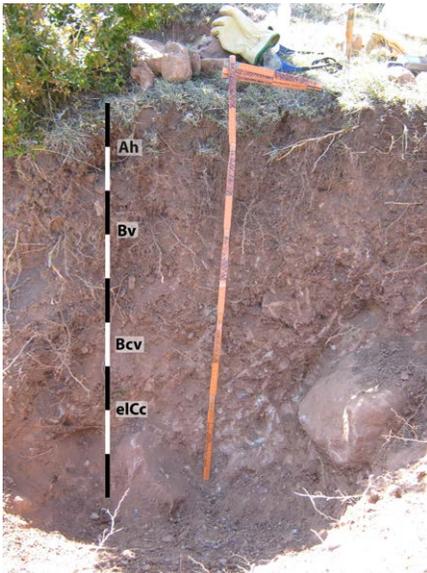


Abbildung 199: Horizontabfolge Profil 205

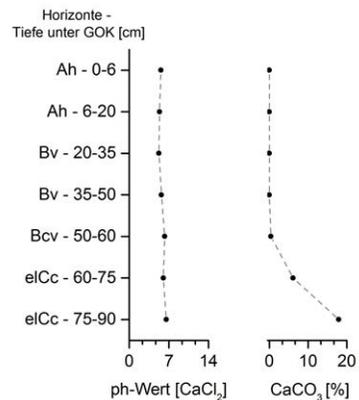


Abbildung 200: Laborergebnisse Profil 205

## 6.47 Transekt 6 – Profil 206

Profil 206 befindet sich auf der glazifluvialen Terrasse im Neubaugebiet von Castiello de Jaca (917 m ü. M., UTM: 30 T 700772 4722731). Die Horizont-abfolge ist eAch/eMc/II fBvt°Cc oder eAch/elCc/ II fBvt°Cc (Abb. 201), der Bodentyp ist ein Kolluvisol bzw. eine Pararendzina aus carbonathaltigem und grobbodenführendem Substrat über einem fossilen Illuvialhorizont einer gekappten Parabraunerde in glazifluvialem Sediment. Die Fazies des hangenden Sediments konnte nicht eindeutig geklärt werden. Die in der hangenden Schicht vorhandenen Holzkohlen, tonscherbenähnliche Fragmente und die direkte Nähe zum Dorf Castiello de Jaca machen eine jüngere kolluviale Verlagerung des Sediments wahrscheinlich, während die Größe des Skeletts an der Basis der hangenden Schicht eher auf

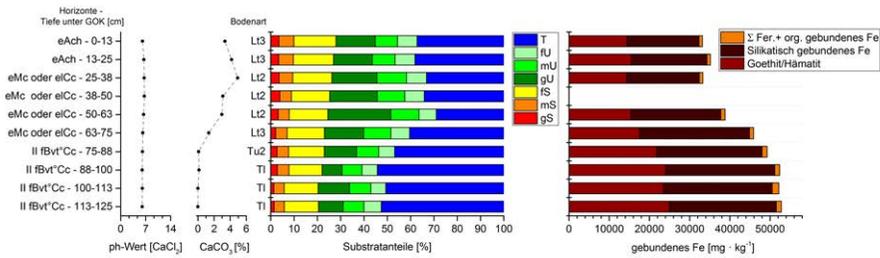


Abbildung 201: Horizontabfolge Profil 206

eine periglaziale Verlagerung schließen lässt. In der hangenden Schicht haften die Calcitkrusten nur an der Unterseite des Grobbodens, während in den Kolluvien von Profil 225 und Profil 229 teilweise nur die Oberseite des Grobbodens mit Calcitkrusten bedeckt ist. Während der Feinboden im hangenden Sediment sowohl Primär- als auch Sekundärcarbonat enthält, ist das liegende fluviale Sediment frei von Primärcarbonat und Sekundärcarbonat nur an der Obergrenze in Form weißer Konkretionen ausgefällt. Darunter ist das Liegende carbonatfrei und von Lessivierung und Verbraunung geprägt. Die Untersuchung der Tonminerale mittels Röntgendiffraktion zeigt für das Hangende und Liegende eine ähnliche Mineralogie der Tonfraktion, die von Illit und Übergangsmineralen dominiert wird.

### eAch 0–25 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (7,5 YR 3/2). Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm (Abb. 202). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 3,4 % und 4,2 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Das Carbonat liegt als Primärcarbonat im Feingrus und als Sekundärcarbonat in Form pudriger weißer Flecken vor. Der Grobbodenanteil beträgt 7 %, der Grobboden besteht aus plattigem Flysch, die Körnung ist Grus. An der Unterseite der Klasten haften Calcitkrusten. Die



**Abbildung 202:** Laborergebnisse Profil 206

Klasten sind nach visueller Einschätzung oberflächenparallel eingeregelt. Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen  $33\,178\text{ mgkg}^{-1}$  und  $35\,187\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $14\,382\text{ mgkg}^{-1}$  und  $15\,493\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem betragen  $860\text{ mgkg}^{-1}$  und  $897\text{ mgkg}^{-1}$ .

### eMc oder eCc 25–75 cm

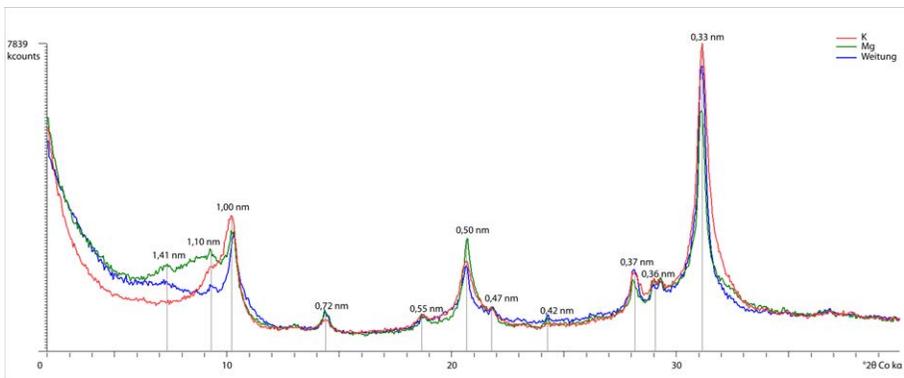
Der Feinboden ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Die Untergrenze der Schicht ist scharf und eben. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bzw. toniger Lehm an der Basis des Kolluviums. Das Gefüge ist polyedrisch. Der Feinboden ist reich an Holzkohleflittern. Der  $CaCO_3$ -Anteil im Feinboden beträgt zwischen 25 cm und 38 cm unter GOK 4,9 % und nimmt zur Basis des Kolluviums kontinuierlich auf 1,3 % ab. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Die  $Fe_T$ -Gehalte nehmen im Kolluvium von  $33\,284\text{ mgkg}^{-1}$  zur Basis auf  $45\,919\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Gehalte an Goethit/Hämatit steigen ebenfalls mit der Tiefe von  $14\,317\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $17\,543\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen betragen zwischen  $882\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1017\text{ mgkg}^{-1}$ . Poröse rote mineralische Fragmente mit Durchmessern zwischen 5 mm und 15 mm wurden bei der Profilansprache mehrfach im Kolluvium gefunden. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, nach visueller Einschätzung ist der Grobboden hangparallel orientiert und horizontal geschichtet. Die Basis des Kolluviums bilden kantige Steine bis Großblöcke. Der Grobboden im Kolluvium besteht aus parautochthonem Flysch und allochthonen Konglomeraten.

Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion weist mit dem breiten Spektrum von 1,4 nm bis 1,0 nm im Magnesiumpräparat auf die Präsenz von Übergangsmineralen (Abb. 203). Bei der Belegung mit Ethylenglykol zeigt das Präparat keine Reaktion und die Belegung mit Kalium führt zu den für Illit charakteristischen Intensitäten (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm). Der Horizont enthält neben Quarz (0,43 nm und 0,30 nm) triklinen Muskovit (0,97 nm, 0,50 nm und 0,33 nm) und Kaolinit (0,72 nm und 0,36 nm).

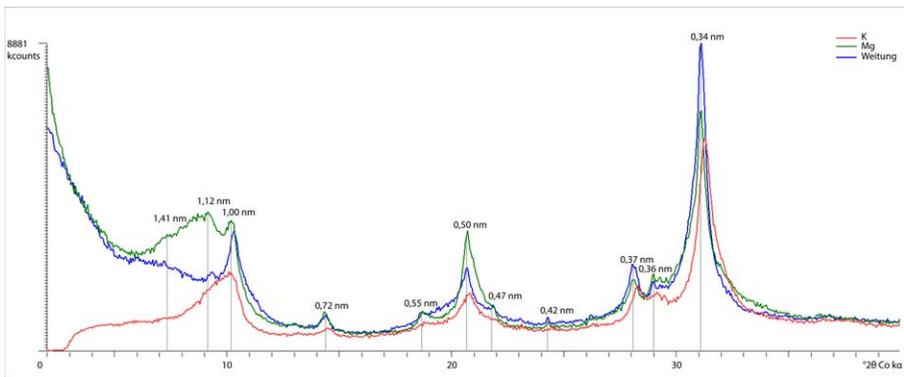
## II fBvt° Cc 75–125+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Der Feinboden ist ein schwach schluffiger bzw. lehmiger Ton. Das Gefüge ist polyedrisch. Toncutane bedecken die Aggregate und den Grobboden. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 0,1 % zwischen 75 cm und 100 cm unter GOK, darunter ist der Feinboden carbonatfrei. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Der geringe Calcitanteil im Feinboden besteht aus Sekundärcarbonat in Form 1 mm großer Konkretionen. Der Grobbodenanteil liegt zwischen 15 % und 20 %, der Grobboden besteht aus Kiesen und gerundeten Steinen. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden nicht eingeregelt. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen zwischen  $49\,289\text{ mgkg}^{-1}$  und  $52\,801\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $21\,807\text{ mgkg}^{-1}$  bis  $24\,968\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $1205\text{ mgkg}^{-1}$  bis  $1620\text{ mgkg}^{-1}$ .

Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion zwischen 88 cm und 100 cm unter GOK zeigt im Vergleich zum hangenden Sediment außer dem deutlicheren Spektrum zwischen 1,4 nm bis 1,0 nm im Magnesiumpräparat eine ähnliche Mineralogie der Tonfraktion, die ebenfalls von Illit und Übergangsmaterialen dominiert wird (Abb. 204).



**Abbildung 203:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 63–75 cm unter GOK



**Abbildung 204:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 88–100 cm unter GOK

## 6.48 Synthese Transekt 7

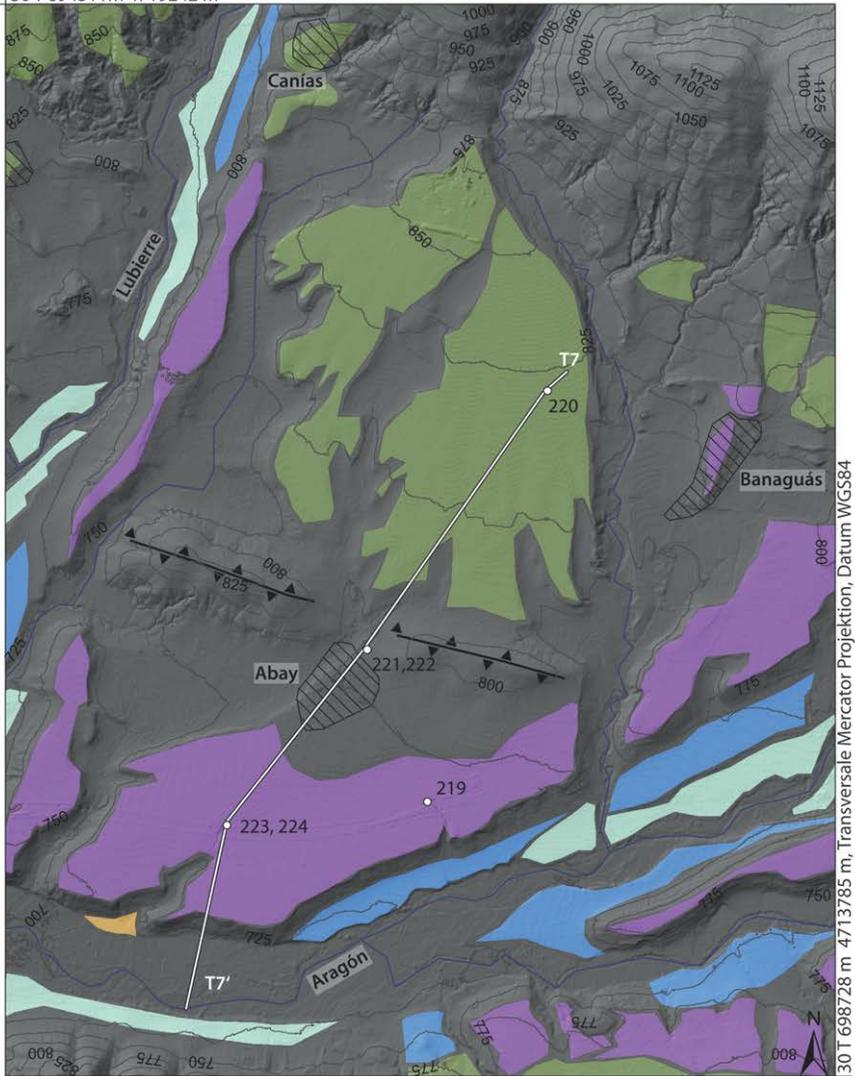
Transekt 7 ist im West-Ost-streichenden Jaca-Becken im pleistozänen Extraglazialraum angelegt (Abb. 18, Abb. 205 und Abb. 206). Die im Süden des Transekts aufgeschlossenen Terrassen sind rißzeitlich, der West-Ost-streichende Schichtkamm trennt die Terrasse von dem nördlich gelegenen Glacis. Die Befunde weisen auf eine eemzeitliche Bodenentwicklung in Form von Lessivierung auf der rißzeitlichen Terrasse. Während des Würms wurde der Illuvialhorizont unter periglazialen Bedingungen mit den liegenden Schottern durchmischt. Die rezente Lessivierung auf der Terrasse und dem Glacis findet in einem während des Würm-Glazials erneut angewehten Löss statt. Der parautochthone Schutt des Glacis ist gemäß Befundinterpretation solifluidal entstanden und kennzeichnet damit periglaziale Bedingungen.

- Auf dem Glacis nördlich des Schichtkamms liegt eine Basislage aus plattigem parautochthonem Skelett mit einer hangparallelen Orientierung der Längsachsen über dem anstehenden Fels (Profil 220). Die Schichtfolge wird im Hangenden von einem grobbodenarmen Sediment mit einem hohen Feinsand- und Grobschluffanteil abgeschlossen. Aufgrund der Textur und des allochthonen Charakters wird das hangende Sediment als Löss bzw. Hauptlage interpretiert. Südlich des Schichtkamms liegen die fluvialen Schotter der 50-m-Terrasse über dem Anstehenden (Profile 223 und 224). Die Schichtfolge wird im Hangenden ebenfalls von einem Löss bzw. einer Hauptlage abgeschlossen, mikromorphologisch vorgefundene Pedorelikte weisen auf eine kolluviale Umlagerung des Lösses bzw. der Hauptlage (Profil 224). Am Hangfuß des Schichtkamms überdecken Kolluvien den anstehenden Mergel und die fluvialen Sedimente (Profile 221 und 222).
- Mikromorphologisch vorgefundene *anorthic/disorthic nodules* aus verbrauntem Feinboden in den obersten Dezimetern des Schotterpakets belegen eine Turbation bzw. turbative Störungen pedogenen Materials (Profil 224). Aufgrund des Grobbodenanteils wird eine anthropogen induzierte kolluviale Umlagerung für die Genese der *anorthic/disorthic nodules* ausgeschlossen. Vielmehr wird auf eine krypturbate Aufarbeitung eines eemzeitlichen Illuvialhorizonts im Sinne einer Mittellage geschlossen. Die sparitischen Calcitkristalle, die an der Unterseite des Skeletts Calcitkrusten bilden, deuten ebenfalls auf eine periglaziale Prägung.
- Im Löss bzw. den Hauptlagen sind sowohl nördlich als auch südlich des Schichtkamms Parabraunerden entwickelt, die von einer schichtübergreifenden Tonverlagerung aus dem grobbodenfreien Hangenden in die liegenden grobbodenreichen und carbonathaltigen Sedimente gekennzeichnet sind. Die rote Farbe des Feinbodens

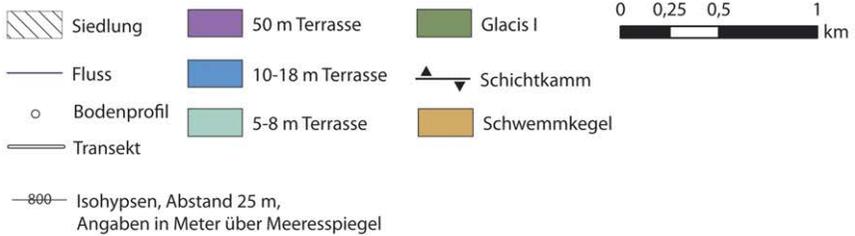
zeugt von Rubefizierung. Der Illuvialhorizont hat auf dem Glacis eine Mächtigkeit von etwa 4 dm, wobei er carbonathaltig ist. Die Carbonate sind als Primärcarbonat im Feinboden und als Sekundärcarbonat auf den Toncutanen ausgefällt. Damit ist ein dynamisches Prozessgefüge zwischen Lessivierung und Sekundärcarbonatausfällung belegt. Beide Prozesse lassen sich innerhalb eines Horizonts nicht zwingend gegenseitig ausschließen. Im primärcarbonathaltigen Feinboden der Profile 221 und 222 weisen Phytolithe aus Calciumoxalat und Rhizolithe auf eine biogene Calciumumlagerung.

- Die Mächtigkeit des Illuvialhorizonts beträgt in dem Schotterpaket 350 cm bis 400 cm. Die mehrere Meter tief reichende Durchdringung des Schotterpakets mit verlagerbaren Partikeln wird u. a. auf eine hohe Konnektivität der Poren zurückgeführt. Mikromorphologische Untersuchungen am Schotterpaket zeigen, dass die Schotter bei der fluvialen Ablagerung wesentlich ärmer an Feinboden und von einem ausgeprägten Primärporenraum durchzogen waren, der anschließend mit illuvialem Ton verfüllt wurde. Die Toncutane in den fluvialen Sedimenten sind mehrere Millimeter mächtig und haben einen hohen Anteil an Feinton. In Verwitterungsporen des Grobbodens sind ebenfalls Toncutane aus Feinton nachweisbar.
- Mittels Röntgendiffraktion kann sowohl in den carbonathaltigen als auch in den carbonatfreien Substraten Bodenvermikulit nachgewiesen werden (Profile 221, 222 und 224).

30 T 694511 m 4719242 m

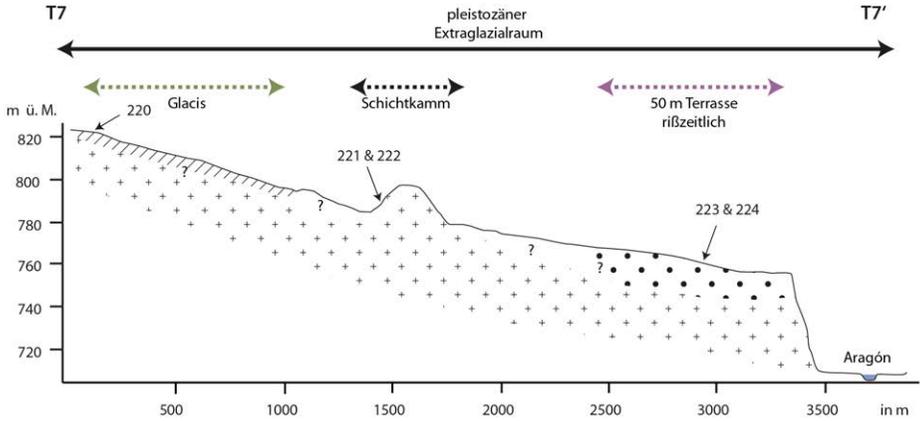


30 T 698728 m 4713785 m, Transversale Mercator Projektion, Datum WGS84

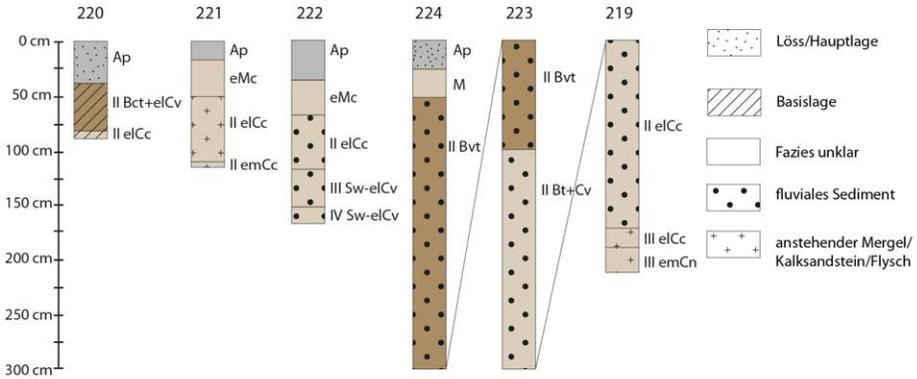


**Abbildung 205:** Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 3 (s.a Beilage 1); Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

### Querprofil Transekt 7



### Böden und Sedimente Transekt 7

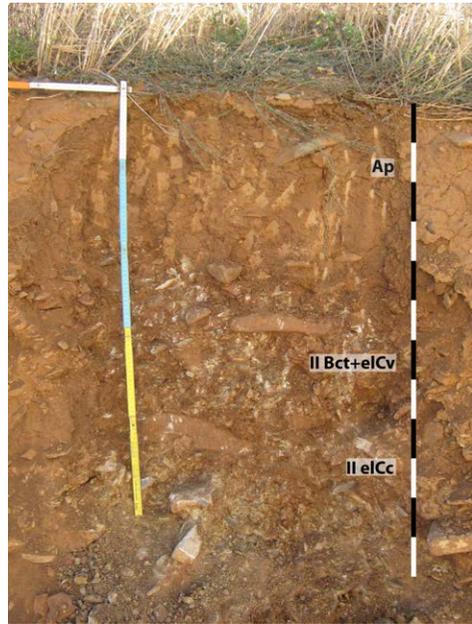


**Abbildung 206:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 7 (s. a. Beilage 1)

### 6.49 Transekt 7 – Profil 220

Profil 220 (UTM: 30 T 697266 4717273, 822 m ü. M.) befindet sich nördlich des Westnordwest-streichenden Schichtkamms, der das Glacis im Norden und die 50-m-Terrasse des Aragón trennt (Abb. 205). Begehungen 200 m östlich des Profils entlang der östlichen Kante des Glacis zeigen, dass die Basis des Glacis von eoziänen Mergeln gebildet wird, auf denen eine mehrere Meter mächtige Schuttdecke aus parautochthonen Klusten liegt. Das Glacis hat im Bereich der Profilgrube 220 eine Hangneigung von 5°, der Hang ist gestreckt-konvex. Das Profil 220 befindet sich auf der Nordseite einer auf einem Getreidefeld angelegten Bau-grube. Das Profil ist 88 cm aufgeschlossen, wobei der anstehende Mergel in der Profilgrube

grube nicht erreicht wurde (Abb. 207). Die Horizontabfolge ist Ap/II Bct+eCv/II eCc, der Bodentyp ist eine Parabraunerde aus Löss mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in eine feinbodenarme Basislage mit solifluidal verlagertem Schutt aus parautochthonem Flysch. Die dachziegelartige Lagerung des Grobbodens der Basislage ähnelt der Lagerung des Skeletts in Profil 110 und Profil 119. Die Tonverlagerung greift in den primärcarbonathaltigen Schotter über, des Weiteren sind Kalkpseudomycelien auf den Toncutanen ausgefällt (Abb. 209), weswegen die, nicht mit der deutschen Bodensystematik konforme Horizontbezeichnung Bct verwendet wird. Die höchsten Gehalte an Goethit/Hämatit und silikatisch gebundenem Eisen werden im



**Abbildung 207:** Horizontabfolge Profil 220

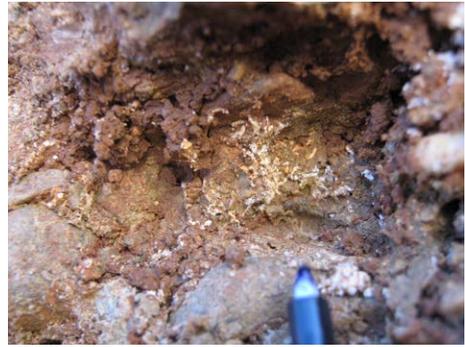
II Bct+eCv erreicht und gehen mit den maximalen Gehalten an Mittel- und Feinton einher. Im carbonatfreien Ap sind keine quellfähigen Tonminerale oder Übergangsmminerale nachweisbar, im carbonathaltigen II Bct+eCv zeigen die röntgendiffraktometrischen Untersuchungen die Präsenz mit Ethylenglykol quellfähiger Tonminerale die bei Kaliumbelegung kontrahieren (Bodenvermikulit).

### Ap 0–38 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkelgraubraun bis dunkelrötlichbraun (5 YR 4/4 bis 4/6). Der Eluvialhorizont ist mittels Pflug aufgearbeitet, aufgrund des niedrigen Anteils an organischer Substanz kann die Untergrenze des Pflughorizonts nicht vom Eluvialhorizont differenziert werden. Die Textur der hangenden Schicht ist ein schwach toniger Lehm, wobei der Grobsandanteil mit weniger als 1 % sehr gering ist (Abb. 210). Feinsand und Grobschluff sind in der hangenden Schicht die dominierenden Unterfraktionen mit in der Summe 48,1 % und 48,2 %. Der Anteil an Feinton beträgt 15,2 % und 16,4 % und die Anteile an Mittelton 9,7 % und 8,9 %. Das Gefüge ist zwischen 0 cm und 5 cm unter GOK plattig (Abb. 208), zwischen 5 cm und 38 cm unter GOK polyedrisch bis kohärent. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden ist 0,6 %. Die Bodenlösung ist schwach bis sehr schwach sauer, der Feinboden ist carbonatarm. Der Grobbodenanteil beträgt weniger als 2 %. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte steigen mit der Tiefe von  $29\,316\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $31\,091\text{ mgkg}^{-1}$  an. Die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen  $13\,142\text{ mgkg}^{-1}$  und  $16\,377\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $1105\text{ mgkg}^{-1}$  und  $741\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 208:** Plattengefüge unterhalb der GOK in Profil 220



**Abbildung 209:** Profil 220, Kalkpseudomycelien an der Obergrenze des II Bct+elCv (Schafbreite des Stiftes 3 mm)

Die Röntgendiffraktion an der Tonfraktion zeigt die Abwesenheit quellfähiger Tonminerale, Illit (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm), Quarz (0,42 nm und 0,33 nm) und Kaolinit (0,71 nm und 0,36 nm) können in der Tonfraktion nachgewiesen werden (Abb. 211).

## II Bct+elCv 35–81 cm

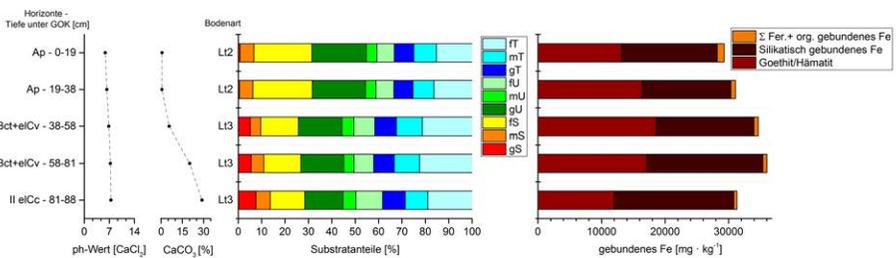
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (5 YR 4/4). Die Textur ist ein mittel toniger Lehm, wobei die Grobsandanteile höher und die Feinsand- und Grobschluffanteile jeweils geringer sind als im Hangenden. Mikroskopische Untersuchungen der Grobsandfraktion zeigen, dass Konkretionen aus Sekundärcarbonaten mit verkittetem Feinmaterial zu einer Erhöhung der Sandanteile führen.

Der Anteil an Feinton beträgt 21,3 % und 22,4 %, die Anteile an Mittelton nehmen von 8,9 % auf 11,1 % zu. Die Tonzunahme im oberen Bereich der liegenden Schicht geht einher mit makroskopisch sichtbaren glatten Toncutanen an Aggregaten und am Grobboden. Kalkpseudomycelien sind zwischen den Aggregaten ausgefällt (Abb. 209). Der Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der Carbonatgehalt der Feinbodenfraktion nimmt vom oberen Bereich des Liegenden zwischen 38 und 58 cm mit 5,7 % auf 20,2 % gegenüber der Basis des Horizonts zu. Die Gehalte an  $\text{Fe}_T$  betragen  $34\,675\text{ mgkg}^{-1}$  und  $36\,025\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit sind  $18\,623\text{ mgkg}^{-1}$  und  $17\,127\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $686\text{ mgkg}^{-1}$  und  $635\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 40 %, das Skelett besteht aus parautochthonen, kantigen und plattigen Kalksteinen und Kalksandsteinen. Nach visueller Abschätzung streichen die Klasten in der liegenden Schicht in Hangrichtung, der Fallwinkel weist, ähnlich wie in Profil 110 und Profil 119, auf ein Fallen der Klasten hangaufwärts.

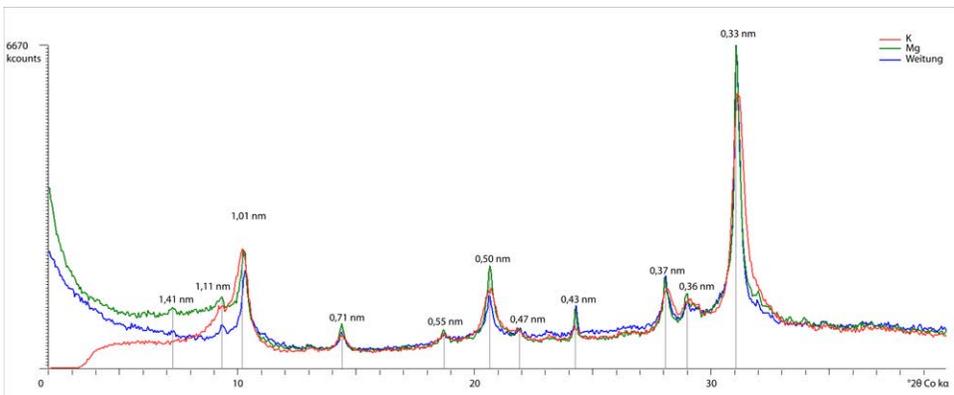
Der II Bct+elCv enthält wie der hangende Pflughorizont Quarz, Illit und Kaolinit (Abb. 212). Das breite Spektrum von 1,10 nm bis 1,42 nm im Magnesiumpräparat weist auf die Präsenz von Übergangsmineralen. Das schwache Maximum bei 1,41 nm im Magnesiumpräparat, die Aufweitung auf 1,71 nm bei der Belegung mit Ethylenglykol und die Abnahme im Kaliumpräparat oberhalb von  $9,5^{\circ}2\theta$  in Verbindung mit dem Anstieg des Illits bei 1,0 nm im Kaliumpräparat deuten auf die Präsenz mit Ethylenglykol quellfähiger Tonminerale, die bei Kaliumbelegung kontrahieren (Bodenvermikulit).

## II elCc 81–88+ cm

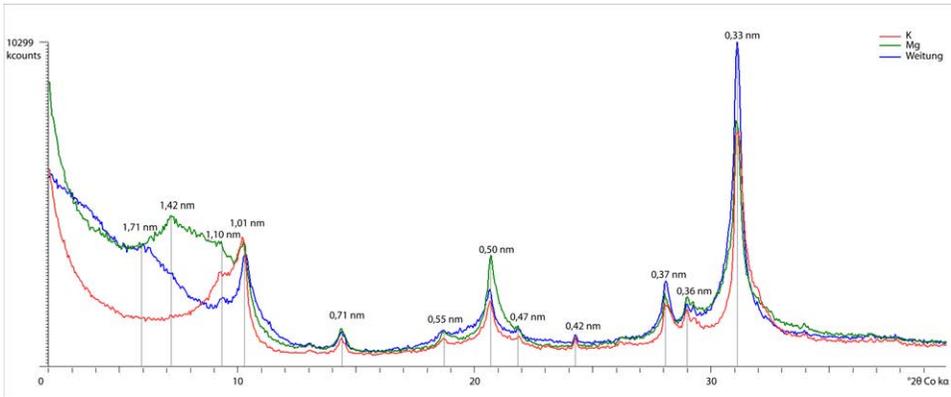
Die Farbe des Feinbodens variiert je nach Feinbodenzusammensetzung und Gehalt an Calciumcarbonat zwischen gelbgrau (2,5 Y 5/4 bis 5/3) und sehr hellgrau (2,5 Y 8/1). Zwischen 81 cm und 88 cm ist der Feinboden noch nicht massiv verkittet. Kalkpseudomycelien unterhalb von Steinen und in Grobporen weisen auf eine sekundäre Calciumverlagerung. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 28,9 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt ist  $31\,319\text{ mg kg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $11\,956\text{ mg kg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $502\text{ mg kg}^{-1}$ . Die Grobbodenmerkmale sind identisch mit denen des Horizonts darüber.



**Abbildung 210:** Laborergebnisse Profil 220



**Abbildung 211:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 220, 0–19 cm unter GOK

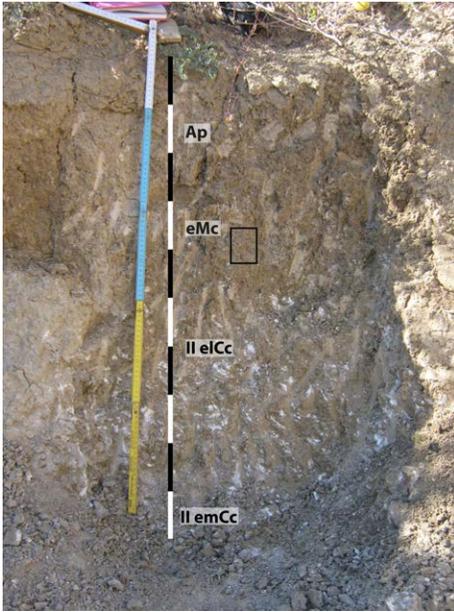


**Abbildung 212:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 220, 58–81 cm unter GOK

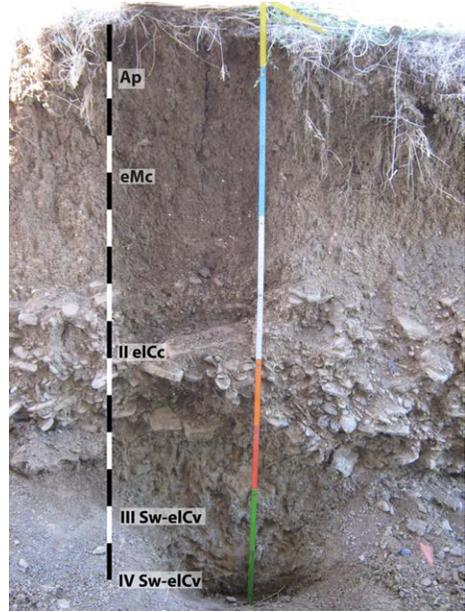
### 6.50 Transekt 7 – Profil 221 und Profil 222

Die Profile 221 (779 m ü. M., UTM: 30 T 696351 4715955) und 222 wurden am Rand einer Baugrube im Norden des Dorfs Abay angelegt. Die beiden Profile liegen am Unterhang des Westnordwest-streichenden Schichtkamms, wobei das Profil 222 etwa 10 m westlich von Profil 221 auf 778 m ü. M. liegt. Der Unterhang ist konkav-konvex, wobei Mergel am Schichtkamm anstehen. Der Schichtkamm wird bei Abay von einem *underfitted river* durchbrochen. Die Fläche um die Profile wurde vor dem Anlegen der Baugrube ackerbaulich genutzt. Die Horizontabfolge in Profil 221 ist Ap/eMc/II eICc/II emCc, der Bodentyp ist ein Kolluvisol über anstehendem Mergel (Abb. 213). Profil 222 hat die Horizontabfolge Ap/eMc/II eICc/III Sw-elCv/IV Sw-elCv, der Bodentyp ist Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat über fluvialen Sedimenten (Abb. 214). Sowohl Profil 221 als auch Profil 222 sind im gesamten Profilaufschluss carbonathaltig und enthalten Primärcarbonat und Sekundärcarbonat. Rhizolithe und Calciumoxalat weisen auf eine biogene Komponente bei der Umlagerung von Calcium. Mikromorphologisch beobachtete Verbraunung und redoximorphe Bedingungen haben zur Auskristallisation von Goethit/Hämatit geführt, die laboranalytischen Untersuchungen der pedogenen Eisenoxide weisen trotz des Carbonatgehalts auf eine in beiden Profilen ausgeprägte Ausfällung von Goethit/Hämatit.

Das Kolluvium in Profil 221 enthält mit Ethylenglykol quellfähige Tonminerale, die bei der Belegung mit Kalium kontrahieren (Bodenvermikulit), in den liegenden Schottern in Profil 222 weiten die Tonminerale mit Ethylenglykol nicht auf, kontrahieren aber bei der Belegung mit Kalium zu Illit, weswegen in Profil 222 ein dem Vermikulit ähnliches Tonmineral vorliegt.



**Abbildung 213:** Horizontabfolge Profil 221; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung



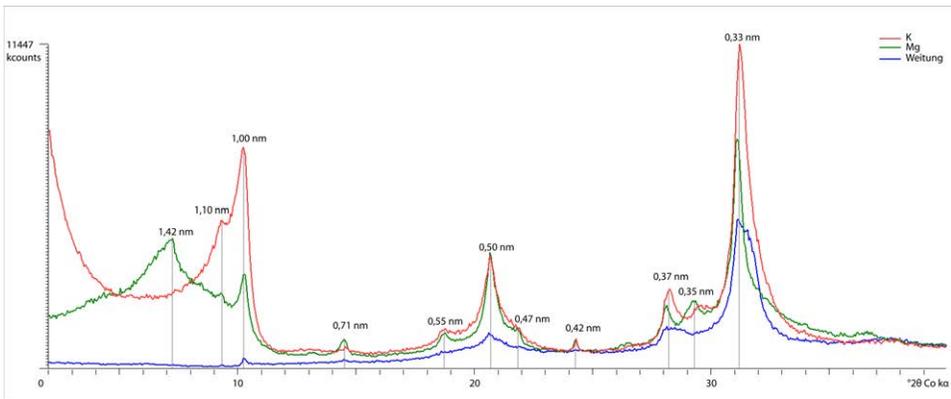
**Abbildung 214:** Horizontabfolge Profil 222

### Profil 221: Ap 0–17 cm

Die Farbe des Feinbodens ist hell graubraun (2,5 Y 4/4). Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm (Abb. 217). Das Gefüge ist zwischen 0 cm und 5 cm unter GOK krümelig, darunter prismatisch bis polyedrisch. Der Horizont ist von vielen Regenwurmgängen durchzogen. Der Feinboden enthält Primärcarbonat und Sekundärcarbonat in Form 1 mm bis 3 mm großer weißer Konkretionen. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 24,4 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $22\,792 \text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $6956 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $353 \text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 2 % und besteht aus plattigem und grusigem Flysch.

### Profil 221: eMc 34–68 cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 5/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein schluffiger Ton bzw. ein schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist prismatisch bis polyedrisch (Abb. 219). Die  $\text{CaCO}_3$ -Anteile sind 18,2 % und 31,4 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Sekundärcarbonate in Form 5 mm bis 6 mm großer Konkretionen und Rhizolithe sind im Feinboden eingebettet. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte rangieren bei  $22\,487 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $22\,559 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit betragen  $7632 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $7659 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $277 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $234 \text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobboden ist wie darüber beschaffen.



**Abbildung 215:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 221, 34–51 cm unter GOK

Die Tonfraktion zeigt mittels der Röntgendiffraktion bei der Belegung mit Magnesium einen Peak bei 1,42 nm (Abb. 215). Das Präparat reagiert mit einer Intensität bei 1,67 nm bei der Belegung mit Ethylenglykol. Bei der Belegung mit Kalium kontrahiert der Bereich zwischen  $2^{\circ}2\Theta$  und  $9^{\circ}2\Theta$ . Die Tonfraktion enthält, ähnlich wie in Profil 220 und Profil 227, ein mit Ethylenglykol quellfähiges und bei der Belegung mit Kalium kontrahierendes Tonmineral (Bodenvermikulit). Weitere Minerale sind Quarz (0,42 nm und 0,33 nm), Illit (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm) und Kaolinit (0,71 nm und 0,35 nm).

Das  $c_{50-70\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *open porphyric*, wobei Quarzkörner und Calcitkristalle in Feinsand bis Grobschluffgröße in der Matrix eingeschlossen sind. Calcit dominiert in der Ton-, Feinschluff- und Mittelschluffraktion, die *b-fabric* ist *calcitic crystallitic*. Sekundärcarbonat ist in Form von Rhizolithen und Schneckenhäusern im Feinboden vorhanden (Abb. 220 & Abb. 221). Biogene Phytolithe aus Calciumoxalat finden sich in der Rinde abgestorbener Wurzeln (Abb. 224 & Abb. 225). Sternförmige Poren weisen auf eine intensive Turbation oder Verlagerung des Bodens (Abb. 222 & Abb. 223). Pedogene Eisenausfällungen sind nachweisbar als *hypocoatings* mit scharfen Außengrenzen um runde Poren (Abb. 222) und kirschrote rhomboedrische oder kirschrote traubige Kristalle oder braune nadelförmige Kristalle in von Verwitterung angegriffenen Mineralen und Muschelschalen.

### **Profil 221: II e1Cc 68–110 cm und II emCc 110+ cm**

Der liegende Mergel ist sehr hellgrau (2,5 Y 8/1), wobei die primäre Gesteinsstruktur noch erkennbar ist. Der Mergel wird von vielen Regenwurmgingen und Wohnhöhlen mit Regenwurmkot durchzogen. Calciumcarbonat ist in Form weißer pulvriger Flecken und als Calcitkonkretionen mit 5 mm Durchmesser ausgefällt. Die  $\text{CaCO}_3$ -Anteile sind 24,5 % und 20,3 %. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte nehmen zur Basis des Profils von  $20\ 450\ \text{mgkg}^{-1}$  auf  $17\ 759\ \text{mgkg}^{-1}$

ab, die Gehalte an Goethit/Hämatit sinken ebenfalls von  $6945 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $6315 \text{ mgkg}^{-1}$ . Die Summen von organischem Eisen und Ferrihydrit nehmen von  $163 \text{ mgkg}^{-1}$  auf  $146 \text{ mgkg}^{-1}$  ab. Ab 110 cm unter GOK ist der Mergel nicht mehr grabbar, sekundäre Carbonate sind in Rissen und Klüften ausgefällt.

#### **Profil 222: Ap 0–36 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/4). Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Sekundärcarbonate sind als 1 mm bis 3 mm große Konkretionen ausgefällt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 8,3 % und 14,1 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer bis neutral (Abb. 218). Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $24\,836 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $25\,627 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $7914 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $9269 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $387 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $439 \text{ mgkg}^{-1}$ .

#### **Profil 222: eMc 36–67 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3). Die  $\text{CaCO}_3$  Gehalte sind 18,2 % und 18,7 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Sekundärcarbonat ist in Form von Kalkpseudomycelien, pulvrigen Flecken und als 3 mm bis 6 mm große Konkretionen ausgefällt. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $26\,605 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $26\,015 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $10\,456 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $9961 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $339 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $349 \text{ mgkg}^{-1}$ .

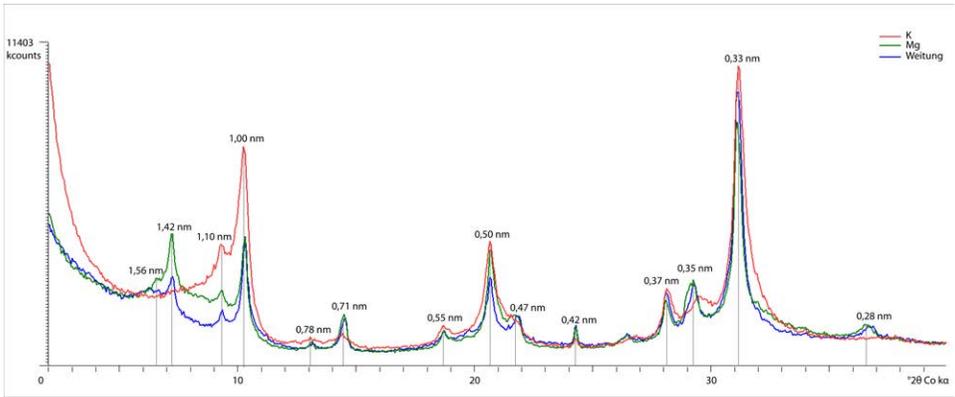
#### **Profil 222: II eCc 67–116 cm**

Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett ist teilweise poliert und gerundet und an der Unterseite der Grobbodenkomponenten haften Calcitkrusten. Deren Ausprägung nimmt zur Basis des Horizonts zu. Die  $\text{CaCO}_3$  Gehalte sind 35,7 % und 42,0 %, die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $22\,327 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $18\,707 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $8469 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $5690 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $482 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $148 \text{ mgkg}^{-1}$ .

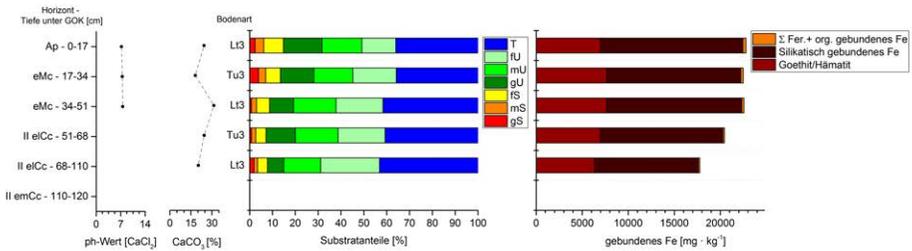
#### **Profil 222: III Sw-eCv 116–150 cm und IV Sw eCv 150–165 cm**

Der Feinboden ist mit Rostflecken marmoriert. Das Substrat war bei der Profilaufnahme handfeucht, aber nicht nass und hatte einen muffigen Geruch. Die  $\text{CaCO}_3$  Gehalte liegen zwischen 30,5 % und 39,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Sekundärcarbonat ist als 4 mm bis 6 mm große Konkretionen ausgefällt. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $21\,180 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $20\,787 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $9042 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $8362 \text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $198 \text{ mgkg}^{-1}$  und  $177 \text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, das Skelett ist poliert und an seiner Unterseite befinden sich keine Calcitkrusten.

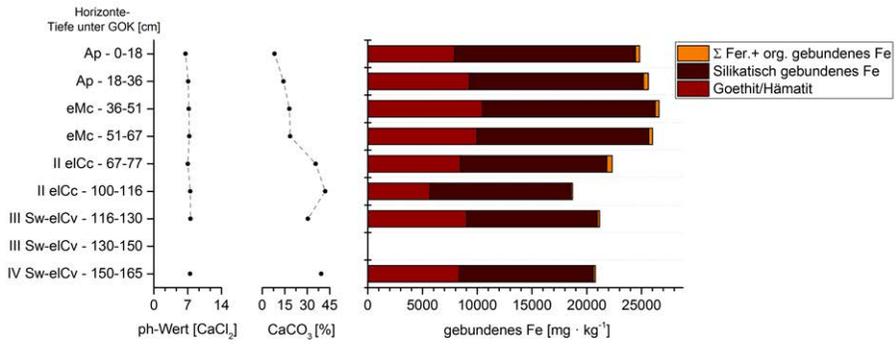
Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion weist sowohl für das Magnesiumpräparat als auch im mit Ethylenglykol geweiteten Präparat ähnliche Intensitäten auf (Abb. 216 und Anhang). Das Maximum bei 1,42 nm zeigt bei der Belegung mit Ethylenglykol keine Veränderungen im Vergleich zum Magnesiumpräparat. Bei der Kaliumbelegung kollabiert der Bereich zwischen  $2^{\circ}2\Theta$  und  $9^{\circ}2\Theta$  und die charakteristischen Intensitäten des Illits nehmen zu (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm). Die Tonfraktion enthält neben Illit einen Vermikulit bzw. Bodenvermikulit, der mit Ethylenglykol nicht quillt, aber bei der Belegung mit Kalium kontrahiert.



**Abbildung 216:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 222, 100–116 cm unter GOK



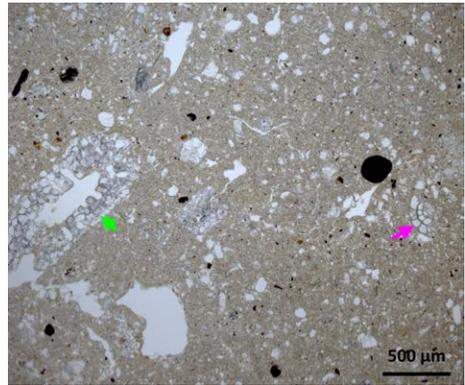
**Abbildung 217:** Laboreergebnisse Profil 221



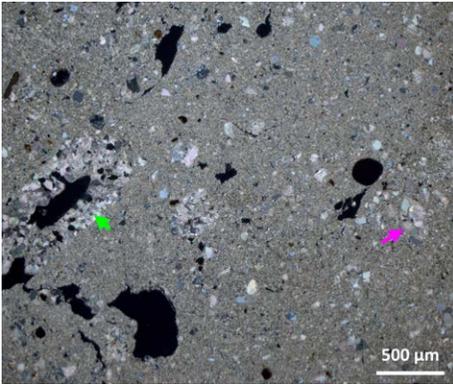
**Abbildung 218:** Laborergebnisse Profil 222



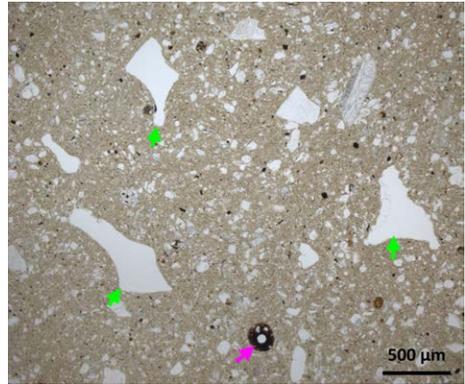
**Abbildung 219:** Übersicht Mikromorphologie Profil 221, 36–44 cm unter GOK



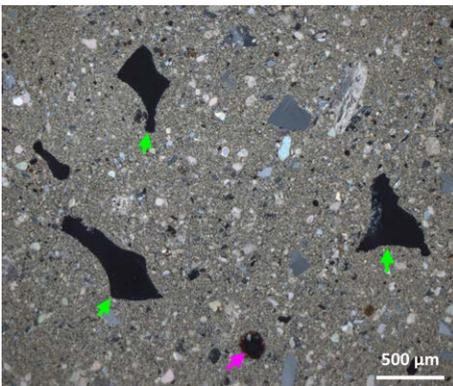
**Abbildung 220:** Biogene Calcitanreicherung im Kolluvium (LPL, Profil 221); grüner Pfeil: Rhizolith; pinker Pfeil: Schneckenhaus



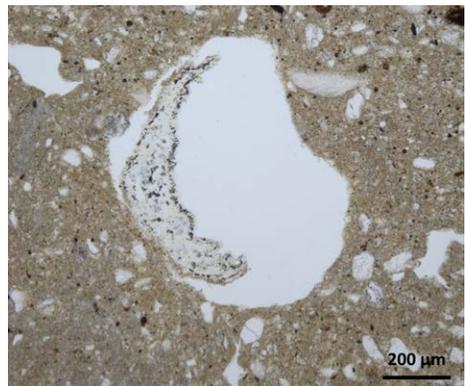
**Abbildung 221:** Biogene Calcitanreicherung im Kolluvium (GPL, Profil 221); grüner Pfeil: Rhizolith; pinker Pfeil: Schneckenhaus



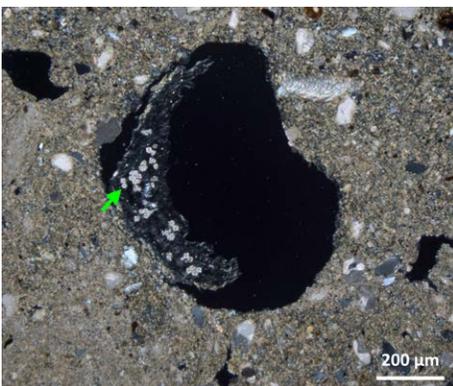
**Abbildung 222:** Turbationsmerkmale im Kolluvium (LPL, Profil 221); grüner Pfeil: Sternpore; pinker Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 223:** Turbationsmerkmale im Kolluvium (GPL, Profil 221); grüner Pfeil: Sternpore; pinker Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 224:** Wurzelröhre mit Wurzelrest (LPL, Profil 221)



**Abbildung 225:** Calciumoxalat in Wurzelrinde (GPL, Profil 221); grüner Pfeil: Phytolith aus Calciumoxalat

## 6.51 Transekt 7 – Profile 219, 223 und 224

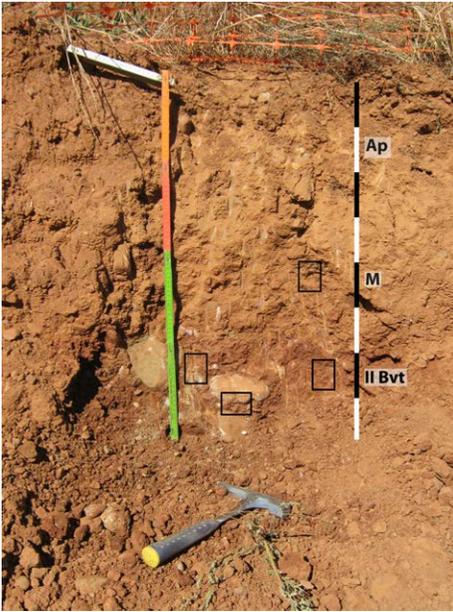
Die Profile 219, 223 und 224 (Abb. 205 & Abb. 226) wurden in tiefen Baugruben angelegt. Die drei Profile befinden sich auf der 50-m-Terrasse des Aragón, wobei in allen drei Profilen die Terrassenschotter abgeschlossen sind. Die Basis der Terrassenschotter ist nur in Profil 219 erreicht worden (756 m ü. M., UTM: 30 T 696658 4715179), aufgrund der Baumaßnahmen fehlten die obersten Meter der Terrassenschotter. Die Mächtigkeit des Schotterpakets betrug vor dem anthropogenen Eingriff etwa 4 m. Die



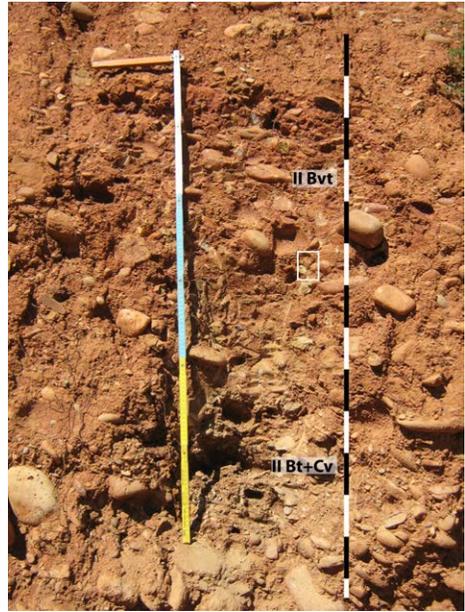
**Abbildung 226:** Baugrube mit Profil 223 und Profil 224

Terrassenschotter bei Profil 223 (761 m ü. M., 30 T 695639 4715061) und Profil 224 haben eine Mächtigkeit von mehr als 7,5 m, das Anstehende wurde in der etwa 8 m tiefen Baugrube nicht erreicht (Abb. 226). Die untersten 2 m des Schotterpakets sind olivgrau, darüber ist der Fein- und Grobboden rotbraun. Profil 223 ist am scharfen farblichen Wechsel des Schotterpakets angelegt. Die aus den Profilen 219, 223 und 224 kombinierte Horizontabfolge für den Standort lautet Ap/M/II Bvt/II Bt+Cv/II eLcC/III°eLcC/III emCn, der Bodentyp ist eine Parabraunerde in grobbodenarmem Substrat mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in die liegenden fluvialen Schotter. Im Kolluvium sind mikromorphologische Intraklasten eines präkolluvial von Verbraunung und Lessivierung geprägten Bodens nachweisbar. Des Weiteren weisen fragmentierte Toncutane auf Turbation oder Umlagerung.

Die Lessivierung hat zu einer markanten Verlagerung von Feinboden in die grobbodenreichen fluvialen Sedimente geführt und reicht bis 400 cm unter GOK tief in das liegende Schotterpaket, wobei neben Ton auch Schluff aus dem Hangenden verlagert wurde und der Feinbodeneintrag fast gänzlich die lagerungsbedingten Poren des bei der fluvialen Sedimentation grobbodenarmen Schotters auffüllt. Auf den obersten Dezimetern des Schotterpakets weisen fragmentierte Toncutane und runde Intraklasten darauf, dass der Grobboden nach der intensiven Lessivierung und Verbraunung durchmischt wurde. Auf die Phase der Durchmischung folgte eine zweite, deutlichere Lessivierungs- und Verbraunungsdynamik. Die Calcitkrusten an der Unterseite des Grobbodens sind mehrschichtig und aus verschiedenen Kristallformen des Calcits aufgebaut, wobei pallisadenartige Calcitkristalle zwischen mikritischem Calcit eingebettet sind. In den Calcitkrusten sind runde Intraklasten aus carbonatfreiem Feinboden eingeschlossen, die mit der bereits anhand der Pedorelikte ange deuteten Turbationsphase des Schotterpakts im Zusammenhang stehen.



**Abbildung 227:** Horizontabfolge Profil 224; die schwarzen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeobachtung



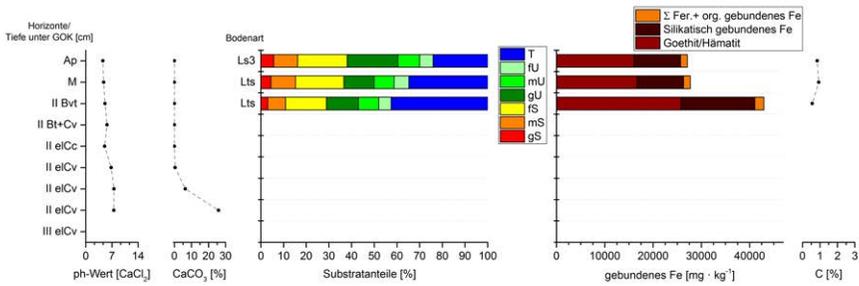
**Abbildung 228:** Horizontabfolge Profil 223, 170 cm unter GOK; der weiße Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeobachtung

Rezent ist der II-Bvt-Horizont trotz der sauren Bodenlösung von einer biogenen Umlagerung von Sekundärcarbonat in Form von Rhizolithen geprägt. Die Calcitkrusten an der Unterseite des Skeletts sind im II Bvt aktuell von chemischer Lösung angegriffen, eine rezente Ausfällung sekundärer Carbonate findet nur an der Basis des Schotterpakets statt.

Aufgrund der Lage des Profils auf der rißzeitlichen Schotterterrasse wird der Toneintrag mit einer eemzeitlichen Phase der Bodenbildung assoziiert. Die Durchmischung des Schotters mit pedogen vorgeprägtem Bodensubstrat und die Bildung der pallisadenartigen Calcitkristalle in den Carbonatkrusten weisen auf kaltzeitliche Prozesse (Mittellage), wobei eine erneute Anwehung von Löss aufgrund der Nähe der Terrasse zum Flussbett zu erwarten ist. Die anschließende erneute Phase mit Lessivierung und Verbraunung ist in das Holozän zu setzen. Während des Holozäns führte landwirtschaftliche Nutzung zu einer kolluvialen Verlagerung des an Ton verarmten Eluvialhorizonts.

**Ap: 0–26 cm und M: 26–52 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm und ein sandig-toniger Lehm (Abb. 229). Die Tonanteile sind 24 % und 25 %. Das Gefüge ist ein Kohärentgefüge, der Horizont ist aufgrund der Sommertrockenheit



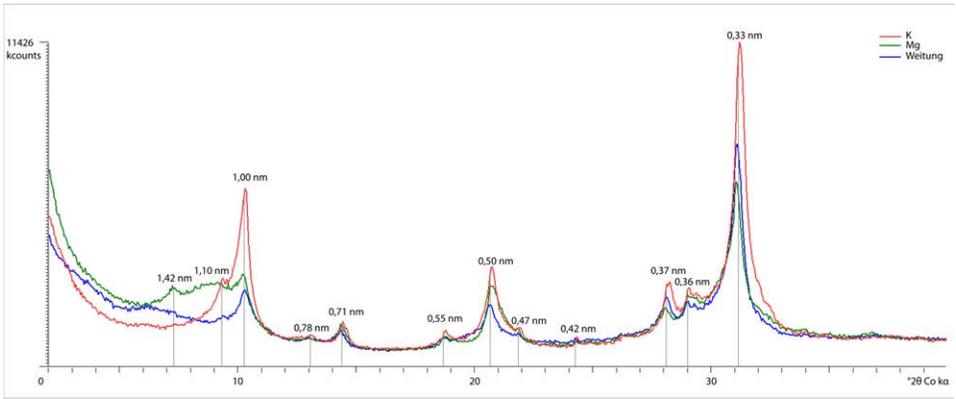
**Abbildung 229:** Laborergebnisse Profile 224, 223 und 219

während der Profilaufnahme sehr schwierig grabbar. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer bis mäßig sauer. Die  $C_T$  Gehalte betragen 0,8 % und 0,9 %. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $27\,108\text{ mgkg}^{-1}$  und  $27\,704\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit  $16\,005\text{ mgkg}^{-1}$  und  $16\,622\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit liegen bei  $1405\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1399\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, die Untergrenze des Horizonts fällt mit einem sprunghaften Anstieg des Grobbodenanteils im Liegenden zusammen. Die Untergrenze ist scharf und eben.

Das Probenmaterial für die mikromorphologischen Untersuchungen wurde 35 cm unter GOK und damit unterhalb der Pflugsohle entnommen. Das  $c_{20-200\text{ }\mu\text{m}}/f_{5\text{ }\mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated* und *stipple-speckled*. Pedorelikte in Form von *anorthic/disorthic nodules* weisen auf die Umlagerung oder Turbation eines Bodens (Abb. 247 und Abb. 248). Die Pedorelikte sind *granostriated*. Der aufgearbeitete Boden war intensiv verbraunt bzw. rubefiziert und von Bodenmatrix in den *anorthic/disorthic nodules* eingeschlossene Toncutane belegen eine präsedimentäre Tonverlagerung. Toneinspülungen können in Lösungsporen innerhalb des Skeletts und in den konkaven Einbuchtungen des Skeletts nachgewiesen werden (Abb. 249 und Abb. 250). Rezent ist der Boden nicht von Toneintrag gekennzeichnet, die Porenränder sind frei von Toncutanen.

### II Bvt 52–400 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel bis dunkel rotbraun (2,5 YR 4/6 bis 3/6). Die Körnung des Feinbodens ist ein sandig-toniger Lehm. Der Tonanteil beträgt 43 %, das Gefüge ist polyedrisch und Toncutane bedecken die Aggregate und den Grobboden (Abb. 232). Der Feinboden ist im Gegensatz zur hangenden Schicht gut grabbar. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist mäßig sauer. An der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten (Abb. 231 und Abb. 233), deren Ausprägung mit der Tiefe zunimmt, ab 81 cm unter GOK finden sich Calcitkrusten auch an der Oberseite der Grobbodenkomponenten. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $42\,948\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $25\,768\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $1878\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 230:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion 224, 52–75 cm unter GOK



**Abbildung 231:** Profil 224: Oberseite ohne Calcitau-fällungen; Entnahmetiefe 65 cm unter GOK



**Abbildung 232:** Profil 223, rotbraune Tonüberzuge an Kies und Aggregaten; breite der Kästchen: 5 mm

Die Röntgendiffraktion der Tonfraktion zeigt im Magnesiumpräparat ein schwaches Maximum bei 1,42 nm und ein ebenfalls schwach ausgeprägtes Spektrum zwischen  $7^{\circ}2\theta$  und  $9,5^{\circ}2\theta$ , was auf die Präsenz von Übergangsmaterialien weist (Abb. 230). Die Belegung mit Ethylenglykol führt zu einer schwachen Weitung, die Belegung mit Kalium induziert eine Peakreduktion von  $5^{\circ}2\theta$  bis  $9,5^{\circ}2\theta$  und eine Intensitätszunahme der für Illit charakteristischen Bereiche (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm). Die Tonfraktion enthält neben Übergangsmaterialien, Kaolinit (0,71 nm und 0,35 nm), Quarz (0,42 nm und 0,33 nm) und Illit (1,0 nm, 0,37 nm, 0,33 nm und 0,50 nm) ein mit Ethylenglykol quellfähiges und bei der Belegung mit Kalium zu Illit kontrahierendes Tonmineral (Bodenvermikulit).

Das Mikrogefüge in 60 cm bzw. 63 cm unter GOK hat eine *stipple-speckled* und teilweise *granostriated b-fabric* und das  $c_{20-200\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *double spaced porphyric*, Quarz ist das häufigste Mineral in der Grobschluff- bis Feinsandfraktion. Der II Bvt ist von einem

intensiven partikulären Eintrag geprägt (Abb. 237, Abb. 243 bis Abb. 246). Zwischen den Grobbodenkomponenten ist ein Großteil des Feinbodens illuvialer Herkunft (*coatings, infillings* und *matrix infillings*). Fragmentierte Toncutane in der Matrix belegen Turbation oder Umlagerung (Abb. 251 und Abb. 252). Die Farbe der nicht fragmentierten Cutane variiert zwischen gelb und rotbraun, wobei neben leuchtenden Toncutanen mit scharfen Auslöschungslinien auch staubige Ton- und Schluffcutane vorhanden sind. Während in älteren Toncutanen Poren unter jüngeren Toncutanen und als Verfüllung früherer Poren teilweise granuliert und von Eisenimprägnierung überprägt sind, weisen die Cutane jüngerer Generation auf eine rezente Verlagerung. Der horizontprägende partikuläre Eintrag sowohl in Lösungsporen der Grobbodenkomponenten als auch im Zwischenraum von Aggregaten und Grobbodenkomponenten weist auf Feinbodenarmut des Sediments bei der fluvialen Ablagerung oder Austrag verwitterbarer oder verlagerbarer Komponenten. In den rezenten Toncutanen oder im Feinboden sind braune dendritische bis traubige *quasicoatings* auskristallisiert. Parallel zum Porenverlauf orientierte *quasicoatings* können dabei Längen von 2000  $\mu\text{m}$  und mehr erreichen, wobei die einzelnen Kristalle einen Durchmesser von 2  $\mu\text{m}$  haben. Runde Kristalle mit rotbrauner bis dunkelroter Farbe und mit Durchmessern zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$  befinden sich im Feinboden und angewitterten Grobboden als traubige Ansammlung. Die traubigen Kristallstrukturen haben Durchmesser zwischen 50  $\mu\text{m}$  und 80  $\mu\text{m}$ . Sowohl die braunen dendritischen Kristallstrukturen als auch die traubigen und kirschroten Kristalle haben ein hohes Relief und werden aufgrund ihrer optischen Eigenschaften als Goethit bzw. Hämatit interpretiert. Rezente Sekundärcarbonate im Feinboden wie Rhizolithe sind von Lösungsverwitterung angegriffen.

Das Skelett ist teilweise stark verwittert, wobei mehrere Zentimeter mächtige Verwitterungsrinden die Klaster umhüllen (Abb. 235, Abb. 253 und Abb. 254). Die verwitterungsresistenten Minerale des Grobbodens bilden ein schwammartiges Gefüge um die Lösungsporen. Teilweise ist der Grobboden im Kern noch primärcarbonathaltig (Abb. 234 und Abb. 235). Der äußere Verwitterungsbereich des Skeletts ist in den Lösungsporen von Toneintrag gekennzeichnet (*matrix infillings*). Im noch nicht von Toneintrag überprägten Verwitterungsbereich dominiert Verbraunung bzw. Eisenausfällung, im direkt an die Entcarbonatisierungsfrenge angrenzenden Saum ist der Porenraum frei von Einträgen.

Während die Oberseite des Grobbodens frei von sekundären Carbonatausfällungen ist, befinden sich an der Unterseite des Grobbodens bis zu 8 mm mächtige und flächige Verkrustungen mit Calciumcarbonat (Abb. 233, Abb. 231 und Abb. 234). Der aus 65 cm unter GOK entnommene Kalksandstein hat einen horizontalen Durchmesser von etwa 15 cm und einen vertikalen Durchmesser von 5,5 cm. Der aufgeschnittene Kalksandstein besteht aus Quarzen in Feinsand- und Mittelsandgröße, die von mikritischem Calcit zementiert sind. Der Kalksandstein hat über den gesamten Außenbereich einen auf der Oberseite und den



**Abbildung 233:** Profil 224, Toneintrag und Sekundärcarbonate: rotbraune Tonhäutchen überziehen Feinkieskomponenten und Calcit ausfällungen kitten Feinkies an die Unterseite eines gerundeten Steins

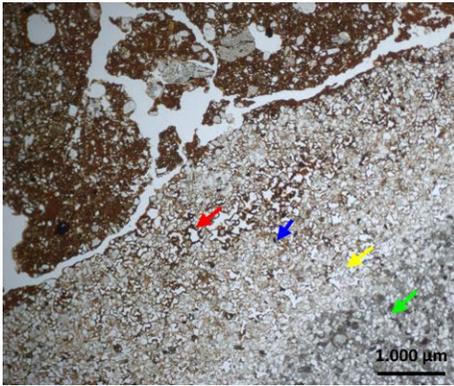


**Abbildung 234:** Kalksandstein mit Calcitkruste an der Unterseite und ganzseitiger Verwitterungsrinde; siehe Abb. 231, Entnahmetiefe ca. 65 cm unter GOK; im Zentrum enthält der Stein noch Primärcarbonat, im bräunlichen Rand ist der Zement herausgelöst; Verbraunung verursacht einen braunen Verwitterungssaum

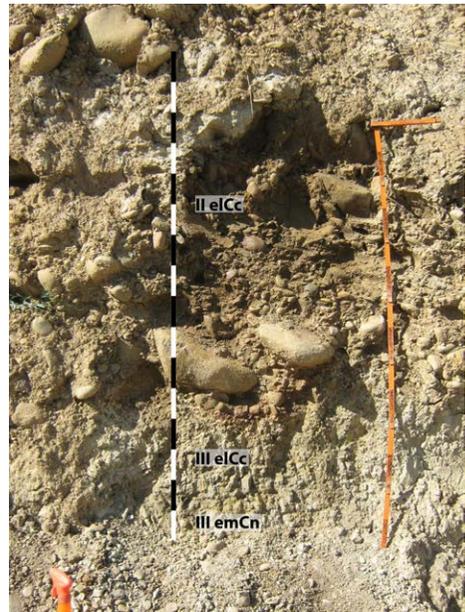
Außenseiten etwa 5 mm bis 10 mm mächtigen Verwitterungssaum, der sich makroskopisch mit einer braungrauen Farbe vom unverwitterten grauen Kernbereich unterscheidet. An der Unterseite ist der Verwitterungssaum 15 mm bis 20 mm dick. Im Verwitterungssaum ist der mikritische Calcit noch vorhanden, braune und traubige Kristalle mit einem Durchmesser von etwa 2  $\mu\text{m}$  verursachen die braune Färbung (Abb. 259 und Abb. 260).

Die Calcitkruste an der Unterseite des Kalksandsteins besteht an der Basis aus einer etwa 70  $\mu\text{m}$  mächtigen Schicht aus Mikrit, darüber befinden sich senkrecht zur Unterseite des Kalksandsteins xenomorph-parallele sparitische Calcitkristalle. Die pallisadenartigen Calcitkristalle haben eine Länge von etwa 300  $\mu\text{m}$  und eine Breite von etwa 30  $\mu\text{m}$  (Abb. 255, Abb. 256, Abb. 259 und Abb. 260). Die Abfolge mikritischer Calcit ausfällungen und pallisadenartiger Calcitkristalle befindet sich auf der gesamten Unterfläche des Steins. Das Kristallwachstum wird nur durch teilweise Verwitterung der Calcitkristalle oder nahe Hindernisse (< 50  $\mu\text{m}$ ) aus angrenzende Gesteinsfragmenten beeinträchtigt. Angrenzend an die sparitische Calcitschicht ist das Kristallwachstum xenomorph bis sparitisch, wobei die Calcitkristalle von Lösungsverwitterung angegriffen sind (Abb. 258).

Mit zunehmender Entfernung von der Unterkante des Steins befinden sich zwischen den Calcitkristallen Gesteinsfragmente in Grobsandgröße und runde *nodules*. Die *nodules* haben Durchmesser von 700  $\mu\text{m}$  bis 1100  $\mu\text{m}$  und bestehen aus carbonatfreiem und tonigem Material, in das Quarz in Feinsand- und Grobschluffgröße, aber auch Grobsandkomponenten eingeschlossen sind (Abb. 257 und Abb. 258). Das  $c_{20-200 \mu\text{m}}/f_5 \mu\text{m}$ -Verhältnis in den *nodules* ist *single-spaced porphyric*. Die runden *nodules* weisen eine randparallele Ausrichtung



**Abbildung 235:** Profil 224: Verwitterung des Grobbodens; grüner Pfeil: Unverwitterter Kalksandstein; gelber Pfeil: Entcarbonatisierungsfrent; blauer Pfeil: Verbraunung; roter Pfeil: Toneintrag in die Lösungsporen



**Abbildung 236:** Horizontabfolge Profil 219: Basis des Schotterpakets über dem anstehenden Mergel

der tonigen Bestandteile auf, die aufgrund der heterogenen Textur nicht illuvial, sondern durch Stress, d. h. Druck verursacht ist. Die Längsachsen größerer Partikel weisen ebenfalls oft eine randparallele Ausrichtung auf. Die Terrassenschotter 2 m unter GOK (Abb. 243 bis Abb. 246) sind von einem noch deutlich intensiveren Eintrag von Feinboden in Form von Toncutanen und Schluffcutanen als 60 cm unter GOK geprägt.

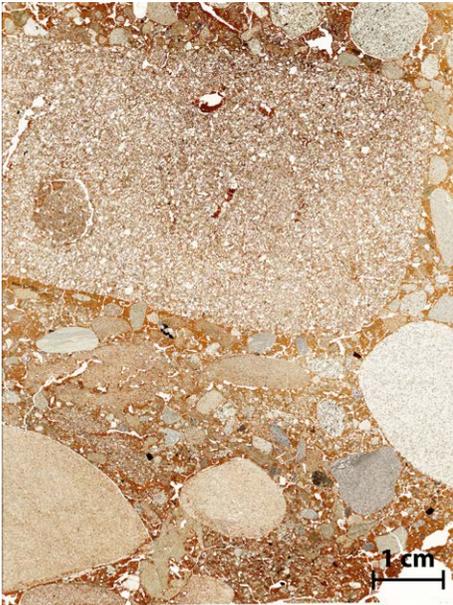
Die mikromorphologischen Untersuchungen belegen, dass die fluvialen Sedimente arm an Feinboden waren und der rezent vorhandene Feinboden durch Illuvation von Ton und Schluff eingetragen wurde. Des Weiteren hat die intensive Verwitterung des Grobbodens verwitterungsresistente Minerale wie Quarz in Feinsandgröße freigesetzt. Die Toncutane sind teilweise fragmentiert und mit Sand verwürgt (Abb. 243 bis Abb. 246), die *b-fabric* ist *granostriated*. Dunkelbraune *hypocoatings* in den Toncutanen weisen auf eine post-illuviale Anlieferung von Eisen in gelöster Form. Der Grobboden ist, wie 60 cm unter GOK, meist sehr stark verwittert und die verwitterungsresistenten Quarzkörner bilden ein schwammartiges Mikrogefüge, das von Toneintrag in die bei der Verwitterung der Kittsubstanz entstandenen Lösungsporen geprägt ist (*matrix infillings*, Abb. 241 und Abb. 242).

## II Bt+Cv 400–600 cm, II eICc 600–800 cm

Der Feinboden im II Bt+Cv ist grau-oliv und von dunkelrotbraunem Ton durchzogen (2,5 YR 4/6). Im II eICc ist die Farbe des Feinbodens dunkel braungrau bis dunkel graubraun (10 YR 4/2 bis 4/4). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im II eICc beträgt 0,4 % und 6,4 %, die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Das Skelett besteht aus Steinen und Kies. Die Oberflächen der Grobfraktion sind glatt und poliert, Carbonatkrusten an der Unterseite von Grobboden weisen auf eine postsedimentäre Carbonatverlagerung.

## III eICc und III emCn: 800+ cm

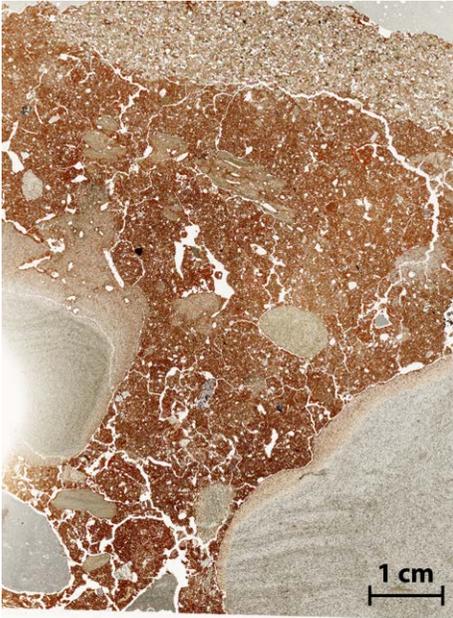
Die Farbe des anstehenden Mergels variiert zwischen grüngrau und sehr hell grünlichgrau (5 Y 5/3 und 8/2). Der Mergel ist auf den obersten 140 cm verwittert und marmoriert, darunter blaugrau und schlagfest. In den Poren des verwitterten Mergels ist Sekundärcarbonat ausgefällt. Der verwitterte Mergel hat einen  $\text{CaCO}_3$ -Anteil von 25,8 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.



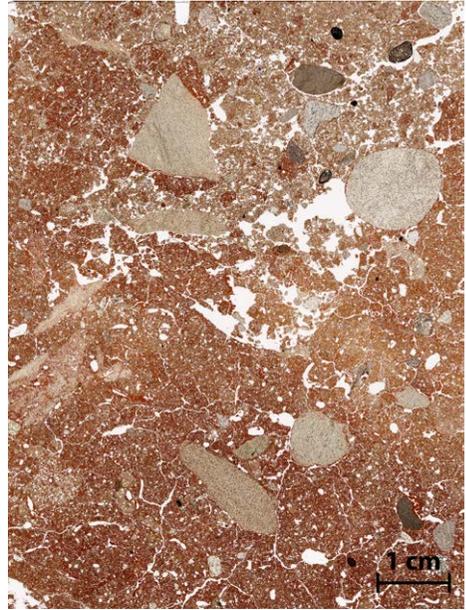
**Abbildung 237:** Mikromorphologie Profil 223, 220–228 cm unter GOK



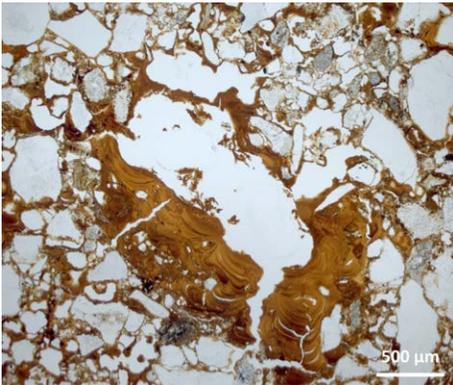
**Abbildung 238:** Mikromorphologie Profil 224, 35–43 cm unter GOK



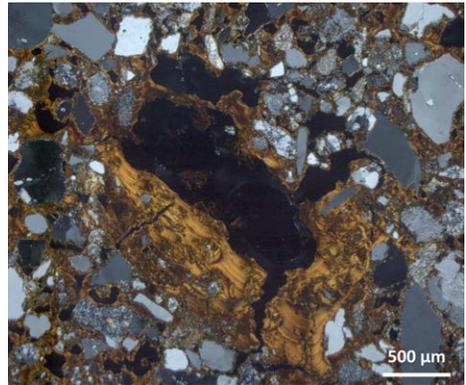
**Abbildung 239:** Mikromorphologie Profil 224, 60–68 cm unter GOK



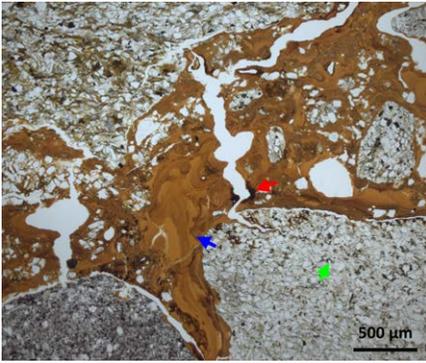
**Abbildung 240:** Mikromorphologie Profil 224, 63–71 cm unter GOK



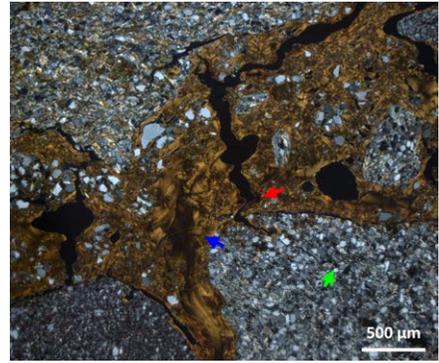
**Abbildung 241:** Toncutan in Grobkies (Profil 223, LPL)



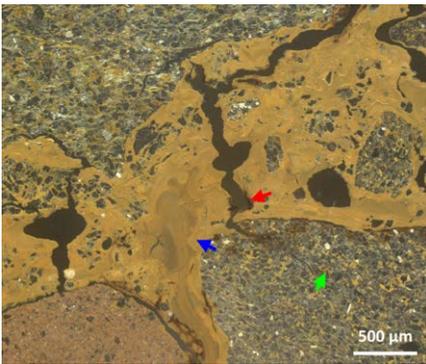
**Abbildung 242:** Toncutan in Grobkies (Profil 223, GPL)



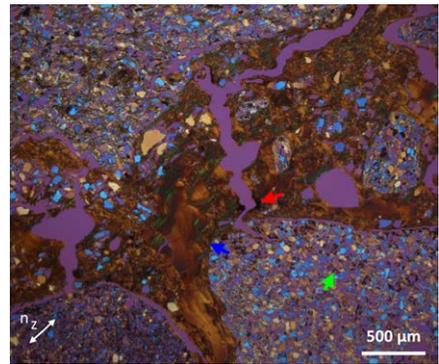
**Abbildung 243:** Toncutane zwischen Kies (Profil 223, LPL); grüner Pfeil: Toncutane in den Lösungsporen von Grobboden; blauer Pfeil: Toncutane in den Poren; roter Pfeil: Eisenausfällung



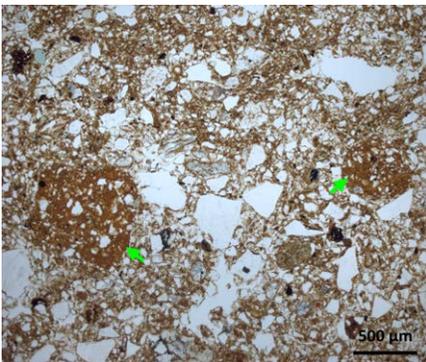
**Abbildung 244:** Toncutane zwischen Kies (Profil 223, GPL); grüner Pfeil: Toncutane in den Lösungsporen von Grobboden; blauer Pfeil: Toncutane in den Poren; roter Pfeil: Eisenausfällung



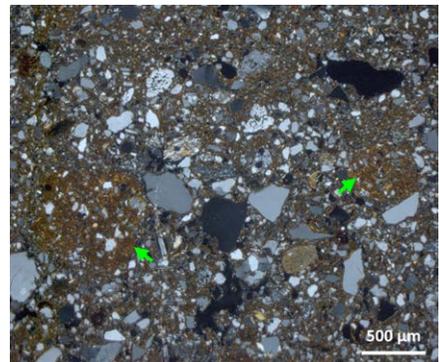
**Abbildung 245:** Toncutane zwischen Kies (Profil 223, Schräglicht); grüner Pfeil: Toncutane in den Lösungsporen von Grobboden; blauer Pfeil: Toncutane in den Poren; roter Pfeil: Eisenausfällung



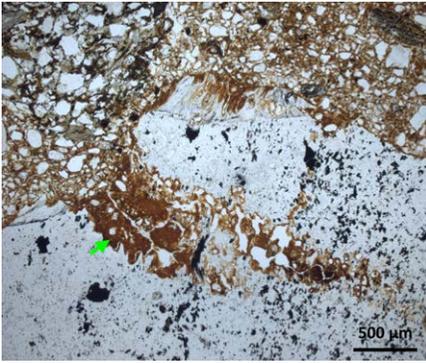
**Abbildung 246:** Toncutane zwischen Kies (Profil 223,  $\lambda$ +GPL); grüner Pfeil: Toncutane in den Lösungsporen von Grobboden; blauer Pfeil: Toncutane in den Poren; roter Pfeil: Eisenausfällung



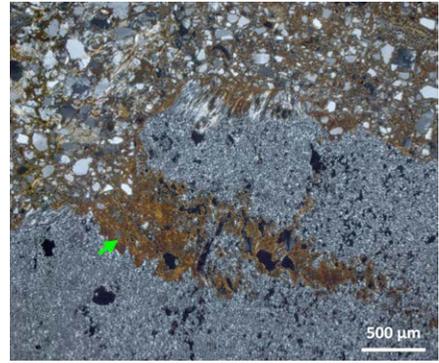
**Abbildung 247:** Reliktische Bodenbildung und Umlagerung im M (Profil 224, 35–43 cm LPL); grüner Pfeil: Intraklast



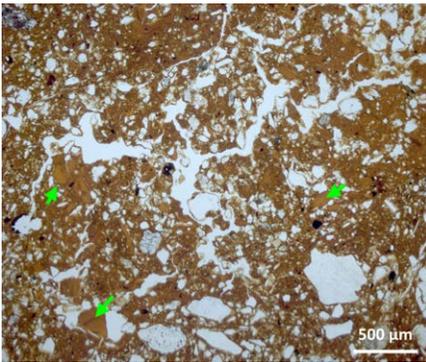
**Abbildung 248:** Reliktische Bodenbildung und Umlagerung im M (Profil 224, 35–43 cm GPL); grüner Pfeil: Intraklast



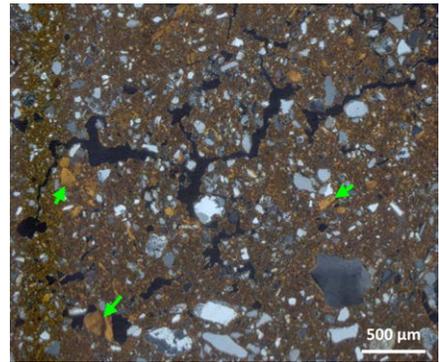
**Abbildung 249:** Toneintrag in Grobboden (Profil 224, 35–43 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan



**Abbildung 250:** Toneintrag in Grobboden (Profil 224, 35–43 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan



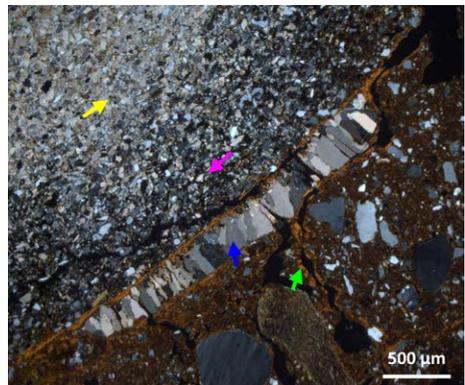
**Abbildung 251:** Fragmentierte Toncutane (Profil 224, 60–68 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutane



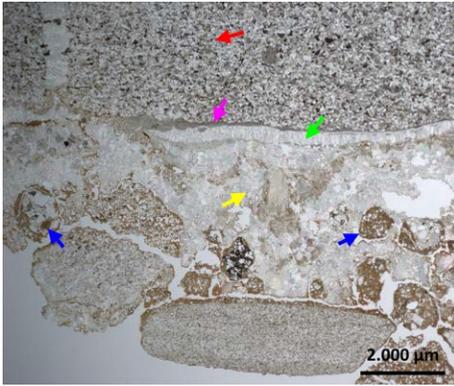
**Abbildung 252:** Fragmentierte Toncutane (Profil 224, 60–68 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutane



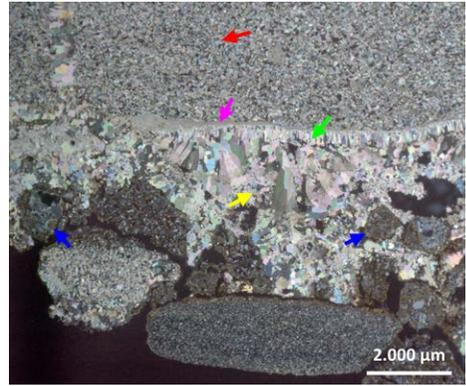
**Abbildung 253:** Calcitkruste an der Unterseite von Kies (Profil 224, 60–68 cm unter GOK, LPL); gelber Pfeil: unverwitterter Kalksandstein; pinker Pfeil: verwitterter Kalksandstein; blauer Pfeil: sparitischer Calcit; grüner Pfeil: Toncutane



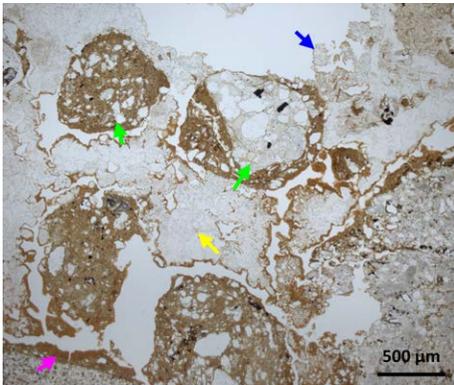
**Abbildung 254:** Calcitkruste an der Unterseite von Kies (Profil 224, 60–68 cm unter GOK, GPL); gelber Pfeil: unverwitterter Kalksandstein; pinker Pfeil: verwitterter Kalksandstein; blauer Pfeil: sparitischer Calcit; grüner Pfeil: Toncutane



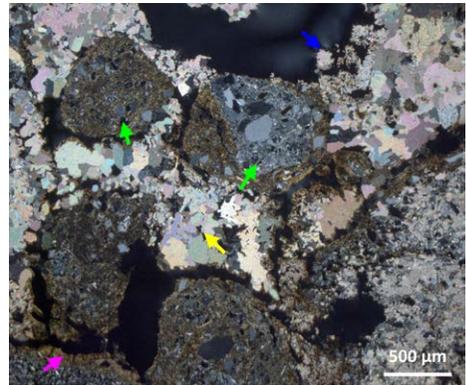
**Abbildung 255:** Morphologie der Calcitanreicherung (Profil 224, Calcitkruste, LPL); roter Pfeil: Kalksandstein; pinker Pfeil: mikritischer Calcit; grüner Pfeil: paralleler und sparitischer Calcit; gelber Pfeil: isometrischer und sparitischer Calcit; blauer Pfeil: Intraklasten



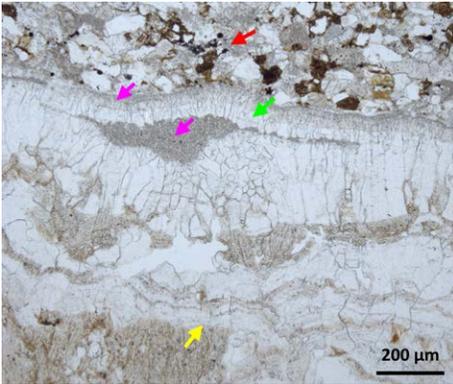
**Abbildung 256:** Morphologie der Calcitanreicherung (Profil 224, Calcitkruste, GPL); roter Pfeil: Kalksandstein; pinker Pfeil: mikritischer Calcit; grüner Pfeil: paralleler und sparitischer Calcit; gelber Pfeil: isometrischer und sparitischer Calcit; blauer Pfeil: Intraklasten



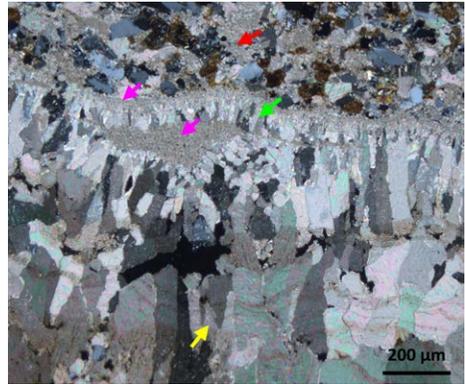
**Abbildung 257:** Verkittete Intraklasten (Profil 224, Calcitkruste, LPL); blauer Pfeil: Verwitterung des Mikrits; gelber Pfeil: isometrischer und sparitischer Calcit mit unregelmäßigen Kristallgrenzen; pinker Pfeil: Toncutan; grüner Pfeil: *nodules*



**Abbildung 258:** Verkittete Intraklasten (Profil 224, Calcitkruste, GPL); blauer Pfeil: Verwitterung des Mikrits; gelber Pfeil: isometrischer und sparitischer Calcit mit unregelmäßigen Kristallgrenzen; pinker Pfeil: Toncutan; grüner Pfeil: *nodules*



**Abbildung 259:** Morphologie des sekundären Calcits (Profil 224, Calcitkruste, LPL); roter Pfeil: Kalksandstein; pinker Pfeil: mikritischer Calcit; grüner Pfeil: paralleler und sparitischer Calcit; gelber Pfeil: xenomorpher und sparitischer Calcit



**Abbildung 260:** Morphologie des sekundären Calcits (Profil 224, Calcitkruste, GPL); roter Pfeil: Kalksandstein; pinker Pfeil: mikritischer Calcit; grüner Pfeil: paralleler und sparitischer Calcit; gelber Pfeil: xenomorpher und sparitischer Calcit

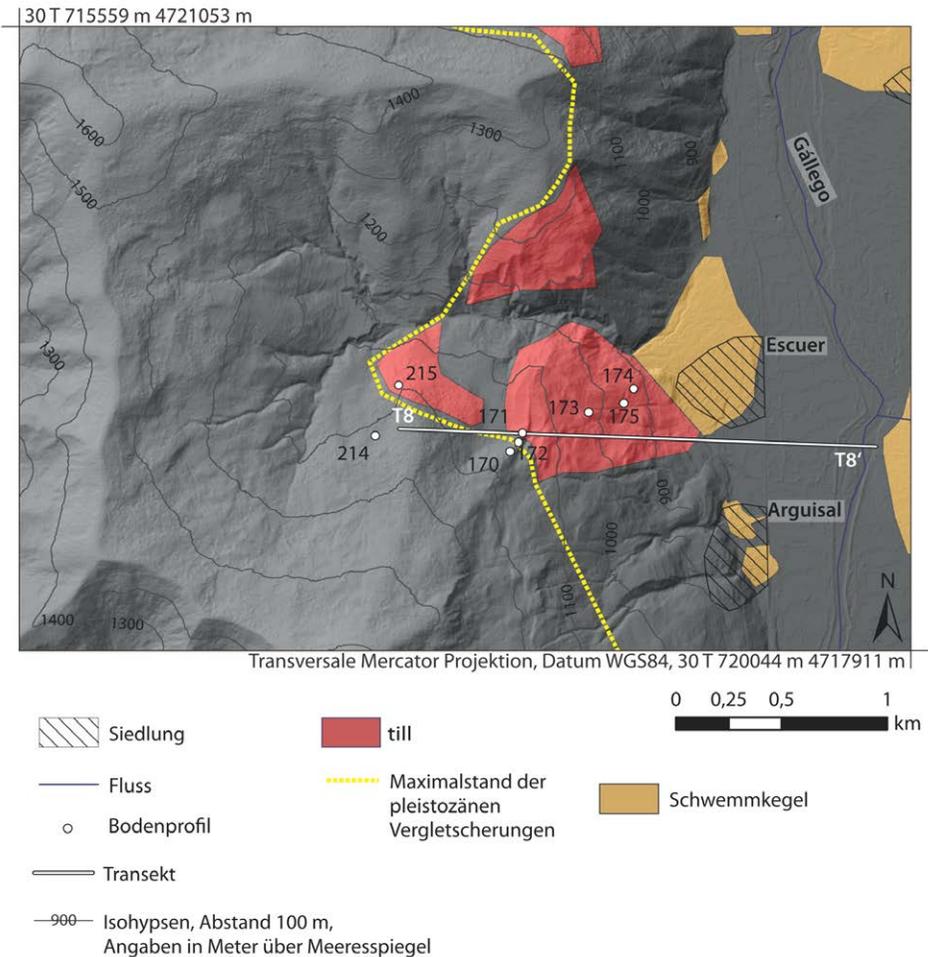
## 6.52 Synthese Transekt 8

Transekt 8 ist im Gállego-Tal westlich von Escuer angelegt (Abb. 18) und reicht vom pleistozänen Extraglazialraum im Westen über rißzeitliche und würmzeitliche glaziale Sedimente, die von einem nicht glazial geprägten Sporn getrennt sind (Abb. 261 und Abb. 262). Im Oberhang des Flyschsporns wurden keine glazialen Sedimente oder Erratika gefunden. Morphologisch ist die sich an den Flyschsporn im Nordosten übergangslos anschmiegende Seitenmoräne nicht erkennbar.

- Im pleistozänen Extraglazialraum liegen Basislagen über dem anstehenden Flysch (Profil 214). Die Längsachsen des Skeletts sind in den grobbodenreichen Basislagen in Hangrichtung orientiert. Der Feinboden der Basislagen ist marmoriert, was auf durch Hangzugswasser bedingte Redoximorphose hinweist.
- Der Grobboden im diamiktischen *till* der Seitenmoräne ist orthogonal zur Hangrichtung und parallel zur Fließrichtung des pleistozänen Gletschers orientiert, was auf eine subglaziale Prägung weist (Profil 175). Das über dem *till* hangende Sediment hat einen hohen Feinsand- und Grobschluffanteil, das Skelett ist in Hangrichtung orientiert (Profil 175). Aufgrund der äolischen Beimengungen allochthonen Substrats und der als solifluidal interpretierten Einregelung wird das hangende Sediment als Hauptlage angesprochen.
- Profil 173 und Profil 174 weisen eine ähnliche Stratigrafie wie Profil 175 auf, über einem *till* liegt ein feinsand- und grobschluffreiches Sediment. Während in Profil 175 mikromorphologisch keine Pedorelikte in der Hauptlage vorgefunden wurden, sind im Hangenden von Profil 173 und 174 Pedorelikte einer früheren Bodenbildung vorhanden. Das hangende Sediment ist sowohl in Profil 173 als auch in Profil 174 eine kolluvial umgelagerte Hauptlage. In Profil 173 ist die rezente Bodenentwicklung in Form von Lessivierung nur gering ausgeprägt, in Profil 174 hingegen das kolluvial umgelagerte Material deutlich lessiviert. OSL-Datierungen ergeben für das Kolluvium in Profil 173 ein OSL-Alter von 0,85 ka und für Profil 174 ein OSL-Alter von 7,5 ka.
- Ein fossiler Bv-Horizont in Profil 214 mit niedrigeren Carbonatgehalten im Feinboden als in den hangenden und liegenden Substraten weist auf eine kolluviale Prägung des Standorts. Das hangende Kolluvium enthält Stresscutane und viele Holzkohlereste. Der geringmächtige Oberboden der Pararendzina in Profil 170 und der Braunerde-Pararendzina in Profil 215 werden ebenfalls auf eine erosive Profilverkürzung zurückgeführt.
- In den Hauptlagen sind Braunerden-Parabraunerden entwickelt, die rötliche Bodenfarbe weist auf die Bildung von Hämatit und Goethit (Profil 175). Die Tonverlagerung

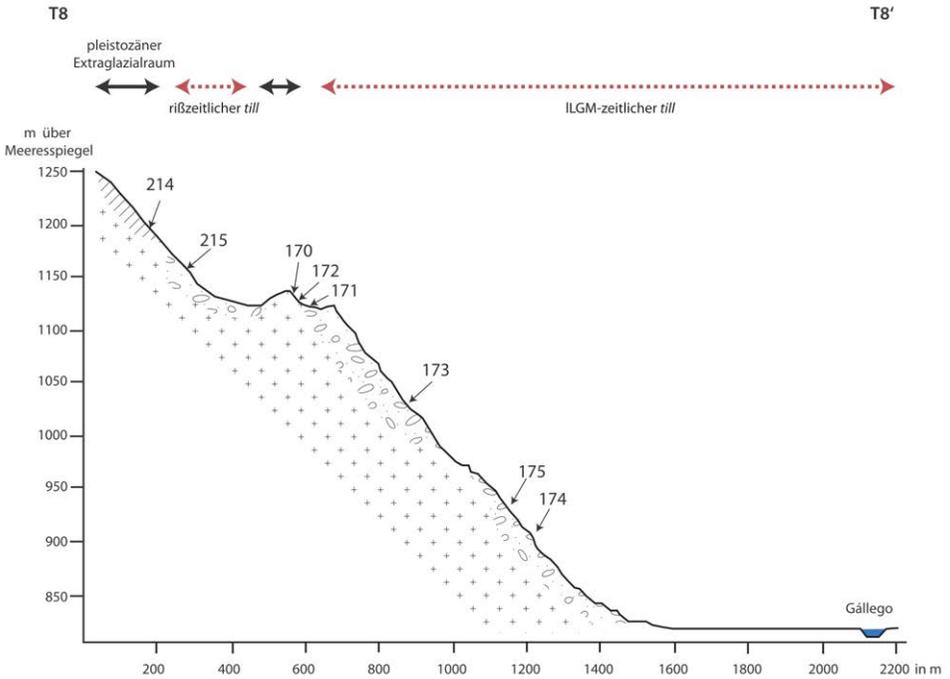
greift zapfenförmig in den liegenden primärcarbonathaltigen *till* über (Profile 173, 174 und 175). In den Illuvialhorizonten werden die maximalen Gehalte von  $Fe_T$ , Goethit/Hämatit und Feinton erreicht.

- Im Liegenden sind die Böden entlang des Transekts von einer sekundären Calciumcarbonatdynamik bestimmt. Nadelförmiger Calcit in Poren und Calciumoxalat in der Rinde abgestorbener Wurzeln weisen auf eine biogene und aszendente Calciumumlagerung (Profile 174, 175 und 214). Mikritischer Calcit verkittet den Feinboden im liegenden *till* (Profil 175), sparitische Calcitkristalle haften im diamiktischen *till* an der Unterseite von Steinen (Profil 175).



**Abbildung 261:** Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 4 (s. a. Beilage 1)

## Querprofil Transekt 8



### Böden und Sedimente Transekt 8

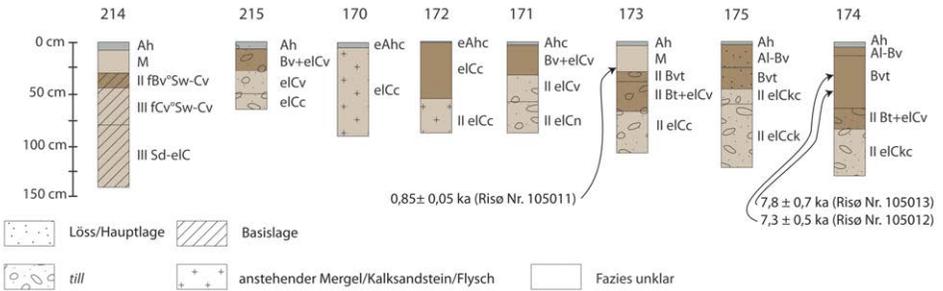
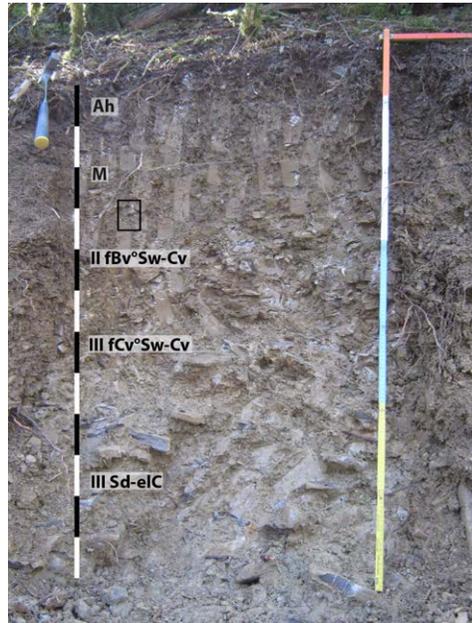


Abbildung 262: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 8 (s. a. Beilage 1)

### 6.53 Transekt 8 – Profil 214

Profil 214 befindet sich im Extraglazialbereich im Seitental von Escuer und ist als Schürf an einem Weganschnitt angelegt (1221 m ü. M., UTM: 30 T 717352 4718994). Das Profil ist 140 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Hangneigung beträgt 18°, die Hangform ist gestreckt-gestreckt.

Die Horizontabfolge ist Ah/M/II fBv°Sw-Cv/III fCv°Sw-Cv/III Sd-eIC (Abb. 263), der Bodentyp ist ein grobbodenarmer Kolluvisol über einer fossilen Braunerde in einer grobbodenreichen und solifluidal geprägten Basislage, die rezent von Stauwasser und Sekundärcarbonatdynamik geprägt ist. Aufgrund des zur Basis des hangenden Sediments abnehmenden Carbonatgehaltes und der mikromorphologisch nachweisbaren Umlagerungsmerkmale (sternförmige Poren und *slickensides*) wird das hangende Sediment als Kolluvium angesprochen. Trotz des carbonathaltigen Feinbodens findet im Kolluvium rezent eine schwache Lesivierung statt und Phytolithe aus Calciumoxalat weisen auf eine biogene Komponente bei der Calciumumlagerung.



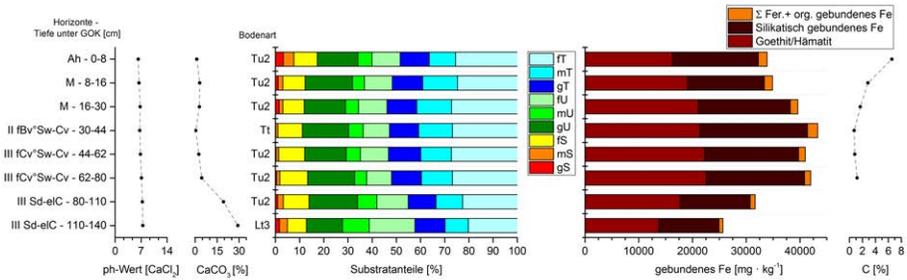
**Abbildung 263:** Horizontabfolge Profil 214: Der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeobachtung

#### Ah 0–8 cm

Der Feinboden ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3) und hellt nach unten auf (dunkel graubraun, 10 YR 4/4). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach schluffiger Ton (Abb. 264). Der Feintonanteil beträgt 26 %. Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 1,2 %. Der  $\text{C}_T$ -Gehalt beträgt 6,6 %, der Horizont ist mittel humos. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus kantigen Steinen und Grus. Die Längsachsen der Klasten sind hangparallel eingeregelt. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $33\,886\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $16\,291\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $1623\text{ mgkg}^{-1}$ .

#### M 8–30 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Das Gefüge ist polyedrisch und die Textur des Feinbodens ist ein schwach schluffiger Ton. Die Feintongehalte betragen 25 % und 27 %. Der Grobsandanteil liegt zwischen 1 % und 2 %. Die Bodenlösung ist neutral, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 3,2 % bzw. 3,0 %. Der  $\text{C}_T$ -Gehalt beträgt 2,9 % bzw. 1,7 %, unter Berücksichtigung des Calcitanteils ist der Horizont schwach bis sehr schwach humos. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $34\,906\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $39\,606\text{ mgkg}^{-1}$ , die Mengen an Goethit/Hämatit  $19\,054\text{ mgkg}^{-1}$  und  $21\,065\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $1537\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1428\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobboden ist wie darüber beschaffen.



**Abbildung 264:** Laborergebnisse Profil 214

Die ungestörte Bodenprobe für die mikromorphologischen Untersuchungen wurde an der Basis des Kolluviums entnommen, der Schichtwechsel wurde im Dünnschliff nicht erfasst. Die *b-fabric* ist *granostriated*, *stipple-speckled* und *random striated* bis *cross striated*. Das  $c_{20-70\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single spaced porphyric*. Quarz, Feldspäte und Glimmer sind die häufigsten Minerale der Feinsand- und Grobschlufffraktion. Biotit und Muskovit dominieren in der Grobschlufffraktion, wobei Muskovit anteilmäßig den Biotit dominiert. Der Biotit ist stark verwittert mit randlicher Auflösung und Ausfällung von Eisenhydroxid. Primärcarbonat in der Grobsand- und Mittelsandfraktion zeigt eine deutliche chemische Verwitterung an den Kornrändern und eine Porenneubildung. Hinweise auf *in situ*-Verbraunung finden sich in der Matrix mit traubig-nieriger Kristallisation rubinroter (LPL) und sepia-brauner (LPL) Eisenoxide meist mit einem Durchmesser zwischen  $10\ \mu\text{m}$  und  $25\ \mu\text{m}$ . Eisenaussämlungen mit diffusen Außengrenzen in der Matrix und *hypocoatings* weisen auf Hangzugswasser (Abb. 266 und Abb. 268). Die meist schwarmweise auftretenden Eisenaussämlungen haben diffuse Außengrenzen und infiltrieren die umgebende Matrix. Die Eisenaussämlungen sind oft konzentrisch mit Durchmessern zwischen  $25\ \mu\text{m}$  und  $100\ \mu\text{m}$  oder als schmale und langgezogene Ausfällungen entlang submikroskopischer Risse ausgebildet.

Die Aggregate der Matrix haben einen Durchmesser zwischen  $5\ \text{mm}$  und  $10\ \text{mm}$  und sind gerundet bis eckig. Risse trennen die passgenauen Aggregate, wobei die gebogenen Risse sich rechtwinklig kreuzen. Unter GPL sind in der Matrix Stresscutane als Fortsetzung der Risse erkennbar. Die Außenseiten der Aggregate weisen unter GPL eine einheitliche Doppelbrechung parallel zum Verlauf der Risse auf. Die Ränder der Aggregate sind glatt. Nur wenige enge Grobporen befinden sich in der Matrix, die Grobporen sind eher länglich oder als Sternporen überformt. Staubige illuviale Toncutane mit charakteristischem Kontrast und der Schichtung sind vorhanden, die Sortierung ist aber schlecht und die Cutane sind oft von Stress überprägt. Stresscutane dominieren entlang von Rissen und in der Matrix. Die bis zu  $3\ \text{cm}$  langen *slickensides* weisen auf Turbation oder Verlagerung (Abb. 267

& Abb. 268). Um Grobsand sind 10 µm bis 15 µm dicke *granostriations* nachweisbar. Toncutane sind trotz des Carbonatgehalts vorhanden (Abb. 269 und Abb. 270), wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass in der durchlässigen Hohlformmatrix bereits eine Entkalkung stattgefunden hat und damit salzarmes Sickerwasser Tonverlagerung ermöglicht. Phytolithe aus Calciumoxalat mit etwa 25 µm Durchmesser sind in der Rinde von Wurzeln und Wurzelresten erkennbar (Abb. 271 bis Abb. 274). Die Phytolithe sind innerhalb der Längsschnitte von Wurzeln perlschnurartig entlang der Rinde aufgereiht.

### **II fBv°Sw-Cv 30–44 cm**

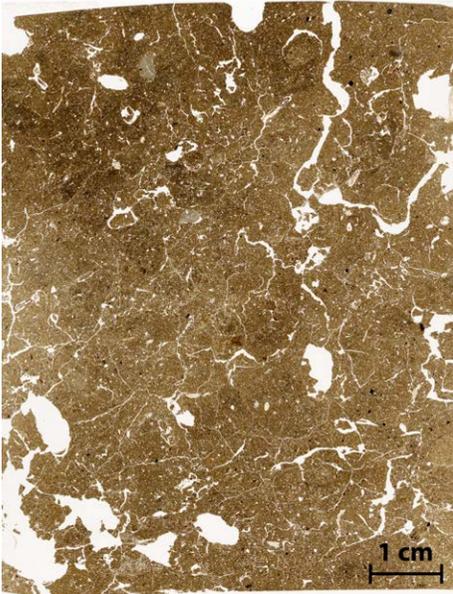
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Die Textur ist ein toniger Ton. Der Feinboden hat mit 0,2 % nur einen geringen Anteil an Grobsand, der Feintonanteil beträgt 27 %. Die Bodenlösung ist neutral, der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 0,4 %. Anreicherung mit biogenem Sekundärcarbonat ist vorhanden, mikritische Carbonate unterliegen der Verwitterung. Der Grobbodenanteil beträgt 2 %. Der Fe<sub>T</sub>-Gehalt beträgt 43 308 mgkg<sup>-1</sup>, der Anteil an Goethit/Hämatit 21 343 mgkg<sup>-1</sup> und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit 1897 mgkg<sup>-1</sup>.

### **III fCv°Sw-Cv 44–80 cm**

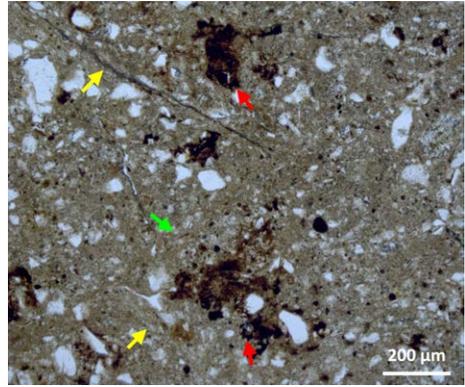
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Die Textur ist ein schwach schluffiger Ton. Die Feintongehalte sind 27 %. Die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 2,6 % und an der Basis des Horizonts 4,5 %. Der Fe<sub>T</sub>-Gehalt beträgt 40 998 mgkg<sup>-1</sup> bzw. 42 010 mgkg<sup>-1</sup>. Der Anteil an Goethit/Hämatit beträgt 22 282 mgkg<sup>-1</sup> bzw. 22 575 mgkg<sup>-1</sup> und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit nimmt mit der Tiefe von 1255 mgkg<sup>-1</sup> auf 1157 mgkg<sup>-1</sup> ab. Zwischen 44 cm und 80 cm ist der Grobboden plattig und chaotisch gelagert, unterhalb von 80 cm ist der plattige Grobboden schwach hangparallel eingeregelt. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %.

### **III Sd-elC 80–140+ cm**

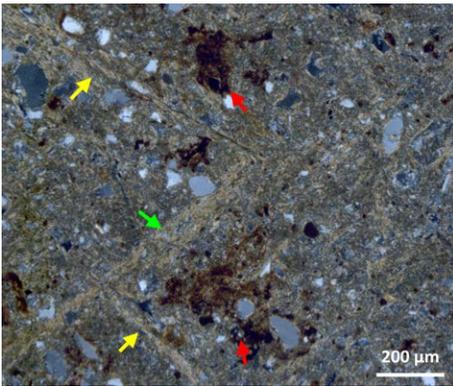
Der Feinboden ist marmoriert dunkel graubraun (10 YR 4/4) bis dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/4). Die Textur ist ein schwach schluffiger Ton bzw. toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil im Feinboden beträgt zwischen 80 cm und 10 cm unter GOK 19,4 % und an der Basis 29,2 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die Fe<sub>T</sub>-Gehalte betragen 31 652 mgkg<sup>-1</sup> und 25 676 mgkg<sup>-1</sup>, die Anteile an Goethit/Hämatit 18 616 mgkg<sup>-1</sup> bzw. 14 417 mgkg<sup>-1</sup> und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit 927 mgkg<sup>-1</sup> und 730 mgkg<sup>-1</sup>. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das Skelett ist nach visueller Einschätzung schwach hangparallel eingeregelt.



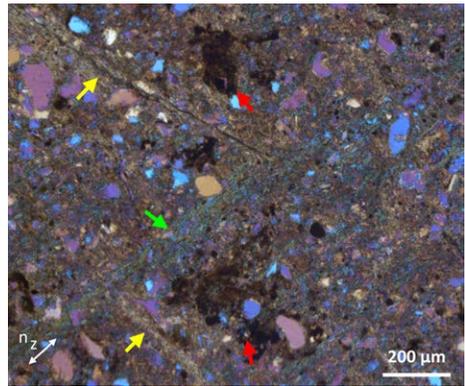
**Abbildung 265:** Übersicht Mikromorphologie Profil 214, 27–35 cm unter GOK



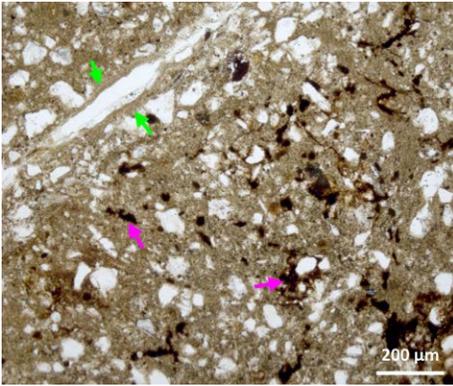
**Abbildung 266:** Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214, LPL); gelber und grüner Pfeil: Stresscutane (*slickenside*); roter Pfeil: Eisenausfällung



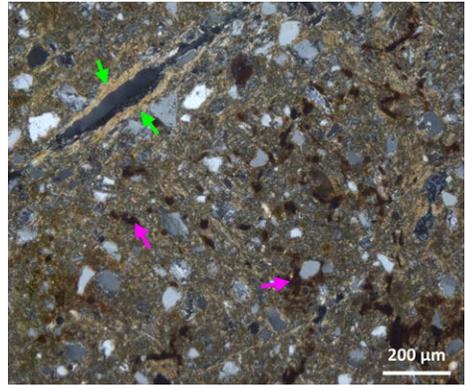
**Abbildung 267:** Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214, GPL); gelber und grüner Pfeil: Stresscutane (*slickenside*); roter Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 268:** Postsedimentäre Scherung und Eiseneintrag (Profil 214,  $\lambda$ +GPL); gelber Pfeil: Stresscutane, senkrechte Ausrichtung zu  $n_z$ ; grüner Pfeil: parallele Ausrichtung der Stresscutane zu  $n_z$ ; roter Pfeil: Eisenausfällung



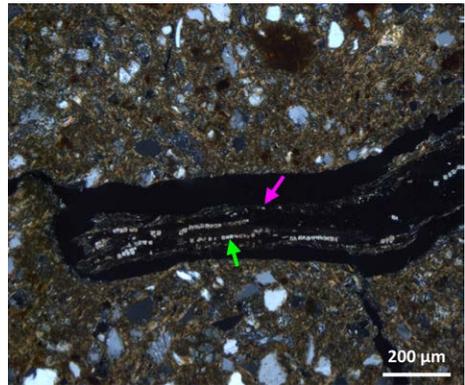
**Abbildung 269:** Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 214, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Eisenausfällung



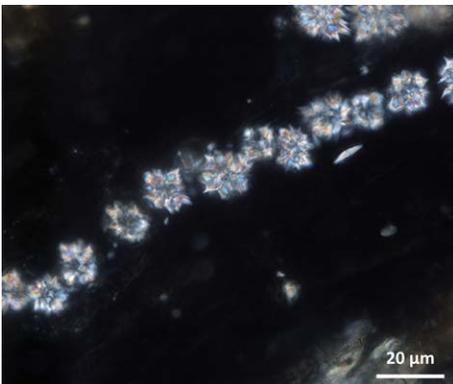
**Abbildung 270:** Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 214, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Eisenausfällung



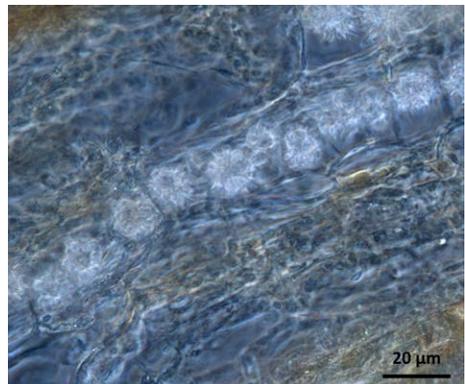
**Abbildung 271:** Biogene Kristallisation (Profil 214, LPL); pinker Pfeil: Wurzel



**Abbildung 272:** Biogene Kristallisation (Profil 214, GPL); pinker Pfeil: Wurzel; grüner Pfeil Calciumoxalat



**Abbildung 273:** Phytolith aus Calciumoxalat in der Wurzelrinde (Profil 214, GPL)



**Abbildung 274:** Phytolith aus Calciumoxalat in der Wurzelrinde (Profil 214, Phasenkontrast)

## 6.54 Transekt 8 – Profil 215

Profil 215 befindet sich an einem nach Nord-west exponierten Hang auf 1186 m ü. M. im pleistozänen Glazialbereich außerhalb der ILGM-zeitlichen Vereisung (UTM: 30 T 717470 4719247). Die Hangneigung beträgt 15° bis 20°, die Hangform ist gestreckt-konvex, das Makrorelief ist unruhig. Allochthone Blöcke und Großblöcke bedecken den Hang. Das Anstehende wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Bv+elCv/elCv/elCc, der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina in carbonathaltigem *till* (Abb. 275). Unter Berücksichtigung des rißzeitlichen Alters des *till* ist die Bodenentwicklung mit der sich auf den Oberboden beschränkten Entcarbonatisierung äußerst schwach ausgeprägt. Die uneinheitliche Mächtigkeit des Oberbodens im Profil weist auf eine erosive Profilverkürzung.



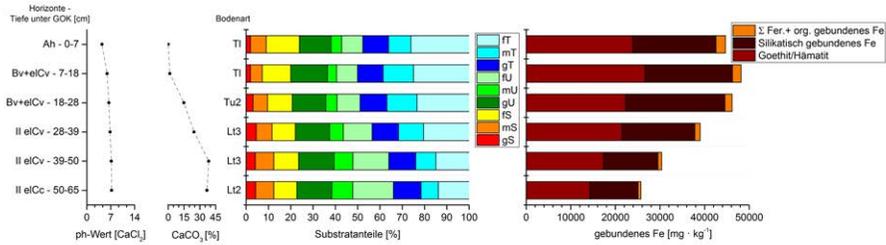
Abbildung 275: Horizontabfolge Profil 215

### Ah 0–7 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/4), die Bodenlösung ist stark sauer und carbonatfrei (Abb. 276). Die Körnung des Feinbodens ist ein lehmiger Ton. Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 2 % und besteht aus teilweise stark verwittertem Grus. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $44\,677\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $23\,908\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $2122\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Horizont ist im linken Drittel des Aufschlusses nur sehr geringmächtig.

### Bv+elCv 7–28 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Die Untergrenze bei 28 cm unter GOK ist wellig und scharf. Die Textur des Feinbodens ist ein lehmiger bzw. schwach schluffiger Ton. Das Gefüge ist polyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt zwischen 7 cm und 18 cm unter GOK 1,5 % und darunter bis zur Horizontbasis 14,9 %, die Bodenlösung ist im gesamten Horizont schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, das Skelett besteht aus Steinen, Kies und Grus. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $48\,183\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $46\,149\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $26\,588\text{ mgkg}^{-1}$  und  $22\,264\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $1955\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1612\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 276:** Laborergebnisse Profil 215

### eICv 28–50 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun bis dunkelbraun marmoriert (10 YR 4/4 und 4/6), die Textur ist ein toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch, die Aggregate sind sehr fest. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden steigt mit der Tiefe von 24,5 % auf 38,4 %. Die dunkelbraunen Bereiche im Feinboden zeigen eine deutlich geringere Reaktion beim Kontakt mit HCl als die dunkel graubraunen Bereiche, die mit HCl heftig reagieren. An der Unterseite des Grobbodens haften Verkrustungen mit Calcit. Biogene Poren bestehend aus Wurmgingen und Wurzelröhren durchziehen die Matrix. Weißes, hydrophobes und nicht mit HCl reagierendes Mycel durchwächst den Feinboden. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $39\,030\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $30\,356\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $21\,454\text{ mgkg}^{-1}$ , bzw.  $17\,332\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit nimmt von  $1223\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $825\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Der Grobbodenanteil beträgt 25 %, und besteht aus Steinen, Kies und Grus, wobei viel Feingrus vorhanden ist. Die Klasten sind chaotisch gelagert. Die Lithologie des Feinbodens besteht aus Graniten, Kalksteinen und Kalksandsteinen. Die allochthonen Komponenten, die diamiktische Zusammensetzung und die Morphologie deuten auf eine glaziale Entstehung des Sediments. Die Untergrenze des Horizonts ist zapfenförmig und deutlich.

### eICc 50–65+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 5,5/4), seine Körnung ist ein schwach toniger Lehm. Ein initiales Kittgefüge aus sekundären Carbonaten verfestigt den Feinboden, die nicht verkitteten Aggregate zerfallen unter geringem Druck. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 36,8 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Am Grobboden haften an der Unterseite und an der Hangseite Calcitanreicherungen. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $25\,725\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $14\,242\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $637\text{ mgkg}^{-1}$ .

## 6.55 Transekt 8 – Profil 170

Profil 170 befindet sich im Oberhang auf einem langgezogenen und etwa 15 m breiten Hangsporn (1161 m ü. M., UTM: 30 T 718030 4718913). Auf dem Hangsporn um das Profil finden sich keine Hinweise auf die Ablagerung glazialer Sedimente. Die Flanken des Sporns sind sehr steil, die Hangneigung entlang der Streichrichtung beträgt 22°. Das Profil ist 90 cm aufgeschlossen, das unverwitterte Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAhc/elCc (Abb. 277), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus Flysch. Der Feinboden enthält neben Primärcarbonat auch Sekundärcarbonat in Form weißer Konkretionen und pulveriger Flecken. An der Unterseite des Grobbodens haften Calcitkrusten. Die Bodenentwicklung ist mit dem geringmächtigen Oberboden und dem carbonatreichen Feinboden insgesamt nur gering ausgeprägt, was auf eine erosive Profilverkürzung zurückgeführt wird.



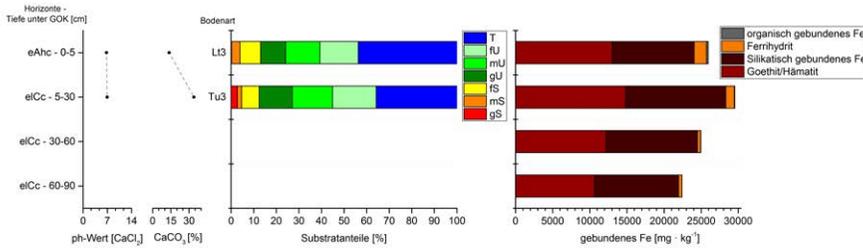
Abbildung 277: Horizontabfolge Profil 170

### eAhc 0–5 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/2). Weißes hydrophobes Pilzmycel durchwurzelt den Feinboden vor allem in der linken Profilhälfte. Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Grus. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm (Abb. 278). Sekundärcarbonat ist in Form weißer und pulveriger Flecken mit Durchmesser bis 5 mm im Feinboden ausgefällt. Der Feinboden ist primärcarbonathaltig, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 13,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $25\,953\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $13\,027\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an organisch gebundenen Eisen  $240\text{ mgkg}^{-1}$  und an Ferrihydrit  $1659\text{ mgkg}^{-1}$ .

### elCc 5–90+ cm

Der Feinboden ist gelbgrau (2,5 Y 5/3) und ein schluffiger Ton. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Grus und kantigen Steinen. In 20 cm unter GOK ist der Horizont reich an Holzkohleflittern. Die Lithologie des Grobbodens sind autochthone bzw. parautochthone Kalksteine und Kalksandsteine des Flyschs. Das Skelett ist nur wenig verwittert,



**Abbildung 278:** Laborergebnisse Profil 170

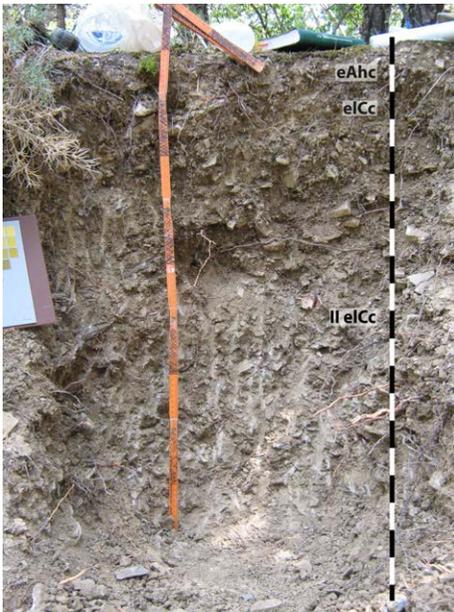
an der Unterseite der Klasten haften Krusten aus Calcit. Der Feinboden enthält Primärcarbonat und Sekundärcarbonat, wobei das Sekundärcarbonat als Konkretionen in den Poren ausgefällt ist. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 34,1 %, die Bodenlösung ist neutral. Der Gesamtgehalt an Eisen nimmt im Horizont mit der Tiefe von  $29\,253\text{ mgkg}^{-1}$  zwischen 5 cm und 30 cm unter GOK auf  $22\,416\text{ mgkg}^{-1}$  an der Basis des Horizonts ab. Der Gehalt organisch gebundenen Eisens nimmt mit der Tiefe von  $64\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $14\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Zwischen 5 cm und 30 cm unter GOK beträgt der Gehalt an Ferrihydrit  $1146\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt an Goethit/Hämatit  $14\,812\text{ mgkg}^{-1}$ . Zur Basis des Horizonts nimmt der Anteil von Ferrihydrit auf  $439\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt an Goethit/Hämatit auf  $10\,624\text{ mgkg}^{-1}$  ab.

### 6.56 Transekt 8 – Profil 172

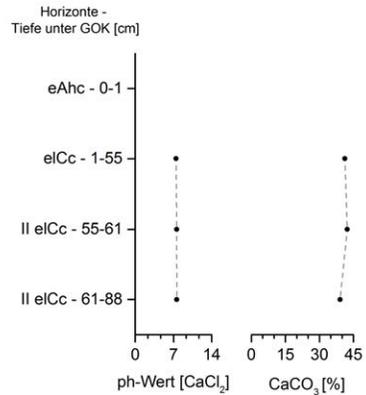
Profil 172 ist im Mittelhang auf dem Flyschsporn angelegt (1142 m ü. M., UTM: 30 T 718074 4718959). Die Hangneigung beträgt  $10^\circ$ . Das Profil ist 88 cm aufgeschlossen, der unverwitterte Flysch wurde nicht erreicht. Um das Profil finden sich keine Hinweise auf die Ablagerung glazialer Sedimente, das Profil befindet sich im pleistozänen Extraglazialbereich. Die Horizontabfolge ist eAhc/eICc/II eICc, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus verlagerter grobbodenführendem Substrat über Flysch (Abb. 279). Die Fazies des hangenden Sediments konnte nicht eindeutig bestimmt werden. Aufgrund des Grobbodenanteils, der parautochthonen Lithologie und der hangparallelen Ausrichtung des Skeletts ist sowohl eine kolluviale als auch eine solifluidale Verlagerung zu berücksichtigen. Die sehr gering ausgeprägte Pedogenese des Profils weist auf eine erosive Profilverkürzung.

#### eAhc 0–1 cm

Der dünne Oberboden ist graubraun (2,5 Y 5/3). Mittels Fingerprobe wurde die Textur als schluffiger Ton ermittelt. Der Feinboden ist carbonatreich ( $\geq c4$ ), wobei Primärcarbonat und Sekundärcarbonat in Form weißer und pulveriger Flecken mit 1 mm Durchmesser im Feinboden ausgefällt sind. Das Gefüge ist krümelig.



**Abbildung 279:** Horizontabfolge Profil 172



**Abbildung 280:** Laborergebnisse Profil 172

### eIcC 1–55 cm

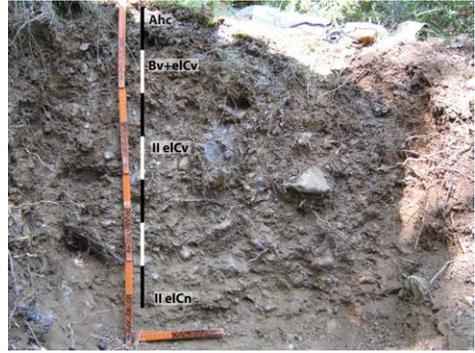
Die Farbe des Feinbodens ist hell graubraun bis graubraun (2,5 Y 5/3 bis 6/3). Der Horizont ist in der rechten Profilhälfte nur etwa 20 cm mächtig, die Untergrenze des Horizonts ist scharf und nach links geneigt. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % und besteht aus plattigem Grus, die Lithologie ist Flysch. Der Feinboden ist wie darüber ein schluffiger Ton, das Gefüge ist schwach subpolyedrisch bis polyedrisch. Nach visueller Einschätzung sind die Klasten parallel zur Schichtuntergrenze eingeregelt. An der Unterseite des Skeletts befinden sich Kalkpseudomycelien im Feinboden. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der CaCO<sub>3</sub>-Anteil im Feinboden beträgt 41,2 % (Abb. 280).

### II eIcC 55–88+ cm

Der Feinboden ist zwischen 55 cm und 61 cm unter GOK graubraun (10 YR 5/4) und geht ab 61 cm in gelbgrau über (2,5 Y 5/3,5). Mittels Fingerprobe wurde die Textur des Feinbodens als schwach schluffiger Ton ermittelt, das Gefüge ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 35 %, an der Unterseite der Klasten haften Verkrustungen mit Calcit. Im Feinboden ist Sekundärcarbonat in Form von Kalkpseudomycelien ausgefällt. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 42,2 % bzw. 39,1 %.

## 6.57 Transekt 8 – Profil 171

Profil 171 ist in 100 m Entfernung zu Profil 172 auf 1131 m ü. M. im Oberhang der Seitenmoräne angelegt (UTM: 30 T 718094 4719005). Die Seitenmoräne geht morphologisch übergangslos in den Flyschsporn über. Großblöcke liegen oberflächlich auf der Seitenmoräne. Der Außenhang der Seitenmoräne hat eine Neigung von 30°, die Hangneigung entlang des Sporns beträgt am Profil 20°. Die Horizontabfolge ist Ahc/Bv+elCv/II elCv/II elCn (Abb. 281), der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina



**Abbildung 281:** Horizontabfolge Profil 171

aus grobbodenarmem Substrat über carbonathaltigem *till* mit eingeregelterm Skelett. Der Feinboden ist im hangenden Sediment fleckenhaft carbonatfrei und verbraunt. Sekundärcarbonat ist in Form weißer Konkretionen und als Kalkpseudomycel ausgefällt. An der Basis des hangenden Sediments und vor allem im *till* haften Calcitkrusten an der Unterseite des Skeletts. Die situmetrischen Untersuchungen des Skeletts lassen mit den einheitlichen Fallwinkeln, aber der uneinheitlichen Streichrichtung keine Differenzierung der Fazies bzw. eventueller post-sedimentärer Überprägung des *tills* zu.

### Ahc 0–3 cm

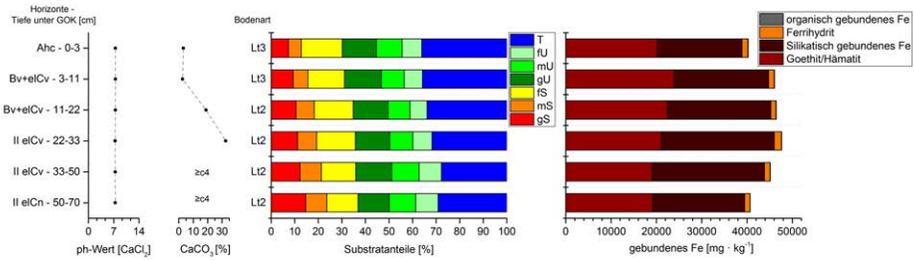
Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Die Körnung des Feinbodens ist ein toniger Lehm, das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$  Gehalt im Feinboden beträgt 3,2 % (Abb. 282), Carbonat liegt in Form von Konkretionen ( $\varnothing$  2 mm) vor. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $40\,278\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit  $20\,162\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $1253\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $125\text{ mgkg}^{-1}$ .

### Bv+elCv 3–33 cm

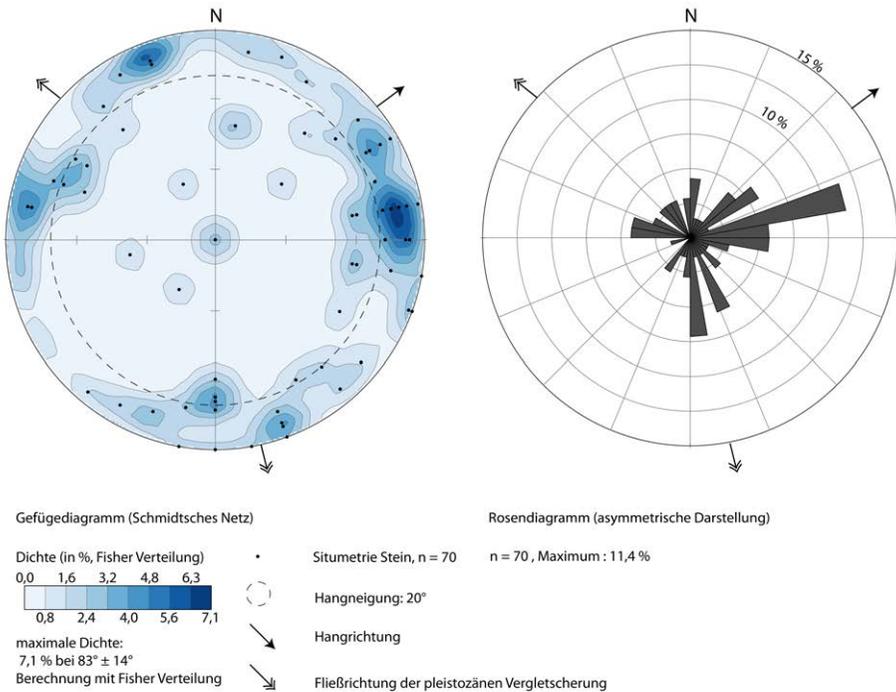
Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der Feinboden ist ein toniger Lehm bzw. ein schwach toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Kies und Grus. Der Feinboden ist im Profil fleckenweise frei von Calciumcarbonat, im Profil sind sekundäre Carbonate als Kalkpseudomycel ausgefällt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil der Laborproben beträgt 2,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Weißes Pilzmycel durchwächst den Feinboden. Der Gesamtgehalt an Eisen beträgt  $46\,078\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $23\,923\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $22\,444\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $1203\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $1090\text{ mgkg}^{-1}$  und die Menge organisch gebundenen Eisens  $101\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $105\text{ mgkg}^{-1}$ .

## II elCv 33–50 cm

Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch. Die Aggregate sind deutlich kleiner als im hangenden Horizont. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 32,5 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Gehalt an  $\text{Fe}_T$  beträgt  $24\,930\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $24\,800\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit  $1554\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $1232\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $1554\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $1232\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens



**Abbildung 282:** Laboreergebnisse Profil 171



**Abbildung 283:** Situ- und Rosendiagramm des Grobbodens Profil 171, 33–80 cm unter GOK

beträgt  $72 \text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $45 \text{ mgkg}^{-1}$ . Die Untergrenze ist deutlich und wellig bis zapfenförmig. Der Grobbodenanteil beträgt 25 %, die Grobbodenfraktion besteht hauptsächlich aus Grus. Die situmetrischen Messungen zeigen drei Hauptrichtungen (Abb. 283), wobei die Ausrichtung in das vom Gállego während des letzten Glazials vergletscherten Seitental im Nordwesten und entlang der Hauptrichtung des Gállegogletschers nach Süden schwächer ausgeprägt ist als die Ausrichtung der Streichrichtung der Seitenmoräne nach Ostnordost. Der Isotropie-Index beträgt 0,34 und der Elongations-Index 0,21, das Skelett weist damit einheitliche Fallwinkel und eine uneinheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30).

## **II eICn 50–80+ cm**

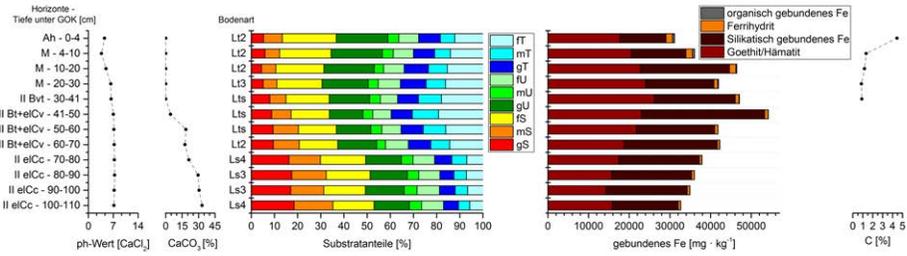
Der Feinboden ist gelbgrau (2,5 Y 5/3), die Textur ist ebenfalls ein schwach toniger Lehm. Der Grobbodenanteil beträgt 35 %. Der Grobboden besteht aus Kies und Grus und wenigen Steinen, wobei die Feingrusfraktion dominiert. Der Feinboden ist mindestens carbonatreich ( $> c4$ ), die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $40\,715 \text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $19\,150 \text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $1189 \text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $41 \text{ mgkg}^{-1}$ .

## **6.58 Transekt 8 – Profil 173**

Profil 173 ist als Schürfgrube im ostexponierten Mittelhang der Seitenmoräne angelegt (1037 m ü. M., UTM: 30 T 718424 4719110). Die Hangform ist konvex-konvex, die Hangneigung beträgt  $28^\circ$ . Das Makrorelief ist wellig und der Hang ist von bis zu 1,5 m tiefen Runsen durchzogen. In den Runsen sind Großblöcke und Blöcke freigelegt. Das Anstehende wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/M/II Bvt/II Bt+eICv/II eICc, der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat mit einer rezenten Lessivierung über dem fossilen Illuvialhorizont einer gekappten Parabraunerde in *till* (Abb. 285). Das Kolluvium hat an der Basis ein OSL-Alter von  $0,85 \pm 0,05 \text{ ka}$ . Die rezente Lessivierung im Kolluvium beschränkt sich auf dünne Toncutane. Im Kolluvium weisen sedimentologische Sortierungseffekte in Form runder Sandsteinfragmente in Grobsandgröße, die von einer tonigen Matrix umgeben sind, auf das junge Alter des Sedimentes, das noch keiner starken Bioturbation unterlag. Der gekappte Illuvialhorizont im liegenden *till* gehört genetisch zu einer älteren Parabraunerdeentwicklung, wobei der zugehörige Eluvialhorizont umgelagert oder erodiert wurde. Die im Profil vorgefundene Horizontabfolge entspricht damit einer Phänoparabraunerde.

## **Ah 0–4 cm**

Der Feinboden ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/3). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer (Abb. 284). Der Gesamtgehalt an Kohlenstoff beträgt 4,4 %. Der



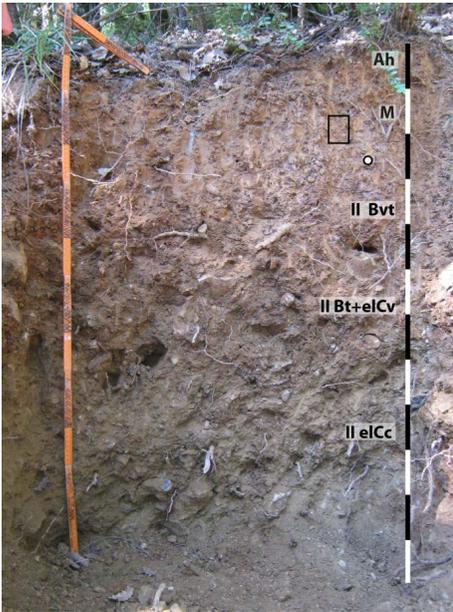
**Abbildung 284:** Laborergebnisse Profil 173

Grobboden besteht aus Feingrus und Kiesen, der Grobbodenanteil beträgt 2 %. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm, Feinsand und Grobschluff betragen zusammen 46 %. Die Tonfraktion enthält 6 % Mittelton und 12 % Feinton. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf, wellig und parallel zur GOK. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $31\,164\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $17\,672\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $1578\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $125\text{ mgkg}^{-1}$ .

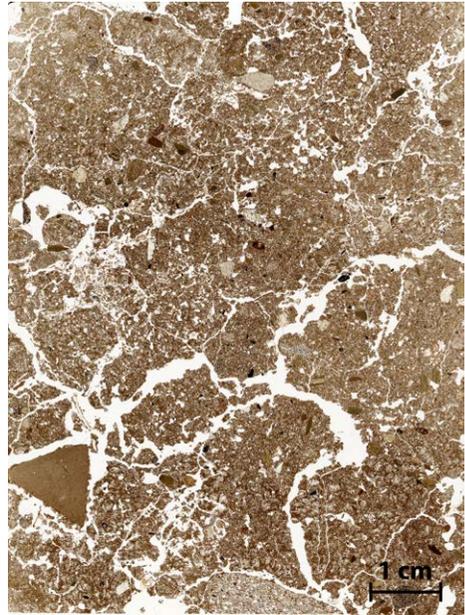
#### M 4–30 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/3). Das Sediment hat bei 25 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $0,85 \pm 0,05\text{ ka}$  (Risø-Nr. 105012, Tab. 2). Der Feinboden ist ein schwach toniger bis toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 286). Die Summe von Feinsand und Grobschluff nimmt mit der Tiefe von 44 % auf 39 % ab. Mittelton und Feinton nehmen mit der Tiefe kontinuierlich auf 8 % bzw. 16 % zu. Der Feinboden ist reich an Holzkohleflittern. Die Bodenlösung ist zwischen 4 cm bis 10 cm unter GOK sehr stark sauer und an der Basis der Schicht bei 20 cm bis 30 cm bereits sehr schwach sauer. Der Gehalt an  $C_T$  beträgt im oberen Bereich 1,4 % und an der Basis 0,9 %. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Kies und Grus. Der Grobboden ist frei von Calcitanhaftungen und teilweise stark verwittert. Weißes Pilzmycel durchwächst nestartig den Feinboden. Die Untergrenze der Schicht ist scharf, wellig und hangparallel.

Das  $c_{50-120\text{ }\mu\text{m}}/f_{5\text{ }\mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*. Die *b-fabric* ist *stipple-speckled* und schwach *granostriated*. In der Matrix finden sich häufig Intraklasten mit Durchmesser um  $1000\text{ }\mu\text{m}$  bis  $2000\text{ }\mu\text{m}$  aus Feinsand und Mittelsand und umgeben von sandarmem tonigen Substrat (Abb. 287 und Abb. 288). Die Intraklasten sind rund bis oval und haben teilweise unverfüllte Poren (Abb. 289 und Abb. 290). Die Feinsandkörner in den Intraklasten sind oft radial konzentrisch angeordnet. Rezente Toncutane im Porenraum und von Turbation oder Umlagerung überprägte Toncutanfragmente sind in



**Abbildung 285:** Horizontabfolge Profil 173; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, der Punkt markiert die Position der OSL-Beprobung



**Abbildung 286:** Übersicht Mikromorphologie Profil 173, 14-22 cm unter GOK

der Matrix eingeschlossen. Die rezenten Toncutane sind meist mehrschichtig und schmutzig bis staubig (Abb. 291 und Abb. 292). Leuchtende Toncutane sind seltener und meist in engen Grobporen zu finden. Die Toncutane sind von Eisenausfällungen braun gefärbt. Die rezenten Toncutane kleiden meist nur den unteren Teil von Poren aus, eine ganzseitige Auskleidung der Poren mit illuvialen Ton ist nur in wenigen Poren vorhanden. Eisenausfällungen mit diffusen Außengrenzen sind schwarmweise in der Matrix und weisen auf Hangzugswasser. Die redoximorphen Eisenausfällungen haben diffuse Außengrenzen und infiltrieren die umgebende Matrix. Die Eisenausfällungen haben Durchmesser von 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ . Calciumoxalatkristalle sind in rezenten und abgestorbenen Feinwurzeln ausgefällt. Die Kristalle sind tetragonal und 20  $\mu\text{m}$  bis 40  $\mu\text{m}$  groß. Opal-Phytolithe bestehen aus bis zu 700  $\mu\text{m}$  langen und 30  $\mu\text{m}$  breiten skelettartigen Kristallen und befinden sich im Verbund im Porenraum, aber auch als Fragmente eingebettet in der Matrix.

### II Bvt 30–41 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer, der Feinboden ist carbonatfrei. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 0,9 %. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 36 %, der Anteil an

Mittelton 10 %, der Feintonanteil 18 %. Bei der Profilsprache wurde eine starke Schwankung der Tongehalte im Horizont beobachtet. Das Gefüge ist polyedrisch und vor allem in den tonigen Bereichen bedecken leuchtende Tonhäutchen die Aggregate und den Grobboden. Der Grobbodenanteil beträgt 20 % und besteht aus allochthonem Grus und Kies, wobei Grus mengenmäßig dominiert. Der Grobboden ist teilweise stark verwittert. Die Untergrenze des Horizonts ist fleckenförmig und scharf. Der  $\text{Fe}_T$ -Anteil beträgt  $47\,111\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit, die ihr Maximum im Profil bildet,  $26\,164\text{ mgkg}^{-1}$ , der Ferrihydritanteil  $888\text{ mgkg}^{-1}$  und der Anteil organisch gebundenen Eisens  $137\text{ mgkg}^{-1}$ .

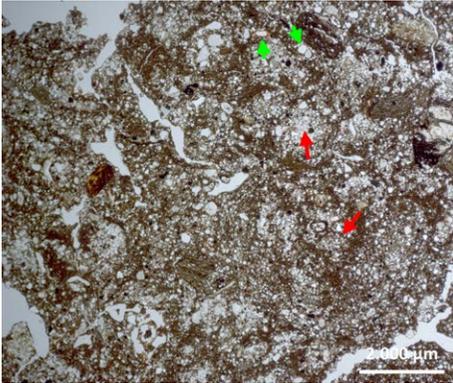
## **II Bt+elCv 41–70 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3,5), wobei rötlichbraune Flecken mit höheren Tongehalten vor allem an der Obergrenze des Horizonts von der grauen und stärker carbonathaltigen Matrix umgeben sind. Der  $\text{CaCO}_3$  Gehalt beträgt zwischen 41 cm und 50 cm unter GOK 4,4 % und steigt im Horizont in 70 cm unter GOK bis auf 17,5 % bzw. 18,5 % an. Die Bodenlösung ist neutral bis sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % und besteht aus Grus und Kies, wobei mengenmäßig Feingrus und Feinkies dominieren. Der Grobboden ist an der Unterseite und an der Hangseite mit Calcitkrusten bedeckt. Der Feinboden ist ein sandig-toniger bzw. schwach toniger Lehm. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. An Aggregaten und am Grobboden haften leuchtend braune Toncutane. Im oberen Bereich des Horizonts bedecken Toncutane die Calcitanhaftungen des Grobbodens. Der  $\text{Fe}_T$ -Anteil erreicht das Maximum des Profils mit  $54\,224\text{ mgkg}^{-1}$  zwischen 41 cm und 50 cm unter GOK und nimmt darunter auf  $41\,858\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $42\,282\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Die Menge an Goethit/Hämatit beträgt an der Obergrenze des Horizonts  $22\,983\text{ mgkg}^{-1}$  und nimmt im Horizont mit der Tiefe auf  $18\,706\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Der Ferrihydritanteil nimmt ebenfalls im Horizont von  $841\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $590\text{ mgkg}^{-1}$  ab, ebenso der Anteil organisch gebundenen Eisens von  $66\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $46\text{ mgkg}^{-1}$ .

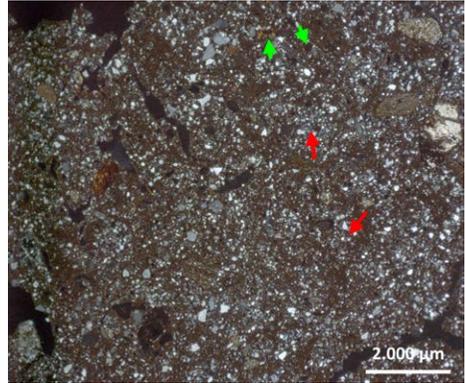
## **II elCc 70–110+ cm**

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der  $\text{CaCO}_3$  Gehalt im Feinboden steigt im Horizont von 21,2 % mit der Tiefe kontinuierlich auf 33,2 % an der Basis des Profils an. Sekundärcarbonat ist in den Poren als Kalkpseudomycel, Rhizolithe und als weiße bis graue Konkretionen bis 2 mm Durchmesser ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % und besteht aus Kies und Grus. Der Grobboden ist teilweise stark verwittert, eine Einregelung ist nicht erkennbar. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger bis stark sandiger Lehm, wobei im Horizont tonigere Bereiche als Flecken an der Obergrenze des Horizonts häufiger vorhanden sind und in Menge und Ausprägung nach unten deutlich abnehmen. Die Summe aus Feinsand und Grobschluff schwankt zwischen 33 % und 35 %. Der Tonanteil nimmt mit der Tiefe von 22 % auf 19 % ab. Der

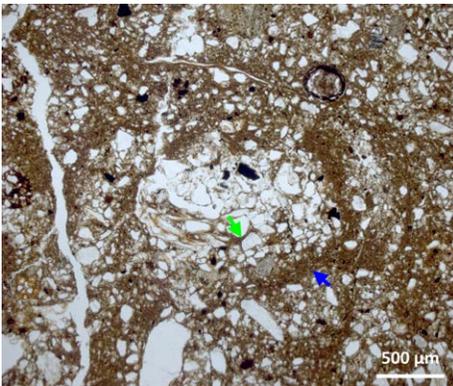
Fe<sub>T</sub>-Anteil nimmt im Horizont zur Basis des Profils von 37 894 mgkg<sup>-1</sup> auf 32 654 mgkg<sup>-1</sup> ab. Goethit/Hämatit nimmt ebenfalls mit der Tiefe von 18 706 mgkg<sup>-1</sup> auf 15 829 mgkg<sup>-1</sup> ab.



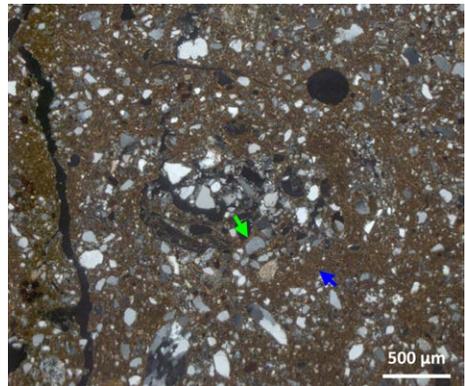
**Abbildung 287:** Intraklasten aus Sandstein eingebettet in lehmiger Matrix (Profil 173, 14–22 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutane; roter Pfeil: Sandsteinfragmente



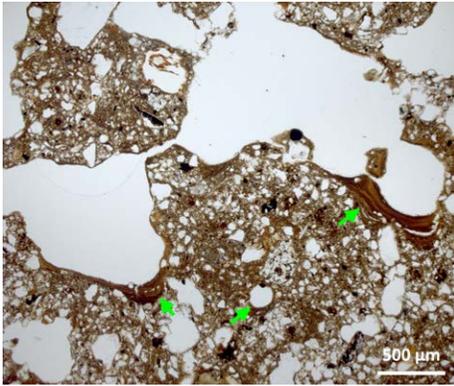
**Abbildung 288:** Intraklasten aus Sandstein eingebettet in lehmiger Matrix (Profil 173, 14–22 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutane; roter Pfeil: Sandsteinfragmente



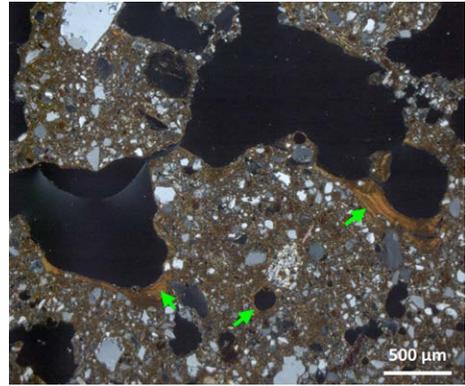
**Abbildung 289:** Sandsteinfragment (Profil 173, 14–22 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan in Sandsteinfragment; blauer Pfeil: lehmiges *coating*



**Abbildung 290:** Sandsteinfragment (Profil 173, 14–22 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan in Sandsteinfragment; blauer Pfeil: lehmiges *coating*



**Abbildung 291:** Rezente Toncutane an der GOK zugewandten Seite der Poren (Profil 173, 14–22 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan



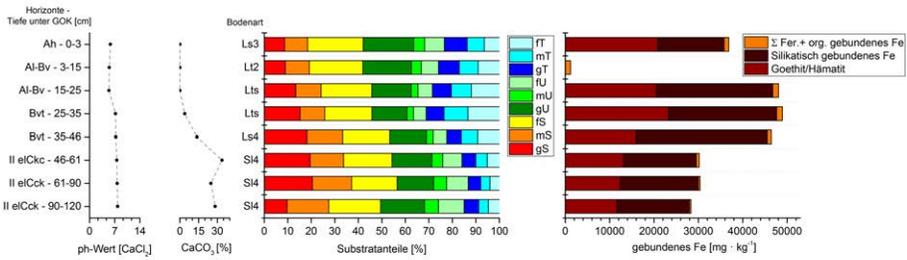
**Abbildung 292:** Rezente Toncutane an der GOK zugewandten Seite der Poren (Profil 173, 14–22 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan

## 6.59 Transekt 8 – Profil 175

Profil 175 ist auf 950 m ü. M. im Ostsüdost-exponierten Mittelhang der Seitenmoräne angelegt (UTM: 30 T 718602 4719155). Die Hangform ist gestreckt-gestreckt, die Hangneigung beträgt 30°. Um das Profil ragen Großblöcke mit Kantenlängen bis 4 m aus dem Hang heraus. Der anstehende Flysch wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Al Bv/Btv/II eICk/II eICk (Abb. 294), der Bodentyp ist eine Braunerde-Parabraunerde aus feinbodenreichem Substrat über carbonatreichem *till*. Die Braunerde-Parabraunerde ist von einer rezenten, im Oberboden und Unterboden biogen induzierten Ausfällung sekundärer Carbonate geprägt. Der *till* ist massiv mit Carbonat verkittet. Das Skelett im *till* ist parallel zur Fließrichtung des pleistozänen Gletschers eingeregelt, das Skelett in dem hangenden feinbodenreichen Substrat ist hingegen parallel zum Hang und damit senkrecht zur Fließrichtung des Gletschers orientiert. Aufgrund des hohen Anteils an Feinsand und Grobschluff und unter Berücksichtigung der hangparallelen Ausrichtung des Skeletts wird das hangende Sediment als Hauptlage angesprochen. Im Gegensatz zu Profil 174 und Profil 173 konnten in der hangenden Schicht in Profil 175 mittels mikromorphologischer Untersuchungen keine umgelagerten Pedorelikte nachgewiesen werden.

### Ah 0–3 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist frei von Carbonaten und locker gelagert (Abb. 293). Die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 45 %, der Tonanteil beträgt 23 %, wobei 7 % auf Mittelton und 6 % auf Feinton entfallen. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %. Ameisengänge weisen auf eine starke Bioturbation. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf.



**Abbildung 293:** Laborergebnisse Profil 175

Die Mikromorphologie ist von ausgeprägten Poren und vielen Wurzeln geprägt (Abb. 295). In der Matrix sind viele Sklerotien mit Durchmessern zwischen 300  $\mu\text{m}$  und 500  $\mu\text{m}$ . Die *b-fabric* ist *granostriated* und *porostriated*, das  $c_{50-120 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*. Feinsand und Grobschluff bestehen fast ausschließlich aus Quarz. Der Feinboden zeigt deutliche Hinweise auf eine Verwürgung bzw. intensive Durchmischung. Feinsandkörner sind taschenartig angeordnet und der den Feinsand umschließende tonige Feinboden zeigt unter Betrachtung mittels gekreuzter Polarisation und Lambdaplatte ebenfalls eine Orientierung entlang der Taschen. Des Weiteren kann eine Einregelung des Tons entlang von Scherflächen mehrfach beobachtet werden. Holzkohlefitter mit Durchmessern von 150  $\mu\text{m}$  bis 800  $\mu\text{m}$  liegen in den Poren oder sind eingebettet in der Matrix (Abb. 298). In abgestorbenen Feinwurzeln befinden sich in der Wurzelrinde Phytolithe aus Calciumoxalat. Hydromorphe Merkmale in Form dunkelbrauner Eisenausfällungen mit diffusen Rändern und Durchmessern zwischen 50  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$  durchsetzen schwarmweise die Matrix. In rezenten Poren sind vereinzelt staubige und schmutzige Toncutane, wobei die Poren mit Durchmessern zwischen 50  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  meist ganzseitig mit Toncutanen ausgekleidet sind. Die Mächtigkeiten der Toncutane schwanken zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 30  $\mu\text{m}$ . Eine rezente Lessivierung wird durch die Präsenz leuchtenden und 50  $\mu\text{m}$  mächtigen Toncutans mit scharfen Auslöschungslinien bei gekreuzten Polarisatoren in einer abgestorbenen und verrotteten Feinwurzel (Wurzel Durchmesser 500  $\mu\text{m}$ ) belegt. Im gesamten Dünnschliff wurden keine *anorthic nodules* oder *disorthic nodules* vorgefunden.

### Al-Bv 3–25 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/3). Die Textur des Feinbodens ist zwischen 3 cm und 15 cm unter GOK ein schwach toniger Lehm, zwischen 15 cm und 25 cm unter GOK ist die Textur ein sandig-toniger Lehm. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 43 % bzw. 38 %. Im oberen Bereich des Horizonts beträgt der Tonanteil 26 %, wobei 8 % auf den Mittelton und 9 % auf den Feinton entfallen. Im unteren Bereich des Horizonts

beträgt der Tonanteil 29 %, der Anteil an Mittelton steigt auf 9 %, der Feintonanteil auf 12 %. Das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 296). Weißes Pilzmycel wächst in den Poren und auf den Aggregaten. Die Bodenlösung ist schwach sauer, der Feinboden ist carbonatfrei reich an Holzkohleflittern. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus stark verwittertem Kies und Grus. Die Untergrenze ist wellig und scharf.

Die *b-fabric* ist *granostriated* und *porostriated*, das  $c_{50-120 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*, Feinsand und Grobschluff bestehen größtenteils aus Quarz (Abb. 299 und Abb. 300). Horizontal gelagerte, 200  $\mu\text{m}$  mächtige Feinsandbänder in Wechsellagerung mit tonigeren Lagen zeugen noch von der sedimentären Genese des Sediments. In den rezenten Poren sind Toncutane mit Dicken zwischen 5  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$  vorhanden, die Toncutane sind schmutzig braun, was für einen großen Anteil organischer Komponenten spricht, und zudem oft von braunen Eisenausfällungen überprägt (Abb. 299 und Abb. 300). Die Toncutane bedecken vor allem die der GOK zugewandten Seiten der Poren. Fein- und Grobboden weisen ebenfalls eine intensive Verbraunung auf. Die Verwitterung führt zur randlichen Auflösung des Grobbodens mit teilweise anschließendem Toneintrag in die Lösungsporen. Der Toneintrag in Grobbodenkomponenten beschränkt sich auf 10  $\mu\text{m}$  bis 20  $\mu\text{m}$  dicke Toncutane, die sich farblich und von der Struktur kaum von den rezenten Toncutanen in der Bodenmatrix unterscheiden. Braune Flecken in der Matrix mit diffusen Rändern und Durchmesser zwischen 50  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$  weisen auf redoximorphe Prozesse. Es wurden keine Hinweise auf die Umlagerung pedogen vorgeprägten Materials wie Toncutanfragmente oder *anorthic/disorthic nodules* im Dünnschliff vorgefunden. Calciumoxalatkristalle sind in der Wurzelrinde rezenter und abgestorbener Feinwurzeln als Phytolithe ausgefällt (Abb. 301 bis Abb. 303). Während in den abgestorbenen Wurzeln die Phytolithe schon von Verwitterung angegriffen sind, was sich in einer schmutzigen Farbe und Zerstörung der Kristalle bemerkbar macht, ist die Kristallmorphologie in den rezenten Wurzeln klar erkennbar.

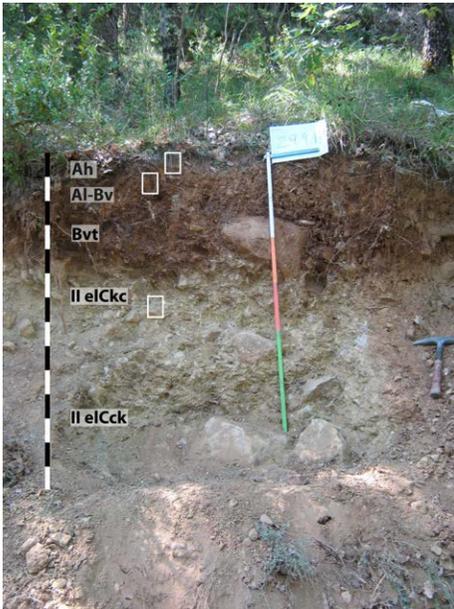
### **Bvt 25–46 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Die Untergrenze des Horizonts ist parallel zur GOK, scharf und wellig. Im Übergangsbereich zum Horizont bzw. zur Schicht darunter ist der Feinboden carbonathaltig. Weißes Pilzmycel durchzieht den Feinboden. Die Textur des Feinbodens ist zwischen 25 cm und 35 cm unter GOK ein sandig-toniger Lehm, zwischen 35 cm und 46 cm ein stark sandiger Lehm. Die Summe aus Grobschluff und Feinton beträgt 35 % bzw. 36 %. Der Tonanteil beträgt im oberen Bereich des Horizonts 31 %, wobei 13 % auf den Feinton und 10 % auf den Mittelton entfallen. Im unteren Bereich des Horizonts beträgt der Tonanteil nur 22 %, der Anteil an Feinton 9 % und der Anteil an Mittelton 7 %. Toncutane bedecken Aggregate und das Skelett, Menge

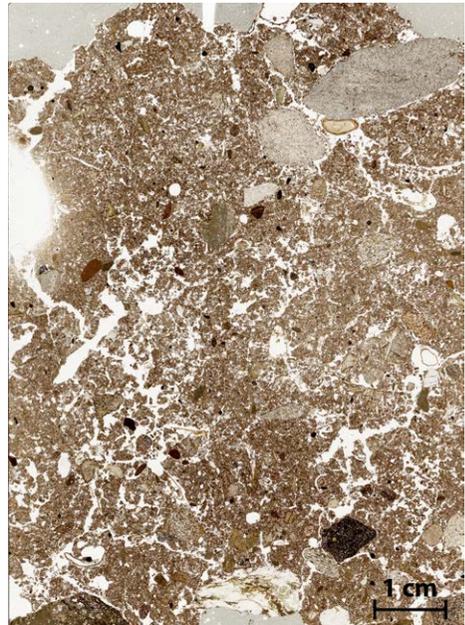
und Ausprägung der Toncutane nehmen zur Basis des Horizonts deutlich ab. Das Gefüge ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 10 % bis 15 %. Der Grobboden ist meist stark verwittert und frei von Calcitverkrustungen. Die situmetrischen Untersuchungen des Grobbodens weisen auf ein Streichen des Skeletts in Hangrichtung, wobei der Fallwinkel ähnlich der rezenten Hangneigung ist (Abb. 310). Der Isotropie-Index beträgt 0,14 und der Elongations-Index 0,39, das Skelett weist damit sehr einheitliche Fallwinkel und eine homogene Streichrichtung auf (Abb. 30).

## II elCkc 46–61 cm

Der Feinboden ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/4). Die Textur des Feinbodens ist ein stark sandiger Lehm. Der Tonanteil beträgt 16 %, wovon 5 % auf den Feinton entfallen. Das Gefüge ist polyedrisch, der Feinboden ist dicht gelagert (Abb. 297). Der Grobbodenanteil beträgt 40 %, der Grobboden ist allochthon und diamiktisch. Die situmetrischen Untersuchungen des Grobbodens weisen auf eine ausgeprägte Nord-Süd-Orientierung des Skeletts, die unabhängig von der rezenten Hangneigung ist (Abb. 311). Der Isotropie-Index beträgt 0,34 und der Elongations-Index 0,45, das Skelett weist damit einheitliche Fallwinkel und eine homogene Streichrichtung auf (Abb. 30). Das Skelett ist ganzseitig mit Calcitanhaftungen bedeckt.



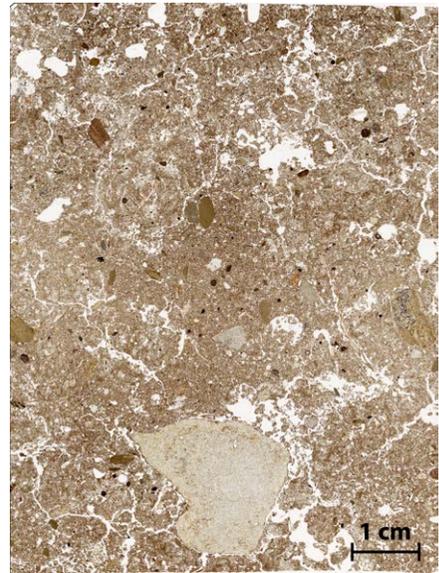
**Abbildung 294:** Horizontabfolge Profil 175; die weißen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung



**Abbildung 295:** Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 0–8 cm unter GOK



**Abbildung 296:** Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 8–16 cm unter GOK



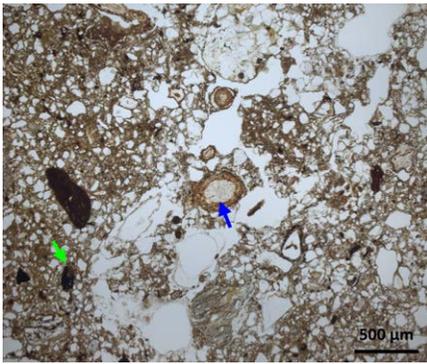
**Abbildung 297:** Übersicht Mikromorphologie Profil 175, 55–63 cm unter GOK

Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 33,7 %, wobei neben Primärcarbonat vor allem Sekundärcarbonate wie Rhizolithen und Konkretionen die Zunahme des  $\text{CaCO}_3$ -Anteils im Vergleich zum Horizont darüber verursachen. Die verkitteten Bereiche sind schwierig grabbar. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $30\,175\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $13\,100\text{ mgkg}^{-1}$  und die Menge an organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit in Summe  $668\text{ mgkg}^{-1}$ .

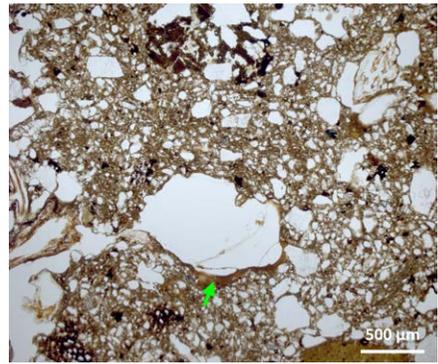
Die mikromorphologischen Untersuchungen zeigen die ausgeprägte Ausfällung sekundärer Carbonate des Horizontes. Die *b-fabric* ist *calcitic crystallitic* und das  $c_{50-120\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric*. Carbonatfreie und lehmige Aggregate haben eine gelbbraune Färbung, die auf eine schwache Verbraunung hinweist. Ausfällung von Mikrit in den Poren und in der Matrix verursacht ein Kittgefüge und die Stabilisierung der Matrix (Abb. 304 bis Abb. 307). An der Unterseite des Skeletts ist sparitischer Calcit auskristallisiert, der aber bereits der chemischen Verwitterung unterlag und von jüngerem Mikrit umgeben ist (Abb. 304 und Abb. 305). Braune Eisenausfällungen in der porennahen Bodenmatrix mit unscharfen Rändern und Durchmesser zwischen  $50\ \mu\text{m}$  und  $80\ \mu\text{m}$  weisen auf einen gelösten Antransport von Eisen und redoximorphe Bedingungen. Die Poren werden teilweise von Netzen aus einzelnen nadelförmigen Calcitkristallen gesäumt oder durchkreuzt, wobei die einzelnen Kristalle zueinander chaotisch gelagert sind und ein unregelmäßiges Netz bilden (Abb. 306 bis Abb. 309). Die Länge der Kristalle variiert zwischen  $10\ \mu\text{m}$  und  $50\ \mu\text{m}$ . Die Säume entlang der Porenränder sind bis zu  $30\ \mu\text{m}$  mächtig.

## II eICck 61–120+ cm

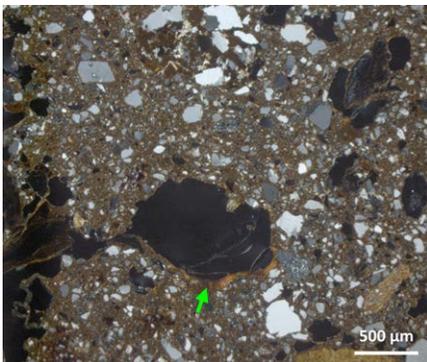
Die Farbe des Feinbodens ist aufgrund des hohen Carbonatanteils fleckig und uneinheitlich, die Farbe variiert von weiß bis gelbgrau (2,5 Y 5/4). Die Textur des Feinbodens ist ein stark lehmiger Sand. Rhizolithe und Verkittungen des Feinbodens sind, wie im Horizont darüber, in der Sandfraktion häufig und neben der glazialen Fazies des Sediments Ursache für die Abnahme der Tonfraktion. Der Horizont ist schwierig grabbar. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 24,9 % bzw. 28,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 40 %, wobei das Skelett größer als im Horizont darüber ist. Das Skelett ist ganzseitig mit Carbonaten verkittet. Die  $\text{Fe}_T$ -Gehalte betragen  $30\,368\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $28\,311\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $12\,330\text{ mgkg}^{-1}$ , die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $358\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $351\text{ mgkg}^{-1}$ .



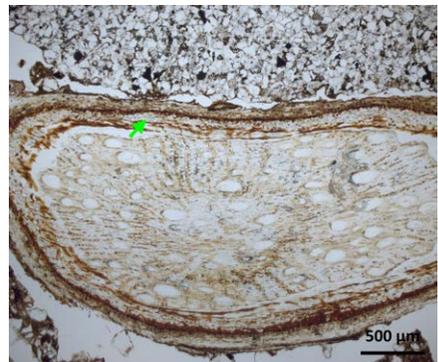
**Abbildung 298:** Biogene Calciumanreicherung im Oberboden (Profil 175, 0–8 cm, LPL); grüner Pfeil: Holzkohle; blauer Pfeil: Wurzel mit Calciumoxalat



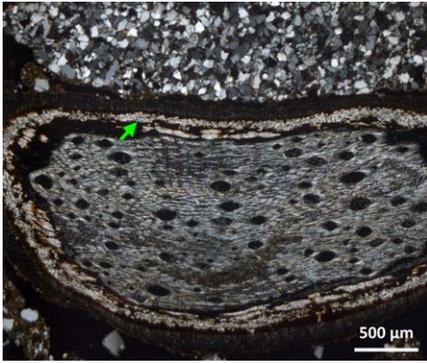
**Abbildung 299:** Verbrauch in der Matrix und Tonverlagerung (Profil 175, 8–16 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan



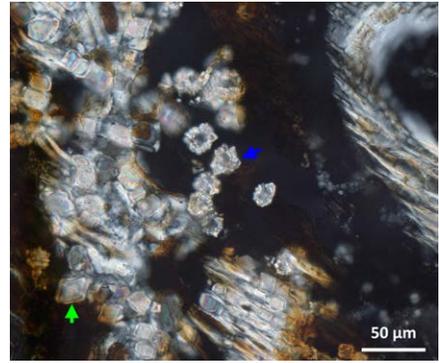
**Abbildung 300:** Verbrauch in der Matrix und Tonverlagerung (Profil 175, 8–16 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan



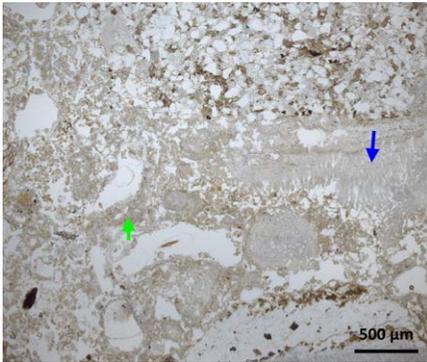
**Abbildung 301:** Biogene Calciumanreicherung im Al-Bv (Profil 175, 8–16 cm, LPL); grüner Pfeil: Calciumoxalat in Wurzelrinde



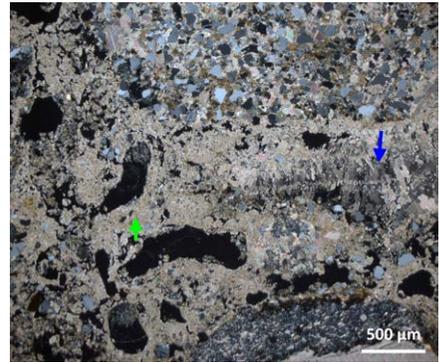
**Abbildung 302:** Biogene Calciumanreicherung im Al-Bv (Profil 175, 8–16 cm, GPL); grüner Pfeil: Calciumoxalat in Wurzelrinde



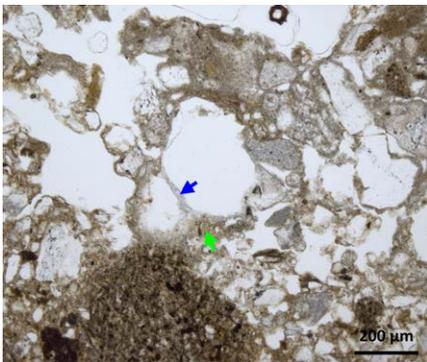
**Abbildung 303:** Variationen der Kristallmorphologie von Calciumoxalat (Profil 175, 8–16 cm, GPL); grüner Pfeil: prismatischer Kristall; blauer Pfeil: Calciumoxalat Phytolith



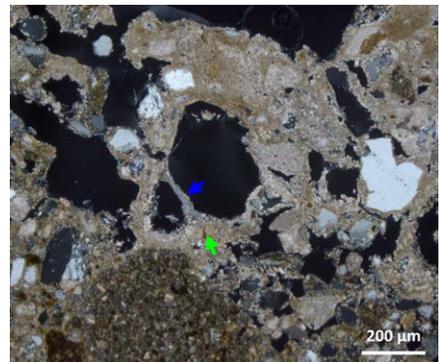
**Abbildung 304:** Calcitausfällungen an der Unterseite von Grobboden und im Porenraum (Profil 175, 55–63 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; blauer Pfeil: sparitischer Calcit



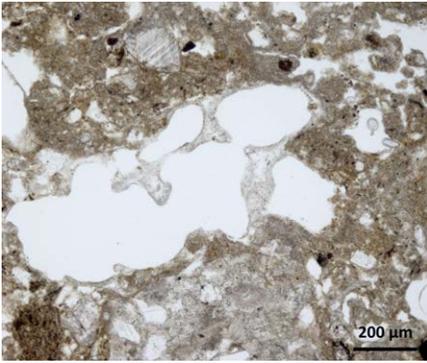
**Abbildung 305:** Calcitausfällungen an der Unterseite von Grobboden und im Porenraum (Profil 175, 55–63 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; blauer Pfeil: sparitischer Calcit



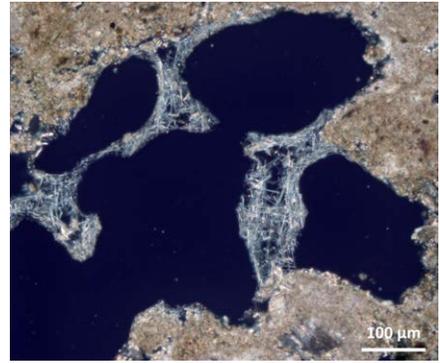
**Abbildung 306:** Verkittung des Feinbodens (Profil 175, 55–63 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; blauer Pfeil: nadelförmiger Calcit



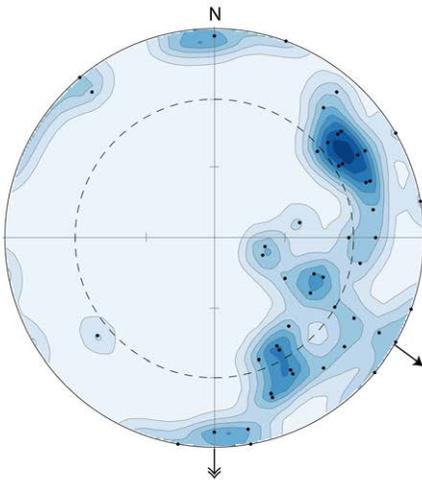
**Abbildung 307:** Verkittung des Feinbodens (Profil 175, 55–63 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; blauer Pfeil: nadelförmiger Calcit



**Abbildung 308:** Brücken aus nadelförmigem Calcit (Profil 175, 55–63 cm, LPL)



**Abbildung 309:** Brücken aus nadelförmigem Calcit (Profil 175, 55–63 cm, GPL)



Gefügediagramm (Schmidtsches Netz)

Dichte (in %)  
 0,9 2,7 4,4 6,2 8,0  
 0,0 1,8 3,6 5,3 7,0  
 maximale Dichte:  
 8 % bei  $55^\circ \pm 28^\circ$   
 Berechnung mit Fisher Verteilung

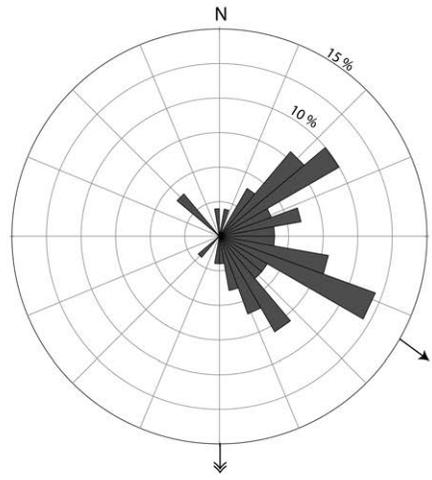


Situmetrie Stein, n = 50

Hangneigung:  $30^\circ$

Hangrichtung

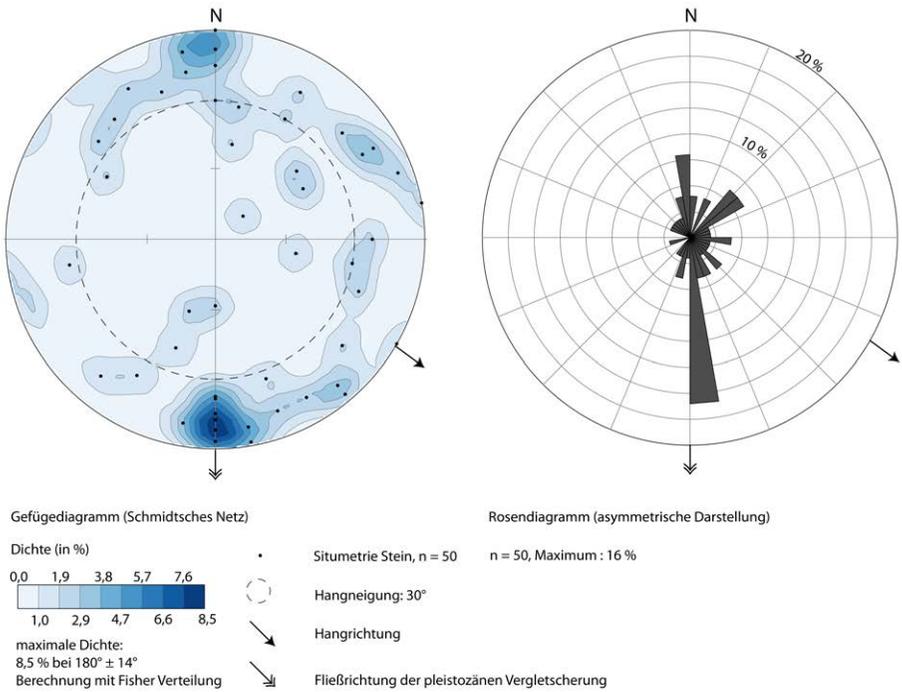
Fließrichtung der pleistozänen Vergletscherung



Rosendiagramm (asymmetrische Darstellung)

n = 50, Maximum : 12 %

**Abbildung 310:** Situmetrie des Grobbodens Profil 175: 20–46 cm unter GOK



**Abbildung 311:** Situmetrie des Grobbodens Profil 175: 46–80 cm unter GOK

### 6.60 Transekt 8 – Profil 174

Profil 174 befindet sich auf 940 m ü. M. im Mittelhang der Seitenmoräne (UTM: 30 T 718653 4719229). Der Hang ist 20° geneigt, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Anstehende wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist Ah/Al-Bv/Bvt/II Bt+eCv/II eCck, der Bodentyp ist eine Braunerde-Parabraunerde aus holozänen kolluvialen Substrat über dem Illuvialhorizont einer gekappten Parabraunerde aus *till* (Abb. 312). Die mikromorphologischen Untersuchungen des hangenden Sediments zeigen neben der Präsenz umgelagerter Pedorelikte, dass das hangende Sediment rezent von Verbraunung und Lessivierung geprägt ist, weswegen der Horizont nicht als Kolluvium kartiert wird. Das hangende Sediment hat in 26 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $7,3 \pm 0,7$  ka und bei 36 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $7,8 \pm 0,7$  ka. An der Basis des Profils ist der *till* mit Sekundärcarbonat verkitet, eine biogene Calciumumlagerung mittels Phytolithen aus Calciumoxalat ist bis in den Oberboden mikromorphologisch nachweisbar.

#### Ah 0–5 cm

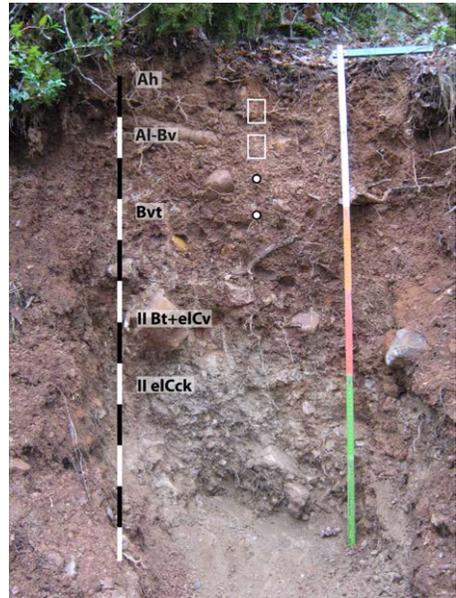
Der Feinboden ist dunkel graubraun bis dunkelbraun (7,5 YR 4/4 bis 4/6), die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Grobschluff und Feinsand betragen in Summe

42 %, der Anteil an Mittelton beträgt 8 % und der Feintonanteil beträgt 12 % (Abb. 313). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %. Die Bodenlösung ist stark sauer, der Feinboden ist carbonatfrei. Der  $C_T$  Anteil beträgt 2,7 %. Die Untergrenze ist diffus, horizontal und eben. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $33\,907\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Goethit/Hämatit  $19\,073\text{ mgkg}^{-1}$  und die Menge an Ferrihydrit  $980\text{ mgkg}^{-1}$ . Das Gehalt organisch gebundenen Eisens beträgt  $653\text{ mgkg}^{-1}$  und bildet damit das Maximum im Profil.

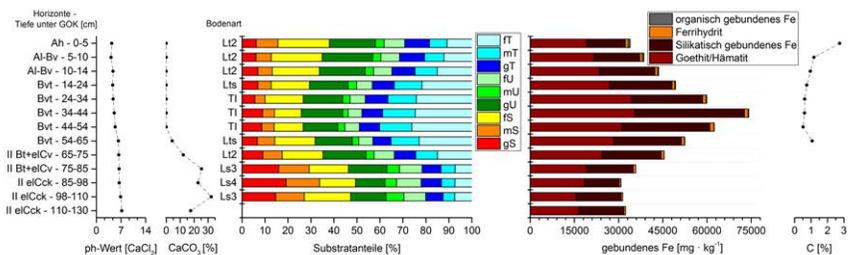
### Al-Bv 5–14 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (5 YR 4/4). Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Grobschluff und Feinsand dominieren den Feinboden und betragen in Summe 44 % bzw. 40 %.

Der Anteil an Mittelton und Feinton nimmt kontinuierlich mit der Tiefe zu. Das Gefüge ist subpolyedrisch, entlang von Rissen und Röhren ist das Gefüge teilweise krümelig. Die Bodenlösung ist stark sauer bis mäßig sauer. Der Feinboden ist carbonatfrei, der  $C_T$ -Gehalt beträgt 1,2 % bzw. 1,0 %. Die Gehalte an  $Fe_T$  nehmen mit der Tiefe von  $38\,560\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $43\,598\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Gehalte an Goethit/Hämatit steigen von  $21\,590\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $23\,467\text{ mgkg}^{-1}$  und Ferrihydrit nimmt von  $896\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $949\text{ mgkg}^{-1}$  mit der Tiefe zu. Die Gehalte organisch gebundenen Eisens verringern sich mit zunehmender Tiefe von  $497\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $343\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Matrix ist von Krümelgefüge und biogenen Poren geprägt (Abb. 314).



**Abbildung 312:** Horizontabfolge Profil 174; die weißen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, die Punkte markieren die Position der OSL-Beprobung



**Abbildung 313:** Laborergebnisse Profil 174

Die *b-fabric* ist *granostriated* und *porostriated*, das  $c_{50-120\ \mu\text{m}}/f_{5\ \mu\text{m}}$  ist *single-spaced porphyric*. Der Feinboden ist teilweise geschichtet und besteht aus wiederholten Abfolgen von Feinsandbändern mit tonigen Zwischenlagen, wobei die Bänder gerade bis gebogen sind. *Anorthic nodules* oder *disorthic nodules* mit rötlichbrauner Matrix, scharfen Außengrenzen und Durchmessern von 600  $\mu\text{m}$  bis 2000  $\mu\text{m}$  heben sich deutlich von der umgebenden graubraunen Matrix ab (Abb. 318 und Abb. 319). Die *anorthic/disorthic nodules* sind rundlich und der Feinsand innerhalb der *anorthic/disorthic nodules* hat eine randparallele Ausrichtung. Fragmente leuchtend oranger Toncutanen innerhalb der *anorthic nodules/disorthic nodules* weisen auf die Aufarbeitung präsedimentär von Lessivierung betroffenen Bodenmaterials. Die *anorthic/disorthic nodules* finden sich auch im direkten Kontakt zu Grobsand bzw. Feinkies und weisen damit auf einen gemeinsamen Transport in Form von Anhaftungen des Feinbodens an Grobbodenkomponenten. Anzeichen von Lessivierung finden sich als leuchtend orangebraune Toncutane in den Lösungsporen von Grobboden (Abb. 316 und Abb. 317) und in stark verzweigten rezenten Poren als 10  $\mu\text{m}$  bis 25  $\mu\text{m}$  dicke, oft schlecht sortierte bzw. staubige Cutane, wobei die Farbe oft dunkelbraun ist (Abb. 320 und Abb. 321). Gut sortierte Toncutane leuchtend orangener Farbe finden sich vor allem in Poren, die auf der Ebene des Dünnschliffs keine direkten Verzweigungen haben (Abb. 320 und Abb. 321). Feinkies und Grobsand sind oft von 50  $\mu\text{m}$  mächtigen *granostriations* aus tonigem bis schluffigem Material umgeben. In den *granostriations* sind Längsachsen des Grobschluffs oft parallel zur Oberfläche des Feinkieses und Grobsands orientiert (Abb. 322 und Abb. 323). Der Ton ist ebenfalls parallel zur Oberfläche orientiert. In Rissen von Grobsand und Feinkies ist Pilzmycel eingewachsen.

#### **Bvt 14–65**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkelrötlichbraun (5 YR 4/6 bis 4/8), mit zunehmender Tiefe geht die Farbe in dunkel graubraun über (5 YR 4/4 bis 4/6). Die Untergrenze des Horizonts ist deutlich und wegen Wurzeln keilförmig. Die OSL-Datierungen ergeben bei 26 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $7,3 \pm 0,7$  ka und bei 36 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $7,8 \pm 0,7$  ka (Risø-Nr. 105012, 105013, Tab. 2). Der Grobbodenanteil schwankt zwischen 5 % und 10 %, die Klasten sind chaotisch gelagert und frei von Calcitanhaftungen. Der Grobboden besteht aus Kies und Grus, Toncutane bedecken die Klasten und die polyedrischen Aggregate des Feinbodens (Abb. 315). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm bzw. lehmiger Ton. Die Summe von Grobschluff und Feinsand schwankt im Horizont zwischen 28 % und 34 %. Der Tonanteil schwankt von 43 % bis 49 %, wobei der Grobtonanteil nur zwischen 8 % und 10 % beträgt. Mittelton mit 12 % bis 14 % und Feinton mit 22 % bis 26 % dominieren die Tonfraktion. Der Gehalt an  $\text{Fe}_T$  schwankt zwischen  $49\ 282\ \text{mgkg}^{-1}$  und  $74\ 130\ \text{mgkg}^{-1}$ , die Gehalte von Goethit/Hämatit zwischen  $26\ 899\ \text{mgkg}^{-1}$  und  $35\ 393\ \text{mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Ferrihydrit betragen zwischen  $969\ \text{mgkg}^{-1}$  und  $1336\ \text{mgkg}^{-1}$ . Die Bodenlösung zwischen

14 cm und 24 cm unter GOK ist mäßig sauer, mit zunehmender Tiefe steigt der pH-Wert kontinuierlich an. An der Basis des Horizonts ist die Bodenlösung sehr schwach sauer. Bei der Profilaufnahme war der gesamte Horizont bis zur Untergrenze frei von Primär- und Sekundärcarbonat. Die Laboranalysen weisen für die unterste Probe zwischen 54 cm und 65 cm einen  $\text{CaCO}_3$  Gehalt von 4,3 % auf, was auf Durchmischung bei der Probennahme mit Material aus dem liegenden Horizont zurückgeführt wird. Der  $\text{C}_T$ -Gehalt nimmt von 0,7 % auf 0,5 % ab, zwischen 54 cm und 65 cm steigt der wegen carbonathaltigen Materials auf 1,1 % an.

Das  $c_{50-120 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*. Sandsteine in Feinkies bis Grobsandgröße sind stark verwittert. Während das Kittmittel der Sandsteine großflächig herausgelöst ist, sind die resistenteren Quarze in Feinsandgröße erhalten geblieben. Die Lösungsporen in Grobsand und Feinkies sind oft von einem markanten Toneintrag geprägt (Abb. 316 und Abb. 317). Die Farbe der leuchtenden bis staubigen Toncutane in den Lösungsporen ist orange bis gelb. Hellbraune *anorthic/disorthic nodules* mit Durchmesser von 200  $\mu\text{m}$  bis 3000  $\mu\text{m}$  unterscheiden sich aufgrund der scharfen Außengrenzen der *anorthic/disorthic nodules* von der graubraunen Matrix (Abb. 318 und Abb. 319). Innerhalb der *anorthic/disorthic nodules* sind fragmentierte Toncutane eingeschlossen. Die *anorthic/disorthic nodules* grenzen oft direkt an Grobsand oder Feinkies, die Gesamtform dieser Strukturen ist häufig rund bis oval, weswegen eine gemeinsame Verlagerung möglich erscheint. Am Grobboden haften porenarme Schluffhauben, die bei der Turbation/Umlagerung nicht zerstört wurden (Abb. 322 und Abb. 323). Sternporen weisen auf eine frühere Verlagerung. Im rezenten Porenraum sind leuchtende staubige Toncutane und schlecht sortierte Cutane entlang der Poren erkennbar, wobei die staubigen Toncutane mengenmäßig dominieren (Abb. 320 und Abb. 321). Die Farbe der rezenten Toncutane ist hellbraun bis braun. Die schlecht sortierten Cutane sind graubraun (Abb. 324 und Abb. 325). Fragmentierte Toncutane befinden sich fern von Poren umgeben von der Matrix. Diese fragmentierten Toncutane sind leuchtend bis staubig, ihre Farbe variiert je nach Textur zwischen orange bei leuchtenden Toncutanen bis hellbraun bei staubigen Toncutanen. Phytolithe aus Calciumoxalat befinden sich in der Rinde abgestorbener Wurzeln (Abb. 326 und Abb. 327).

## II Bt+eICv 65–85 cm

Der Horizont ist aufgrund von Tongehaltsunterschieden, Carbonatgehalt und Grobbodenanteil grau bis rötlichbraun marmoriert. Die von Tonanreicherung betroffenen Bereiche sind als Flecken und zapfenförmig entlang von Wurzeln im Horizont verteilt. Der Carbonatanteil im Feinboden beträgt 12,3 % und 25,3 %. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bzw. sandiger Lehm. Der Tongehalt verringert sich mit der Tiefe deutlich

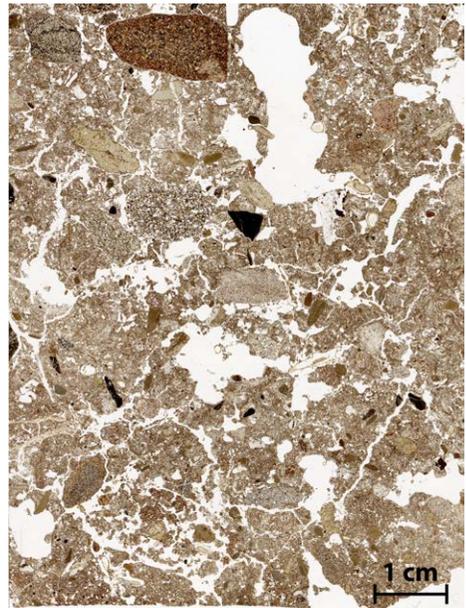
von 34 % auf 22 %, wobei der Feintonanteil die größte Abnahme von 15 % auf 7 % zeigt. Der Grobsandanteil nimmt mit der Tiefe von 9 % auf 16 % zu. Rhizolithe und Verkittungen des Feinbodens mit sekundären Carbonaten sind nur teilweise für die Zunahme verantwortlich, die Zunahme der Sandfraktion ist der sedimentologischen Zusammensetzung des *tills* geschuldet. Der Grobboden ist diamiktisch, der Grobbodenanteil beträgt 35 % bis 40 %. Das Skelett ist teilweise mit Calcitkrusten bedeckt. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt zwischen 65 cm und 75 cm unter GOK noch  $45\,446\text{ mgkg}^{-1}$  und zwischen 75 cm und 85 cm nur noch  $35\,803\text{ mgkg}^{-1}$ . Goethit/Hämatit zeigen ebenso eine deutliche Abnahme von  $24\,240\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $18\,975\text{ mgkg}^{-1}$ . Ferrihydrit und organisch gebundenes Eisen nehmen mit der Tiefe ebenfalls von  $991\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $850\text{ mgkg}^{-1}$  bzw. von  $38\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $12\text{ mgkg}^{-1}$  ab.

## II elCkc 85–130+ cm

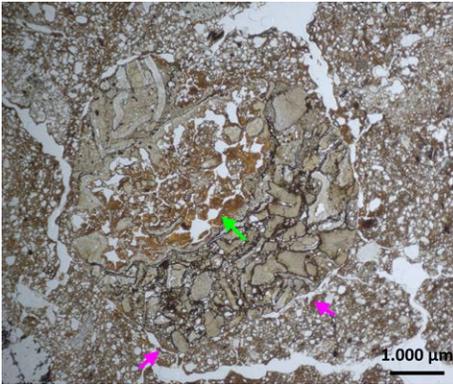
Der Feinboden ist beigebraun. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger bis stark sandiger Lehm. Der Tonanteil beträgt 20 % bzw. 22 %. Der Feintonanteil beträgt 7 % und der Mitteltonanteil beträgt 6 %. Der Feinboden ist teilweise mit Sekundärcarbonat verkittet, aber locker und grabbar. Der  $CaCO_3$ -Anteil schwankt zwischen 17,6 % und 32,4 %, die Bodenlösung ist neutral. Die Menge an  $Fe_T$  nimmt mit der Tiefe von  $30\,778\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $32\,356\text{ mgkg}^{-1}$  zu, die Gehalte an Goethit/Hämatit schwanken zwischen  $18\,384\text{ mgkg}^{-1}$  und  $15\,616\text{ mgkg}^{-1}$  und die Ferrihydritgehalte liegen zwischen  $529\text{ mgkg}^{-1}$  und  $582\text{ mgkg}^{-1}$ .



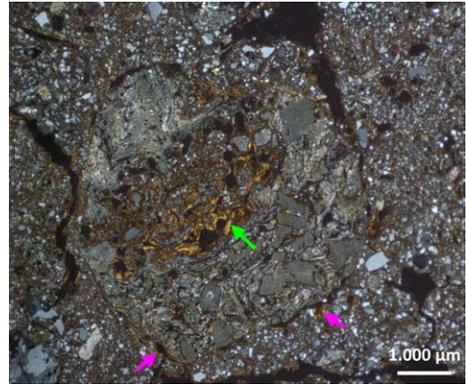
**Abbildung 314:** Übersicht Mikromorphologie Profil 174, 4–12 cm unter GOK



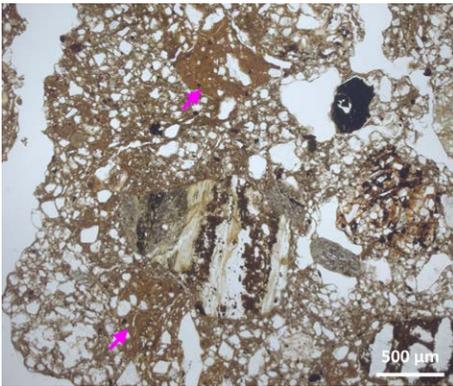
**Abbildung 315:** Übersicht Mikromorphologie Profil 174, 14–22 cm unter GOK



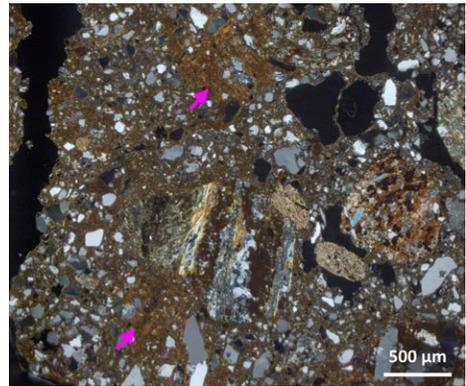
**Abbildung 316:** Toneintrag in Kies (Profil 174, 4–12 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan in Kies; pinker Pfeil: Toncutan im Feinboden



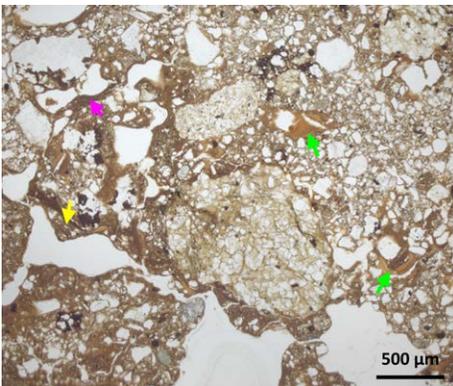
**Abbildung 317:** Toneintrag in Kies (Profil 174, 4–12 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan in Kies; pinker Pfeil: Toncutan im Feinboden



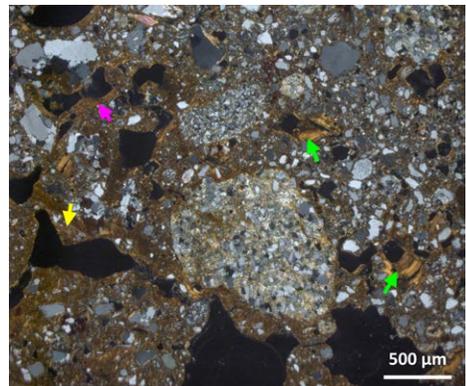
**Abbildung 318:** Intraklasten einer früheren Bodenbildung (Profil 174, 4–12 cm, LPL); pinker Pfeil: Intraklast



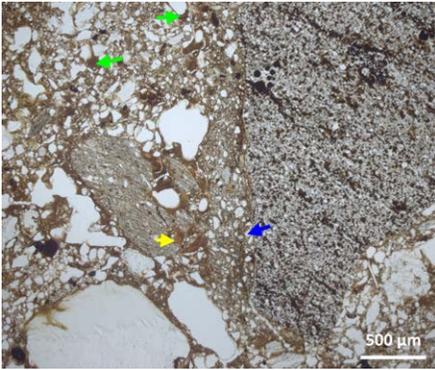
**Abbildung 319:** Intraklasten einer früheren Bodenbildung (Profil 174, 4–12 cm, GPL); pinker Pfeil: Intraklast



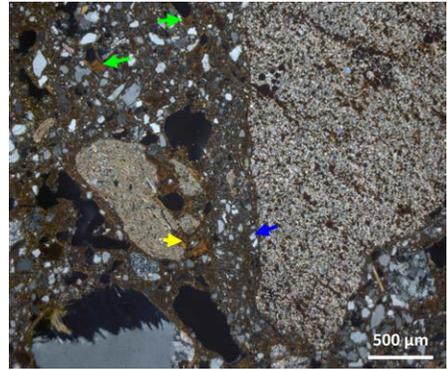
**Abbildung 320:** Rezente Pedogenese (Profil 174, 4–12 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffcutan; gelber Pfeil: unsortiertes Cutan



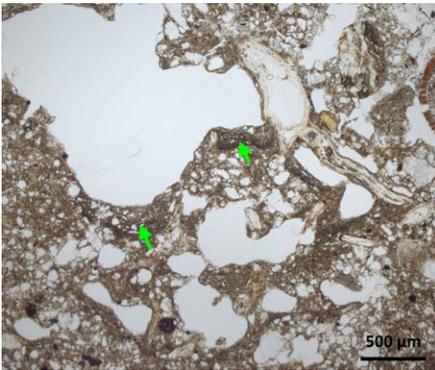
**Abbildung 321:** Rezente Pedogenese (Profil 174, 4–12 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffcutan; gelber Pfeil: unsortiertes Cutan



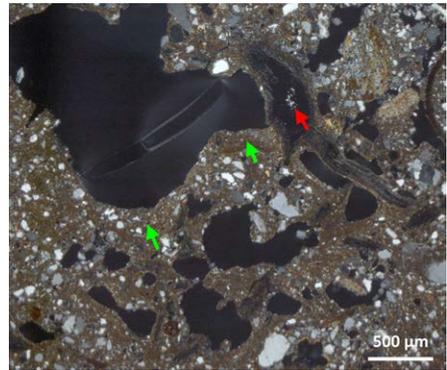
**Abbildung 322:** Reliktische und rezente Merkmale (Profil 174, 4–12 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan in Pore; gelber Pfeil: Toneinspülung in Grobsand; blauer Pfeil: Kiesfragment mit Schluffkappe auf der Seite



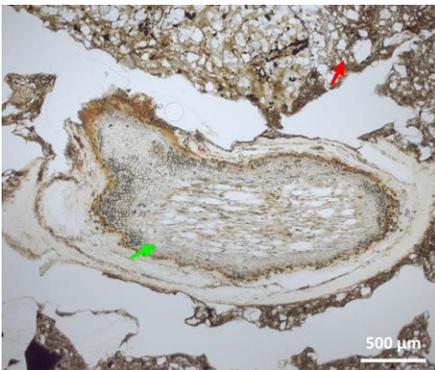
**Abbildung 323:** Reliktische und rezente Merkmale (Profil 174, 4–12 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan in Pore; gelber Pfeil: Toneinspülung in Grobsand; blauer Pfeil: Kiesfragment mit Schluffkappe auf der Seite



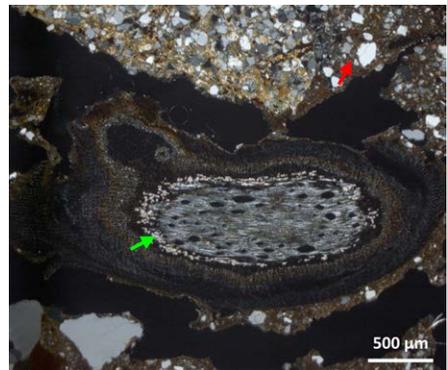
**Abbildung 324:** Sedimenteintrag im Btv (Profil 174, 14–22 cm, LPL); grüner Pfeil: unsortiertes Cutan



**Abbildung 325:** Sedimenteintrag im Btv (Profil 174, 14–22 cm, GPL); grüner Pfeil: unsortiertes Cutan; roter Pfeil: Calciumoxalat



**Abbildung 326:** Biogene Calciumanreicherung im Btv (Profil 174, 14–22 cm, LPL); grüner Pfeil: Calciumoxalat in Wurzelrinde; roter Pfeil: carbonatfreie Matrix



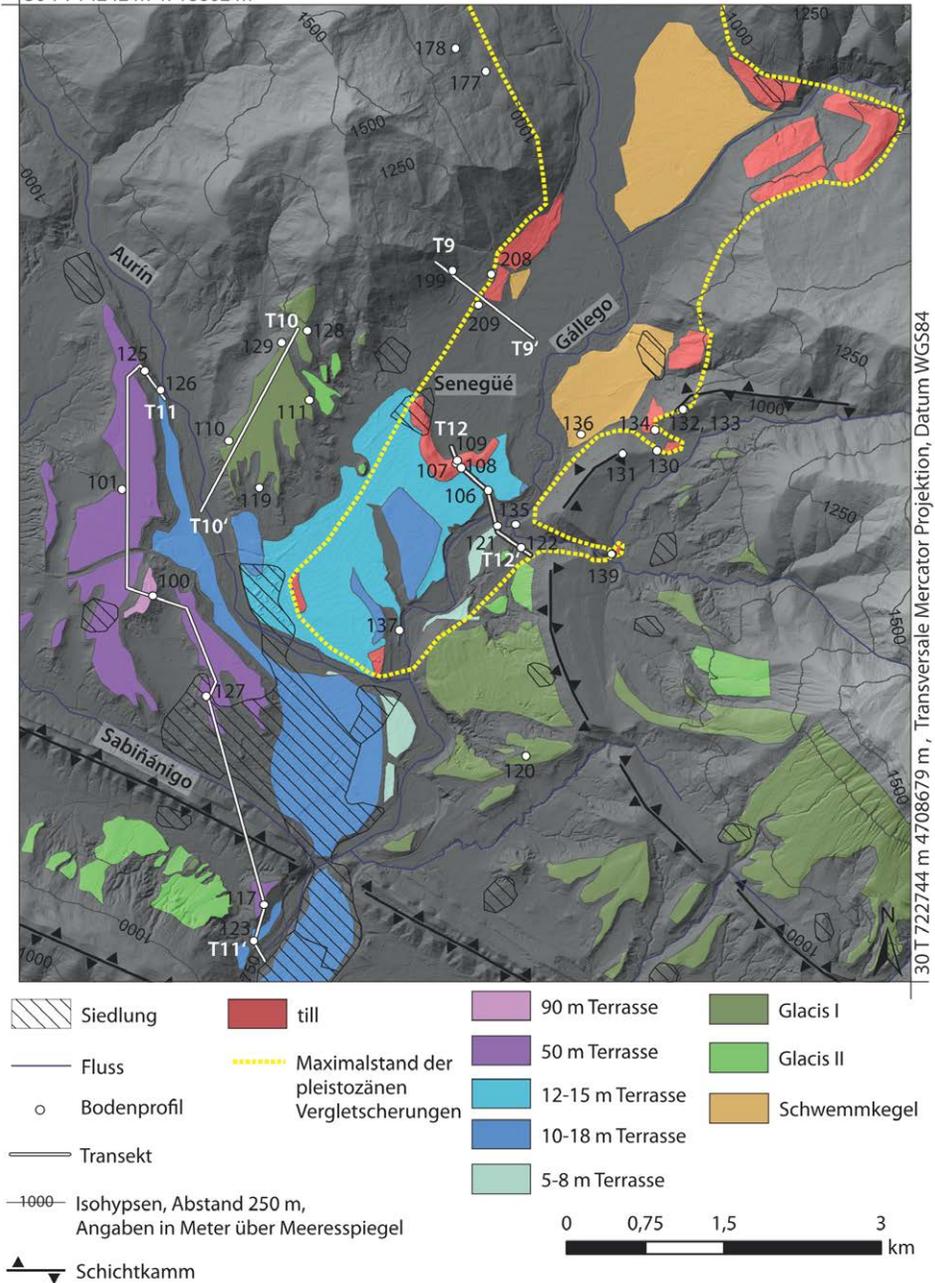
**Abbildung 327:** Biogene Calciumanreicherung im Btv (Profil 174, 14–22 cm, GPL); grüner Pfeil: Calciumoxalat in Wurzelrinde; roter Pfeil: carbonatfreie Matrix

## 6.61 Synthese Transekt 9

Transekt 9 ist im pleistozänen Extraglazialbereich im Gállego-Tal angelegt (Abb. 18, Abb. 328 und Abb. 329), die glazialen Sedimente im Talgrund sind aufgrund der Errichtung von Verkehrsinfrastruktur stark gestört.

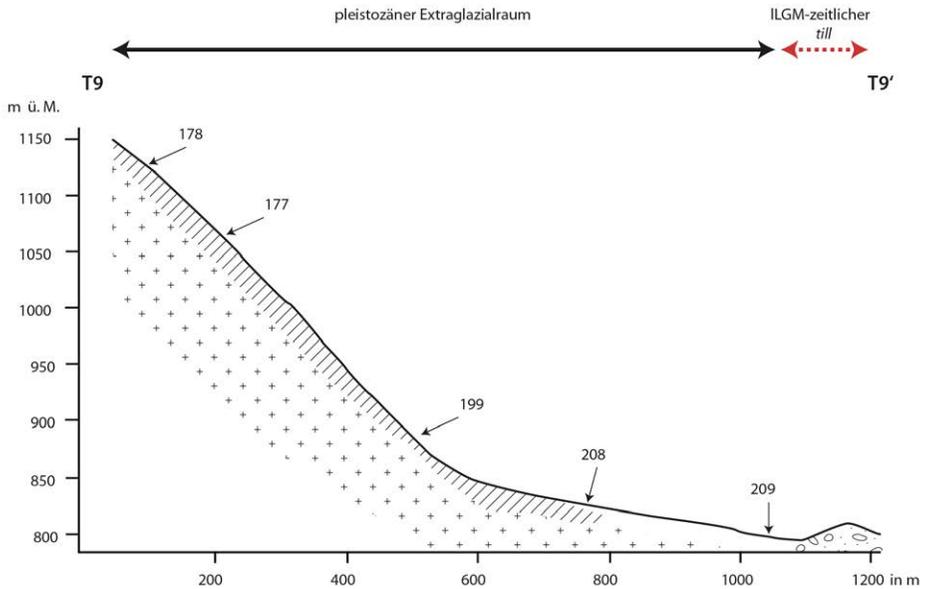
- Die direkt über dem anstehenden Flysch liegenden Basislagen sind skelettreich und die Klasten in Hangrichtung eingeregelt (Profile 177, 178, 199 und 208). Die Basislagen sind teilweise mehrschichtig (Profile 199 und 208) und an der Basis massiv mit Carbonat verkittet (Profil 178).
- Die Schichtenfolge im Hangenden wird in den Profilen 177, 178 und 208 von einem grobbodenarmen Sediment abgeschlossen. Die Genese des meist 20 cm bis 40 cm mächtigen hangenden Sediments kann mangels eindeutiger diagnostischer Merkmale nicht geklärt werden. Die Gehalte an Grobschluff und Feinsand variieren in den Sedimentkomplexen kaum, weswegen eine allochthone äolische Beimengung zu vernachlässigen ist.
- Die bei 20 % bis 25 % liegenden Carbonatgehalte in dem hangenden Sediment sind ähnlich hoch wie im Liegenden, was auf eine geringe Verwitterungsrate hinweist und damit ein junges Alter des obersten Schichtglieds nahelegt. Jedoch könnten Carbonate auch lateral oder vertikal zugeführt worden sein, sodass die fehlende Entcarbonatisierung kein Indikator für das Alter darstellt.
- Runsen im Mittel- und Unterhang (Profil 199) in Verbindung mit feinbodenreichen Sedimentkomplexen mit zwischengeschalteten Grobbodenbändern im Unterhang (Profil 209) weisen darauf hin, dass Erosion die Bodenlandschaft stark verändert hat.
- Die Bodenentwicklung in den carbonathaltigen Sedimenten beschränkt sich entlang des Transekts auf Pararendzinen. Die Oberböden sind geringmächtig und die Kolluvien deuten auf eine Profilverkürzung infolge Bodenerosion.

30 T 714242 m 4718602 m

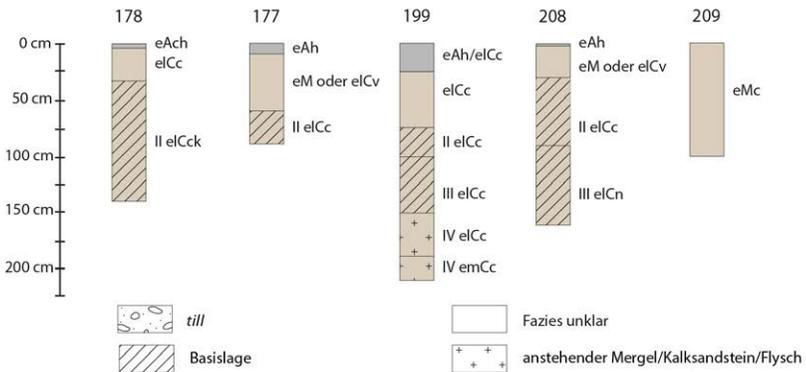


**Abbildung 328:** Topografie und Geomorphologie Teilgebiet 5 (s.a. Beilage 1); Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

## Querprofil Transekt 9



## Böden und Ausgangssubstrate Transekt 9



**Abbildung 329:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 9 (s. a. Beilage 1)

### 6.62 Transekt 9 – Profil 178

Profil 178 befindet sich auf dem ostexponierten Mittelhang im Gállego-Tal auf 1128 m ü. M. (UTM: 30 T 718405 4717585). Die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Profil ist 140 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAch/elCc/II elCck (Abb. 330), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus grobbodenführendem Substrat

über einer Basislage. Der Feinboden im gesamten Profil ist primärcarbonathaltig, Sekundärcarbonat ist in Form von Kalkpseudomycelien und Rhizolithen ausgefällt. In der Basislage sind Feinboden und Grobboden teilweise aufgrund sekundärer Carbonatausfällungen massiv verkittet (Abb. 331).

#### **eAch 0–4cm**

Der Feinboden ist dunkelgraubraun (2,5 Y 4/4), das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, die Kornfraktion ist Grus. Der Feinboden ist carbonatreich (mindestens c4), wobei das Carbonat in primärer und sekundärer Form vorliegt.

#### **elCc 4–33 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (2,5 Y 4/3,5). Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatreich (mindestens c4), weißes Kalkpseudomycel ist in den Poren ausgefällt und Rhizolithe sind in Wurzelröhren vorhanden. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, die Klasten sind an der hangwärtigen Seite und an der Unterseite mit Calcitkrusten bedeckt. Weißes Pilzmycel wächst nestartig im Horizont.

#### **II elCck 33–140 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (2,5 Y 5/4). Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, nach visueller Einschätzung ist der Grobboden teilweise hangparallel eingeregelt. Anhäufungen von Calcit sind an der Unterseite der Klasten, mit zunehmender Tiefe nimmt die



**Abbildung 330:** Horizontabfolge Profil 178



**Abbildung 331:** Verkittung der grobbodenreichen Basislage im II elCck, 3 m südlich von Profil 178

Ausprägung der Calcitkrusten zu und auch die Oberseiten der Grobbodenkomponenten weisen Calcitanhaftungen auf. An der Basis des Horizonts sind die Klasten miteinander verkittet und der Horizont ist nicht mehr grabbar (Abb. 331). Kalkpseudomycel ist in den Poren ausgefällt. Die Lithologie des Grobbodens besteht aus parautochthonen Kalksandsteinen und Kalksteinen, die Kornfraktion der Klasten sind Grus bis kantige Steine.

### 6.63 Transekt 9 – Profil 177

Profil 177 befindet sich auf dem 4° geneigten Mittelhang in 300 m Distanz zu Profil 178 auf 1059 m ü. M. (UTM: 30 T 718693 4717364). Der Standort ist mit in Reihe gepflanzten Kiefern aufgeforstet, zwischen den Baumreihen finden sich Mauerreste hangparalleler Terrassierungen. Die Fazies des hangenden Sediments konnte nicht eindeutig bestimmt werden, der Bodentyp ist entweder ein Kolluvisol aus grobbodenarmen Hangsedimenten über einer Basislage oder eine Pararendzina aus grobbodenarmen Hangsedimenten über einer Basislage. Die Horizontabfolge ist eAh/eM/II eLcC oder eAh/elCv/II eLcC (Abb. 332).



#### eAh 0–10 cm

Der Feinboden ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/2), der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 23,5 %. Kalkpseudomycelien finden sich im Feinboden um rezente und hydrophobe Mycelien. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Das Gefüge des Feinbodens ist krümelig und geht zur Basis des Horizonts in ein Subpolyedergefüge über. Die Körnung des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Fein- und Mittelgrus.

**Abbildung 332:** Horizontabfolge Profil 177

#### eM oder elCv 10–60 cm

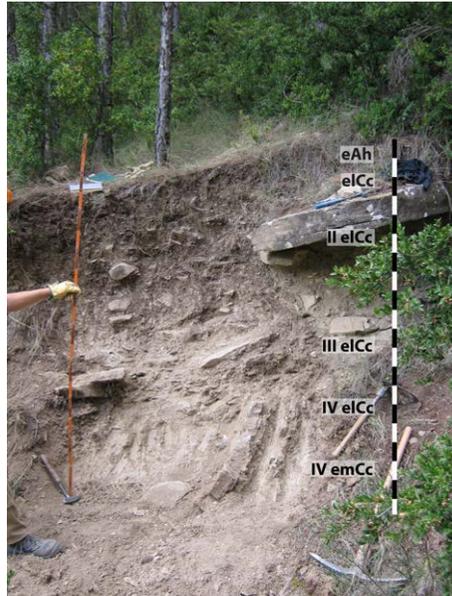
Der Feinboden ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/3), der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 22,8 % bzw. 14,7 %. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht hauptsächlich aus Grobgrus. Carbonatkrusten haften an der Unterseite der Grobbodenkomponenten. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch bzw. neutral. An der Basis der Schicht sind viele Holzkohleflitter im Feinboden, die Schichtuntergrenze ist scharf und eben.

## II e/Cc 60–90+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/3). Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 17,6 %. Der Grobbodenanteil beträgt zwischen 60 und 90 cm unter GOK 40 % und besteht aus Mittelgrus und Grobgrus. Der Grobboden ist an der hangwärtigen Seite und an der Unterseite mit Carbonat verkrustet, teilweise ist das Skelett auch ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden schwach hangparallel eingeregelt.

### 6.64 Transekt 9 – Profil 199

Profil 199 befindet sich auf 877 m ü. M. im Unterhang, die Hangneigung beträgt  $20^\circ$  (UTM: 30 T 718376 4715463). Die Hangform ist gestreckt-gestreckt und mit hangparallel gepflanzten Kiefern aufgeforstet. Mauerreste zwischen den Baumreihen weisen auf eine frühere Terrassierung. Bis zu 3 m tiefe Runsen sind in den Hang eingeschnitten. Das Profil ist in einer Runse angelegt, der anstehende Flysch wurde in 189 cm unter GOK erreicht. Die Horizontabfolge ist eAh/e/Cc/II e/Cc/III e/Cc/IV e/Cc/IV em C (Abb. 333), der Bodentyp ist eine Pararendzina in einem mehrschichtigen Basislagenkomplex über dem anstehenden Flysch.



**Abbildung 333:** Horizontabfolge Profil 199

## eAh/e/Cc 0–74 cm

Die Farbe des Ah ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/2) und das Gefüge ist krümelig. Die Untergrenze des Oberbodens ist diffus. Die Farbe des Unterbodens ist sehr dunkel gelbgrau (2,5 Y 3/3). Der Feinboden ist ein schluffiger bzw. toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden schwankt im Horizont zwischen 32,9 % und 23,3 % (Abb. 334). Sekundärcarbonat ist in Form von Rhizolithen und Kalkpseudomycelien ausgefällt. Calcitkrusten haften an der Unterseite von Steinen. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer bzw. neutral. Der Grobbodenanteil beträgt 15 % und nimmt zur Basis der Schicht auf 20 % zu. Der Grobboden ist nach visueller Einschätzung hangparallel eingeregelt. Die Lithologie besteht aus parautochthonen Kalksandsteinen und Kalksteinen. Die Klasten sind plattig, die Kornfraktion reicht von Grus bis zu kantigen Steinen.

## II elCc 74–100 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 36,6 %, die Bodenlösung ist neutral. Ausgeprägte Ausfällungen sekundärer Carbonate in Form von Rhizolithen und Kalkpseudomycelien durchziehen den Feinboden. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %. Die Textur des Feinbodens ist ein schluffiger Lehm.

## III elCc 100–150 cm

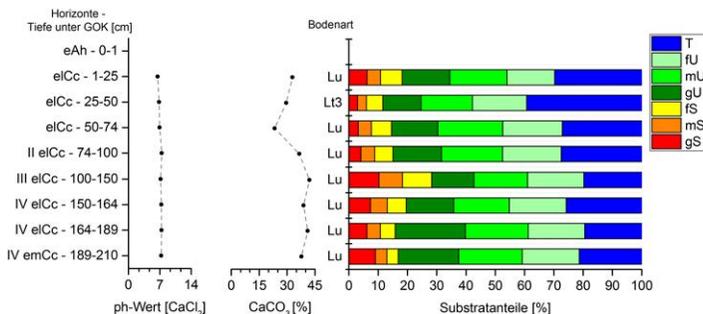
Der Feinboden ist graubraun (2,5 Y 5/4). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 42,0 %, die Bodenlösung ist neutral. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, die Kornfraktion des parautochthonen Grobbodens reicht von Grus über kantige Steine bis zu kantigen Blöcken. Die Klasten sind hangparallel eingeregelt, die Fallwinkel der Klasten schwanken zwischen  $10^\circ$  und  $30^\circ$ .

## IV elCc 150–189 cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (2,5 Y 5/3,5). Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 38,9 % bzw. 41,1 %. Der Grobboden besteht aus autochthonen Komponenten und ist nach visueller Einschätzung deutlich hangparallel eingeregelt. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %. Rhizolithe und Kalkpseudomycelien sind in den Poren und auf Grobbodenkomponenten ausgefällt.

## IV emCc 189–210+ cm

Der Feinboden ist dunkelgelblichgrau (2,5 Y 4/2). Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 37,7 %, die Ausfällung sekundärer Carbonate beschränkt sich auf den oberen Bereich des Horizontes. Der Grobboden besteht aus dem anstehenden Flysch und steht saiger. Die Lithologie des Flyschs sind massive Kalksteine mit dazwischenliegenden feinbodenreichen Lagen aus schluffigem Lehm.



**Abbildung 334:** Laborergebnisse Profil 199

## 6.65 Transekt 9 – Profil 208

Der Unterhang oberhalb des Profils hat eine Neigung von 10°. Das Profil 208 ist an einer anthropogen geschaffenen Hangkante angelegt und 160 cm aufgeschlossen (829 m ü. M., UTM: 30 T 718747 4715431). Das Anstehende wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAh/eM/II eMcC/III eMcN oder eAh/elCv/II eMcC/III eMcN (Abb. 335). Da die Fazies des hangenden Sediments nicht eindeutig identifiziert werden konnte, ist der Bodentyp entweder ein Kolluvisol aus grobbodenarmem Substrat über einem Basislagenkomplex oder eine Pararendzina aus grobbodenarmem Substrat über einem Basislagenkomplex.

### eAh/eM oder eAh/elCv 0–30 cm

Der geringmächtige eAh von 0 cm bis 2 cm unter GOK ist sehr dunkel gelbgrau (2,5 Y 3/3). Der Feinboden ist carbonatreich und locker gelagert (Abb. 336). Der Oberboden ist lückenhaft ausgeprägt. Die Farbe unterhalb von 2 cm unter GOK ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 3/4), die Körnung ist ein schwach toniger Lehm. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, die Klanten sind frei von Calcitanhaftungen. An der Basis des Kolluviums nimmt der Grobbodenanteil zu. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden vor allem an der Basis des Kolluviums chaotisch gelagert, einige Klanten im Kolluvium sind aber hangparallel ausgerichtet.

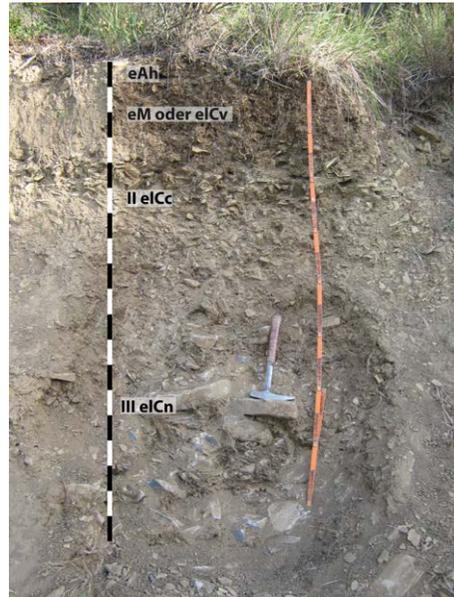


Abbildung 335: Horizontabfolge Profil 208

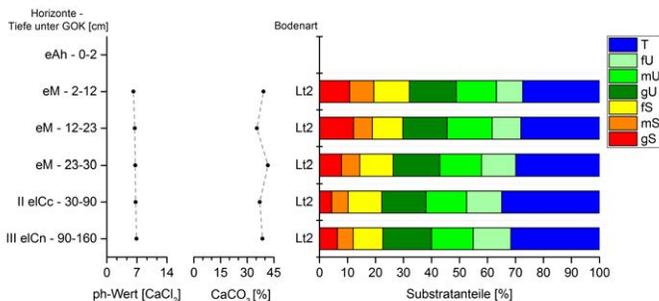


Abbildung 336: Laborergebnisse Profil 208

Der Grobboden besteht aus plattigem Grus. Der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt des Feinbodens schwankt im Kolluvium zwischen 35,1 % und 41,7 %. Die Bodenlösung ist neutral bzw. sehr schwach alkalisch.

### **II eICc 30–90 cm**

Ab 30 cm unter GOK beträgt der Grobbodenanteil 50 %. Er besteht ausschließlich aus plattigem Grus. Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm, die Farbe ist dunkelgelbgrau. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden hangparallel eingeregelt, wobei zwischen den Klasten auch Grobbodenkomponenten mit chaotischer Ausrichtung sind. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 37,1 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Sekundärcarbonat ist als Anhaftungen an der Unterseite von Grobbodenkomponenten und im Feinboden ausgefällt.

### **III eICn 90–160+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel gelblichgrau (2,5 Y 4/2). Der Grobbodenanteil beträgt 60 %, die Kornfraktion des Grobbodens reicht von Grus bis zu Blöcken. Die Lithologie des Grobbodens besteht wie zwischen 30 cm und 90 cm unter GOK aus parautochthonen Kalksteinen und Kalksandsteinen. Nach visueller Abschätzung ist das Skelett hangparallel eingeregelt.

## **6.66 Transekt 9 – Profil 209**

Profil 209 befindet sich am Hangfuß, die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt  $10^\circ$ , der Hang ist konvex-konvex (815 m ü. M., UTM: 30 T 718621 4715130). Der Standort wird ackerbaulich genutzt und Runsen sind randlich in den Acker eingeschnitten. Das Profil ist in einer Runse angelegt und 100 cm aufgeschlossen, das Anstehende wurde nicht erreicht (Abb. 337). Der Bodentyp ist ein feinbodenreicher Kolluvisol mit zwischengeschalteten Grobbodenlagen (Abb. 338).

### **eMc 0–100+ cm**

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (2,5 Y 5/4). Der Feinboden ist carbonatreich, Sekundärcarbonat ist als Kalkpseudomycel in den Poren ausgefällt. An der Geländeoberkante und im Profil sind Grobbodenlagen aus parautochthonen Kalksteinen und Sandsteinen vorhanden.



**Abbildung 337:** Profil 209 in dem von Runsen zerschnittenen Hangfuß



**Abbildung 338:** Aufschluss Profil 209

## 6.67 Synthese Transekt 10

Transekt 10 ist auf dem Glacis am Hangfuß des Punta Güe (1572 m ü. M.) angelegt (Abb. 18, Abb. 328 und Abb. 341). Im Randbereich des Glacis ist der anstehende Mergel zu *badlands* erodiert und zeugenbergähnliche Reste des Glacis (Glacis II) sind dem Hauptglacis vorge-lagert (Glacis I). Von Wurzeln fixierte Reste des grobbodenreichen Sediments belegen eine markante Umgestaltung der Landschaft durch Bodenerosion (Abb. 339 und Abb. 340).

- Sedimentologisch besteht das Glacis aus einem dreischichtigen Komplex, der über dem anstehenden Mergel liegt. Ein etwa 0,4 m mächtiges grobbodenarmes Sediment bildet den Abschluss im Hangenden und ist aufgrund der ackerbaulichen Nutzung durch die Pflugwirkung überprägt. Die hohen Gehalte an Grobschluff und Feinsand des hangenden Sediments ( $\sum_{fs,gu} = 33\% \text{ bis } 50\%$ ) werden als Hinweis auf einen äo-lischen Eintrag allochthoner Substrate in Form von Löss und damit eine Hauptlagen-genese interpretiert (Profile 110 und 111). Mit einer scharfen Untergrenze befindet sich unterhalb der Hauptlage ein grobbodenreiches Sediment, das ebenfalls einen hohen Anteil an Feinsand und Grobschluff hat ( $\sum_{fs,gu} = 33\% \text{ bis } 40\%$ ) und aufgrund der Stratigrafie und Eigenschaft als Mittellage interpretiert wird. Das Liegende des Sedi-mentkomplexes bildet ein meist 1 m bis 2 m mächtiges und skelettreiches Sediment, das Skelett besteht aus parautochthonen und plattigen Kalksandsteinen. Situmetri-sche Untersuchungen des Skeletts zeigen eine solifluidale Verlagerung an, weswegen das liegende, grobbodenreiche Sediment des Glacis als Basislage interpretiert wird.
- Kolluvien im Oberhang des Glacis (Profil 128) und die im Vergleich zu Profil 110 und Profil 111 nur schwach ausgeprägte Bodenentwicklung in Profil 129 belegen mit dem erosiv verkürzten Profil 119 Bodenerosion als bedeutenden Faktor bei der Landschaft-sentwicklung.
- Der Feinboden im Unterboden von Profil 110 und Profil 111 weist mit der rotbraunen Bodenfarbe bei Carbonatgehalten von 5 % bis 21 % und der Untersuchung der pedo-genen Oxide auf die Bildung von Hämatit und Goethit. Die Korngrößenanalysen in Profil 110 belegen, dass weder die Hauptlage noch die Mittellage lessiviert sind.
- In den grobbodenreichen Basislagen sind in den Poren Sekundärcarbonate ausgefällt, die Basislagen sind aber noch grabbar. An der Unterseite des Grobbodens haften Cal-citkrusten.

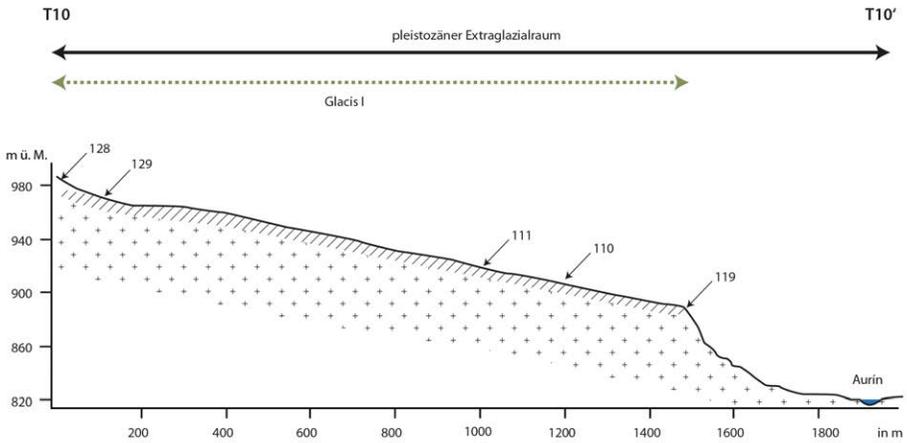


**Abbildung 339:** Von Buchsbestand fixierte Reste eines 4 dm mächtigen skelettreichen Sediments über dem anstehenden Mergel

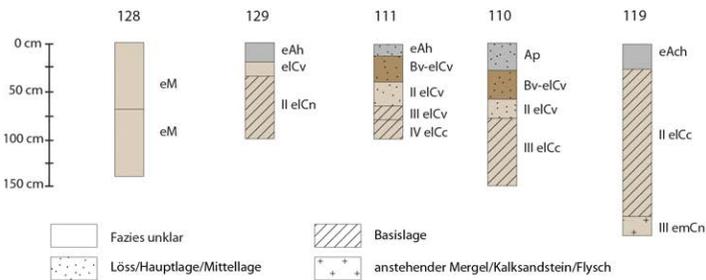


**Abbildung 340:** Von Baumwurzeln fixierter Rest einer 1,2 m mächtigen Basislage

**Querprofil Transekt 10**



**Böden und Ausgangssubstrate Transekt 10**



**Abbildung 341:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 10 (s. a. Beilage 1)

## 6.68 Transekt 10 – Profil 128

Profil 128 liegt auf 989 m ü. M. an der Ostkante des Glacis (UTM: 30 T 716990 4714888). Das Profil ist 140 cm aufgeschlossen, der anstehende Mergel wurde nicht erreicht. Im Profil sind zwei Kolluvien aufgeschlossen, eine Horizontierung ist nicht erkennbar (Abb. 342). Das hangende Kolluvium von 0 cm bis 70 cm unter GOK ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3). Der Feinboden ist carbonatreich und auf den obersten 10 cm krümelig. Darunter ist das Gefüge polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, das Skelett besteht aus plattigem Sandstein. Das liegende Kolluvium ist deutlich kompakter und schlechter grabbar als darüber.



Abbildung 342: Horizontabfolge Profil 128

## 6.69 Transekt 10 – Profil 129

Profil 129 liegt auf 972 m ü. M. am nördlichen Ende des Glacis an der Westkante (UTM: 30 T 716745 4714778). Das Profil ist 100 cm gegraben, der anstehende Mergel wurde nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAh/elCv/II elCv (Abb. 343), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus skelettführendem Substrat über einer skelettreichen Basislage.

### eAh 0–20 cm und elCv 20–35 cm

Der Feinboden ist dunkel gelbgrau (2,5 Y 4/3) und ist carbonatreich, wobei das Calciumcarbonat als Primärcarbonat vorliegt. Die Körnung des Feinbodens ist ein schluffiger Ton, der Grobbodenanteil beträgt 10 %. Der Grobboden besteht aus plattigem Grus, die Lithologie des Skeletts sind Kalksandsteine und Kalksteine. Die Schichtuntergrenze ist scharf und eben.



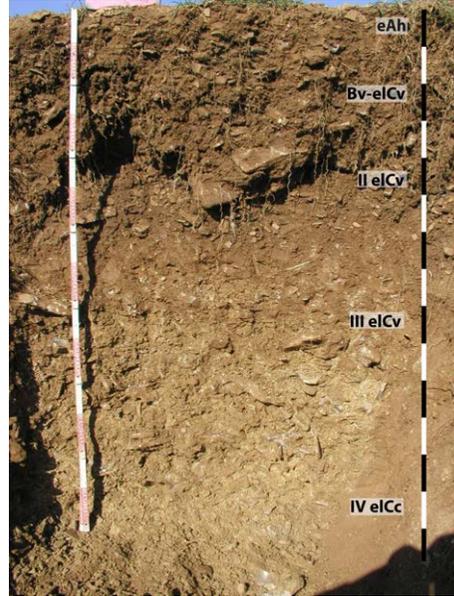
Abbildung 343: Horizontabfolge Profil 129

## II eICn 35–100+ cm

In 35 cm unter GOK steigt der Grobbodenanteil markant auf 50 % an. Nach visueller Einschätzung ist der Grobboden hangparallel eingeregelt und an der Unterseite der klastenhaften Verkrustungen aus Calcit. Die Farbe des Feinbodens ist wie darüber.

### 6.70 Transekt 10 – Profil 111

Profil 111 ist an der Ostkante des Glacis im Mittelhang auf 920 m ü. M. angelegt (UTM: 30 T 717040 4714099). Der Hang ist vertikal gestreckt und horizontal sehr schwach konvex, die Hangneigung beträgt 3°. Der anstehende Mergel wurde in der Profilgrube nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAh/Bv-elCv/II eICv/III eICv/IV eICc (Abb. 344), der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina in einer Abfolge von skelettführender und solifluidal geprägter Hauptlage und Mittellage über einer skelettreichen und solifluidal verlagerten Basislage. Die skelettreiche Basislage ist analog zu Profil 110 und Profil 119 parautochthon und solifluidal verlagert worden.



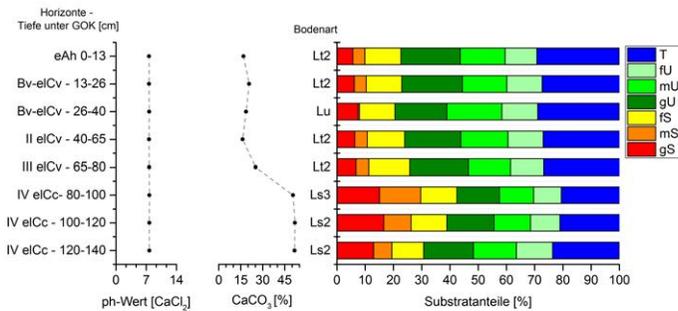
#### eAh 0–13 cm

Die Farbe des Ah ist dunkel graubraun (10 YR 4/4). Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm ( $\sum_{fs,gu} = 34\%$ ), das Gefüge ist krümelig. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 16,9 % und die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch (Abb. 345).

**Abbildung 344:** Horizontabfolge Profil 111

#### Bv-elCv 13–40 cm

Der Bv-elCv reicht von 13 cm bis 40 cm unter GOK und ist graubraun (10 YR 4/4 bis 5/4). Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm bzw. schluffiger Ton ( $\sum_{fs,gu} = 34\%$  bzw. 31 %). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 20,8 % bzw. 18,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil in der hangenden Schicht beträgt 30 %, wobei in Richtung Basis Anteil und Größe des Skeletts zunehmen. Nach visueller Einschätzung sind die Klasten schwach hangparallel eingeregelt.



**Abbildung 345:** Laborergebnisse Profil 111

### II elCv 40–65 cm

Die Farbe des Feinbodens ist hell graubraun (10 YR 4/4), die Textur ist ein schwach toniger Lehm ( $\sum_{fS, gU} = 33\%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 16,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Zwischen 40 cm und 65 cm unter GOK nimmt der Feinbodenanteil im Vergleich zur hangenden Schicht deutlich ab.

### III elCv 65–80 cm

Der Feinboden ist gelblichbraun (10 YR 5/6), die Textur ist ein schwach toniger Lehm ( $\sum_{fS, gU} = 35\%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 25,2 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der III elCv zwischen 65 cm und 80 cm unter GOK unterscheidet sich von der hangenden Schicht durch einen höheren Feinbodenanteil.

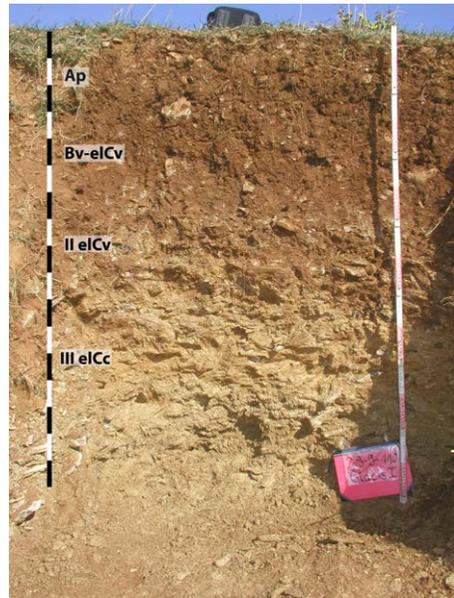
### IV elCc 80–100 cm

Im IV elCc ist zwischen 80 cm und 100 cm unter der GOK der Feinboden gelbgrau (2,5 Y 5/4) und zwischen 100 cm und 140 cm unter GOK dunkel gelbgrau (2,5 Y 6/4). Die Körnung ist ein sandiger bzw. schwach sandiger Lehm. Der Feinbodenanteil ist geringer als in der hangenden Schicht. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger bzw. schwach sandiger Lehm ( $\sum_{fS, gU} = 28\%$  bzw.  $29\%$ ). Nach visueller Abschätzung ist der Grobboden hangparallel und dachziegelartig eingeregelt. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 50,6 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

## 6.71 Transekt 10 – Profil 110

Profil 110 liegt an der Westkante des Glacis im Mittelhang auf 904 m ü. M. (UTM: 30 T 717040 4714099). Der Hang ist vertikal gestreckt und horizontal sehr schwach konvex, die Hangneigung beträgt  $2^\circ$ . Das Glacis wird ackerbaulich genutzt, am steilen abfallenden Westhang wachsen einzelne Buchsbüsche. Das Profil ist 150 cm aufgeschlossen, wobei der

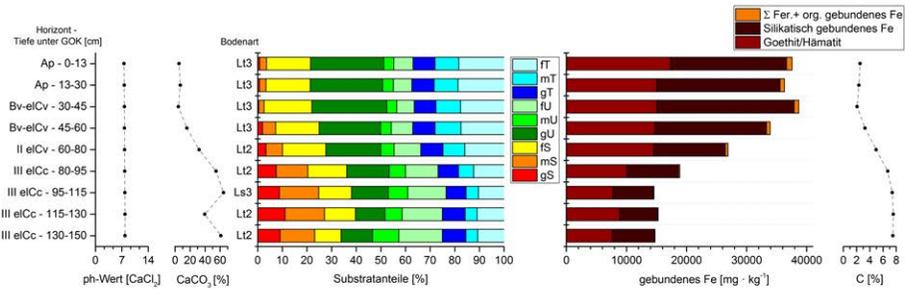
anstehende Mergel in 300 cm unter GOK nur weiter unterhalb am Steilhang aufgeschlossen ist. Die Horizontabfolge ist Ap/Bv-elCv/II elCv/III elCc (Abb. 346), der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina in einer Hauptlage und Mittellage über einer skelettreichen Basislage. Der Feinboden in der Hauptlage ist trotz des Primärcarbonats verbraunt, die Gehalte an Goethit/Hämatit nehmen mit der Tiefe ab (Abb. 347). Die Gehalte an Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen sind gering. Die Feintonanteile zeigen in der Hauptlage keine Schwankungen. Eine Lessivierung hat wohl aufgrund der hohen Carbonatgehalte noch nicht begonnen. Der II elCv der Mittellage stellt aufgrund der mit der Tiefe abnehmenden  $Fe_T$ -Gehalte einen Übergangsbereich zwischen der hangenden grobbodenarmen Hauptlage und der grobbodenreichen Basislage dar. Der Schutt der Basislage ist parautochthon, und die Situmetrie belegt aufgrund der einheitlichen Fallwinkel und der einheitlichen Streichrichtung eine solifluidale Verlagerung. Die hohen Anteile an Grobschluff und Feinsand der Hauptlage weisen auf die äolische Fazies des allochthonen Substrats.



**Abbildung 346:** Horizontabfolge Profil 110

### Ap 0–30 cm

Der Ap zwischen 0 cm und 30 cm unter GOK ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/8), die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm ( $\sum_{fs,gu} = 48\%$  bzw. 47%). Die Tongehalte liegen um 37%, der Feintonanteil beträgt 18% (Abb. 347). Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch, wobei die Ausprägung des Subpolyedergefüges mit der Tiefe zunimmt. Zahlreiche Wurmgänge und Wurzelröhren belegen eine intensive Bioturbation. Der Feinboden hat einen  $CaCO_3$ -Anteil von 5,3% bzw. 7,0%, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die  $C_T$ -Gehalte betragen 2,5% und 2,4%, dies entspricht abzüglich des  $CaCO_3$ -Anteils  $C_{org}$ -Gehalten von 2%. Der Grobbodenanteil beträgt 5%, wobei die Klatten teilweise senkrecht im Profil stehen, was auf Pflügen zurückgeführt wird. Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen  $37\,560\text{ mgkg}^{-1}$  und  $36\,294\text{ mgkg}^{-1}$ , Goethit/Hämatit  $17\,333\text{ mgkg}^{-1}$  und  $15\,028\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen  $918\text{ mgkg}^{-1}$  und  $756\text{ mgkg}^{-1}$ .



**Abbildung 347:** Laborergebnisse Profil 110

### Bv-elCv 30-60 cm

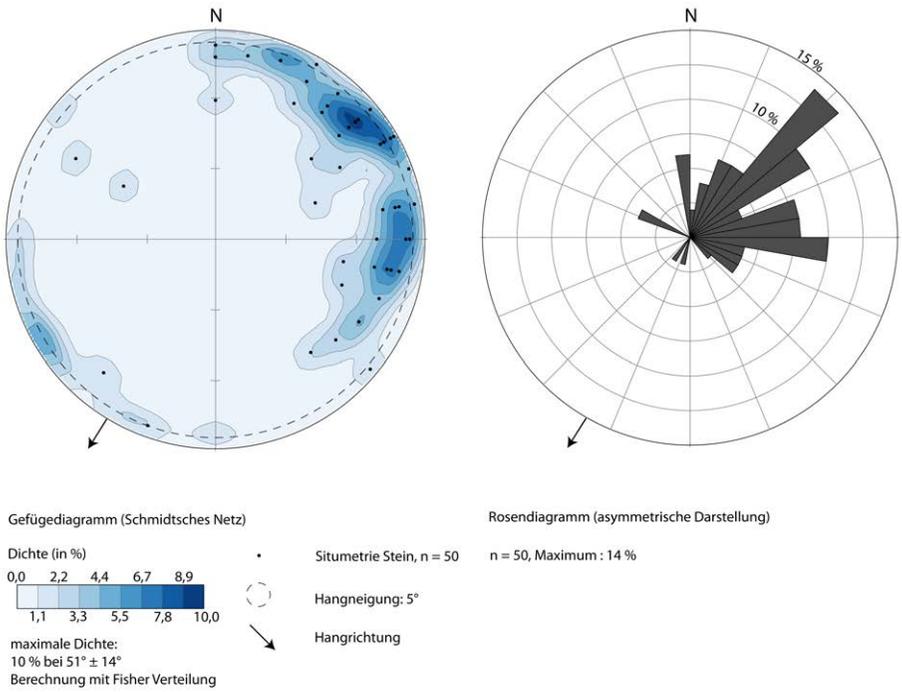
Der Bv-elCv vom 30 cm bis 60 cm unter GOK ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6), der Feinboden ist ein toniger Lehm ( $\sum_{fS,gU} = 50\%$  bzw. 43%). Der Tonanteil beträgt 37%, der Feintongehalt ist wie darüber. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 4,4% bzw. 15,7%, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Die  $\text{C}_T$ -Gehalte betragen 1,6%. Die Untergrenze der Schicht ist scharf und eben, der Horizont greift farblich in die liegende Schicht über. Die Gehalte an  $\text{Fe}_T$  betragen  $22\,854\text{ mgkg}^{-1}$  und  $18\,592\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Goethit/Hämatit  $15\,044\text{ mgkg}^{-1}$  und  $14\,714\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $776\text{ mgkg}^{-1}$  und  $619\text{ mgkg}^{-1}$ .

### II elCv 60-80 cm

Der II elCv von 60 cm bis 80 cm unter GOK ist braun (7,5 YR 5/8), die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm ( $\sum_{fS,gU} = 40\%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 32,1%, weiße Kalkpseudomycelien sind im Feinboden ausgefällt. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Das Gefüge ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 70%, das Skelett ist plattig und kantig, die Klasten sind im Feinboden eingebettet. Die Lithologie des Grobbodens beschränkt sich auf parautochthone Kalksandsteine und Kalksteine. An der Unterseite des Grobbodens haften schmutzig orangebraune Verkrustungen aus Calcit. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt beträgt  $26\,890\text{ mgkg}^{-1}$ , Goethit/Hämatit betragen  $14\,560\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen ist  $434\text{ mgkg}^{-1}$ .

### III elCc 80-150+ cm

Ab 80 cm unter GOK ist der Feinboden hell gelblichbraun bzw. hell gelbgrau (10 YR 6/6 bzw. 2,5 Y 7/4). Der Feinboden ist ein schwach toniger bzw. sandiger Lehm. Die Summe von Feinsand und Grobschluff nimmt mit der Tiefe von 33% auf 24% ab. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil steigt mit der Tiefe von 54,6% auf 61,0% an. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt nimmt im Horizont mit zunehmender Tiefe von  $18\,852\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $14\,757\text{ mgkg}^{-1}$  ab, Goethit/Hämatit nehmen von



**Abbildung 348:** Situmetrie des Grobbodens Profil 110.

10 078 mgkg<sup>-1</sup> auf 7659 mgkg<sup>-1</sup> ab und die Summen aus Ferrihydrit und organisch gebundenem Eisen betragen 94 mgkg<sup>-1</sup> bis 197 mgkg<sup>-1</sup>.

Die situmetrischen Untersuchungen zeigen eine Ausrichtung der Längsachsen des Skeletts in Hangrichtung, die Klasten kippen hangaufwärts (Abb. 348). Der Isotropie-Index beträgt 0,11 und der Elongations-Index 0,59, das Skelett weist damit sehr einheitliche Fallwinkel und eine sehr einheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30).

### 6.72 Transekt 10 – Profil 119

Profil 119 ist am Südrand des Glacis auf 885 m ü. M. angelegt (UTM: 30 T 716534 4713390). Die Hangneigung oberhalb des Profils beträgt 5°. Das Profil ist 190 cm aufgeschlossen, der anstehende Mergel wurde bei 170 cm unter GOK erreicht. Die Horizontabfolge ist eAch/II eIcC/III emCn (Abb. 349),



**Abbildung 349:** Horizontabfolge Profil 119

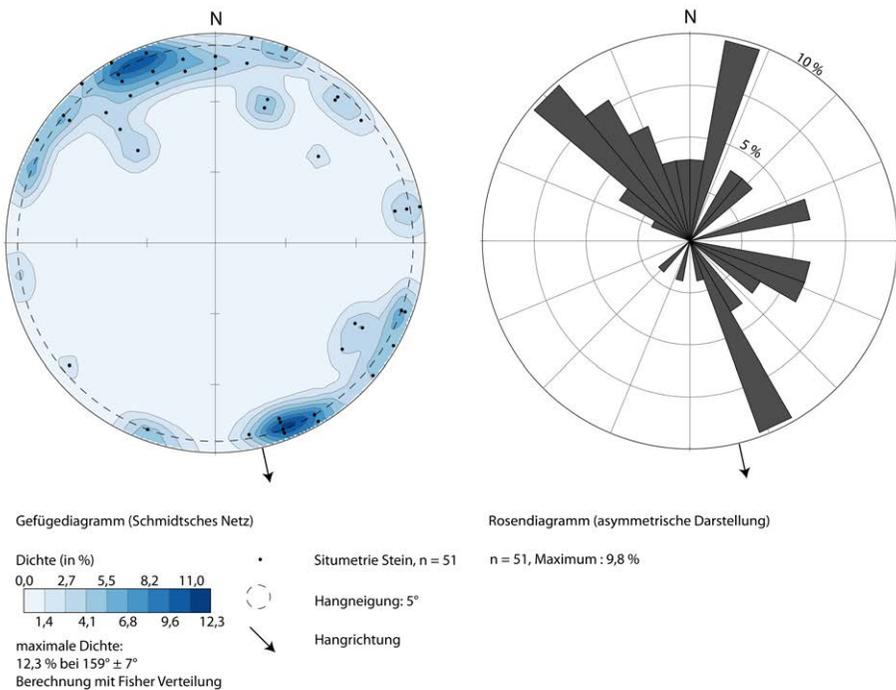
der Bodentyp ist eine Pararendzina in einem grobbodenarmen Sediment über einer so-lifluidal geprägten Basislage über dem anstehenden Mergel. Der hangparallel eingereg-elte Grobboden der Basislage besteht aus Kalksteinen und Kalksandsteinen und entstammt nicht aus dem anstehenden Mergel, sondern aus oberhalb des Glacis anstehenden Fazies und ist demnach parautochthon. Eine Differenzierung der Fazies des hangenden Sediments ist aufgrund der geringen Mächtigkeit und der anthropogenen Störung am Standort nicht möglich.

**eAch 0–27 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (2,5 Y 4/4), das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Aufgrund einer früheren anthropogenen Nutzung ist der 27 cm mächtige Oberboden gestört. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das Skelett ist plattig und besteht aus Kalksteinen und Kalksandsteinen.

**II eICc 27–170 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (10 YR 5/4), der Feinboden zwischen dem Grob-boden ist mit Sekundärcarbonat verkittet Der Feinboden ist carbonatreich (mindestens



**Abbildung 350:** Situmetrie des Grobbodens Profil 119

c4). Der Grobbodenanteil beträgt 70 %, das Skelett besteht aus plattigen Kalksteinen und Kalksandsteinen und die Morphologie der Klasten ist kantig. Aufgrund des hohen Grobbodenanteils ist die Schicht schwierig grabbar, an der Unterseite der Klasten haften Verkrustungen aus Calcit.

Die situmetrischen Untersuchungen zeigen, dass die Längsachsen in Hangrichtung streichen, bei der Streichrichtung des Skeletts dominieren Südsüdost mit  $168^\circ$  und Nordwest mit  $338^\circ$  (Abb. 350). Der Isotropie-Index beträgt 0,09 und der Elongations-Index 0,55, das Skelett weist damit sehr einheitliche Fallwinkel und eine einheitliche Streichrichtung auf (Abb. 30).

### **III emCn 170+ cm**

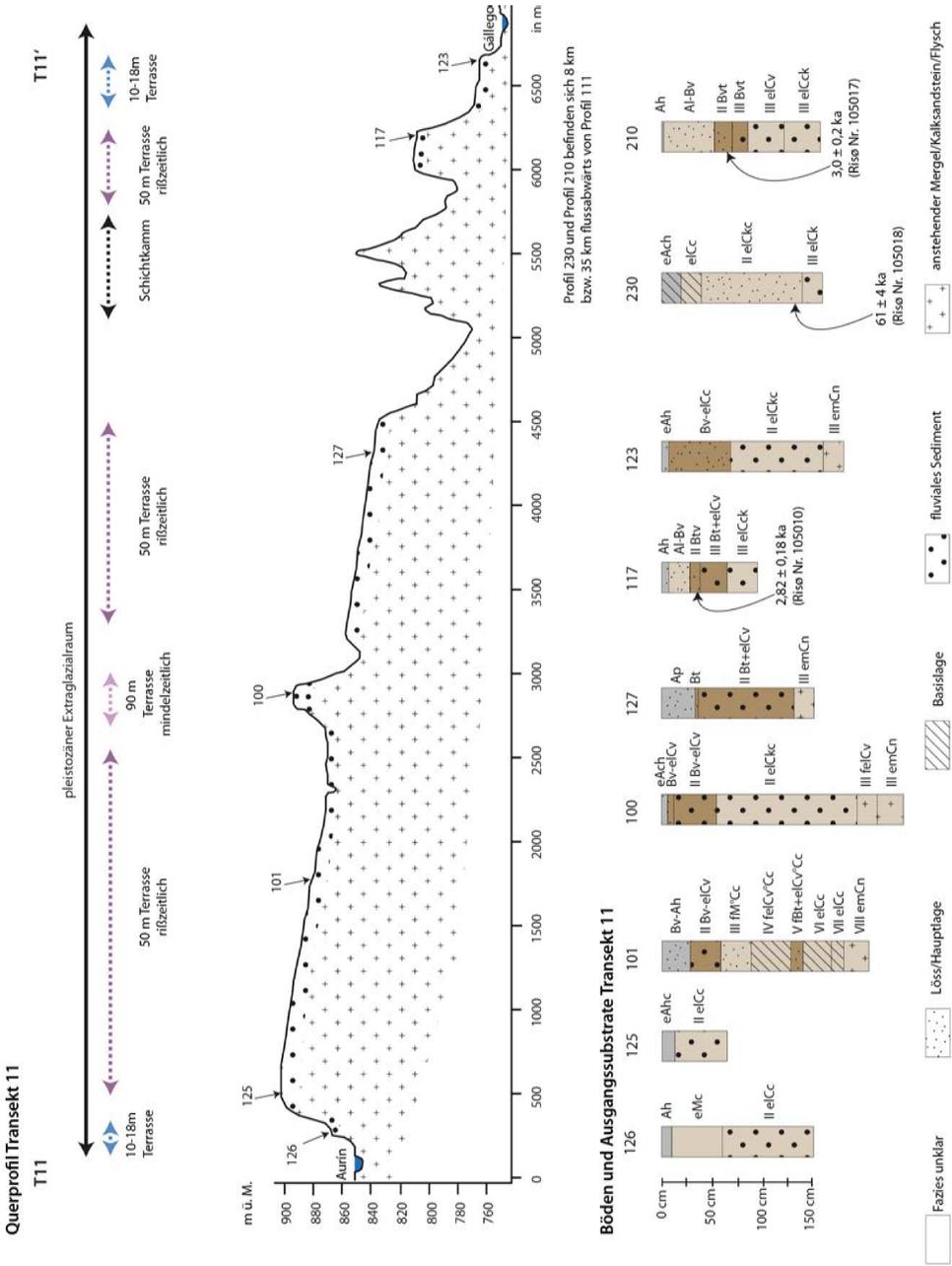
Der anstehende Mergel ist schlagfest und nicht grabbar.

### 6.73 Synthese Transekt 11

Transekt 11 ist im pleistozänen Extraglazialraum auf den Terrassen des Aurín und Gállego angelegt (Abb. 18, Abb. 328 und Abb. 351), wobei das Alter der Terrassen von mindelzeitlich (Profil 100) über rißzeitlich (Profile 101, 117, 125 und 127) bis würmzeitlich (Profile 111, 126, 210 und 230) reicht.

- Die Sedimentfolge wird auf den Terrassen im Hangenden von einem allochthonen und grobbodenarmen Sediment mit einem hohen Grobschluff- und Feinsandanteil ( $\sum_{fs,gu} = 40\% \text{ bis } 60\%$ ) abgeschlossen (Profile 100, 101, 117, 127 und 210). Mikromorphologisch vorgefundene Schluffhauben weisen auf periglaziale Sortierungsprozesse (Profil 210). Aufgrund der Textur des allochthonen Charakters und der periglazialen Merkmale werden die hangenden Sedimente als Löss bzw. Hauptlagen interpretiert.
- In Profil 117 und im 35 km flussabwärts gelegenen Profil 210 haben die Basen des Lösses bzw. der Hauptlagen sehr ähnliche OSL-Alter mit  $2,82 \pm 0,18 \text{ ka}$  (Risø-Nr. 105010) bzw.  $3,0 \pm 0,2 \text{ ka}$  (Risø-Nr. 105017). Mittels mikromorphologischer Untersuchungen konnten in Profil 117 und in Profil 210 verlagerte Pedorelikte nachgewiesen werden. Kolluviale Störungen oder landwirtschaftliche Nutzung haben sehr wahrscheinlich eine postsedimentäre Belichtung bedingt und daher zu den relativ jungen Altern geführt.
- In Profil 230 liegt über dem Löss eine skelettführende Basislage mit parautochthonem Schutt. Der Löss hat an der Basis ein OSL-Alter von  $61 \pm 4 \text{ ka}$  (Risø-Nr. 105018).
- In Profil 101 bedecken rißzeitliche fluviale Sedimente parautochthone Hangsedimente mit einem fossilen Illuvialhorizont einer Parabraunerde. Rezent wird der fossile Illuvialhorizont durch sekundäre Carbonatausfällung überprägt.
- Der Löss bzw. die Hauptlagen sind meist lessiviert, wobei kolluviale Umlagerung oder Pflügen die Horizontierung gestört/zerstört hat (Profile 117, 127 und 210). Die Tonverlagerung greift aus der hangenden Schicht zapfenförmig in die liegenden und primärcarbonathaltigen Schotter über. In Illuvialhorizonten erreichen die Gehalte an  $\text{Fe}_T$ , Goethit/Hämatit und Feinton die maximalen Werte der Profile. Die rote Farbe des Feinbodens der (Braunerde-)Parabraunerden weist auf die Bildung von Hämatit (Profile 100, 101, 117, 127 und 210). Pilzmycel wächst in den Lösungsporen von Gesteinen und befindet sich im direkten Kontakt mit von Verwitterung angegriffenen Mineralen (Profil 117).

- In den liegenden fluvialen Sedimenten ist die Verlagerung von Sekundärcarbonat ein prägender Prozess, wobei nadelförmiger Calcit und Rhizolithe nachgewiesen werden konnten. Die Schotter sind teilweise massiv mit Carbonaten verkittet (Profile 100, 117 und 210). In den Schottern haften an der Unterseite des Grobbodens Calcitkrusten mit pallasadenartig angeordneten sparitischen Calcitkristallen (Profil 117).
- Der Boden auf der mindelzeitlichen Terrasse (Profil 100) ist mit einer Braunerde-Pararendzina schwächer entwickelt als die Braunerde-Parabraunerden bzw. Parabraunerden auf den rißzeitlichen Terrassen (Profile 117 und 127), was auf eine anthropogene Störung mittels Landnutzung auf der mindelzeitlichen Terrasse zurückgeführt wird. Solumtiefe, Verbreitung und Eigenschaften der aktuellen Bodenlandschaft werden offensichtlich von der leichten Erodierbarkeit der im Löss entwickelten Böden bestimmt. Die primärcarbonathaltigen Oberböden (Profil 125) belegen neben Kolluvien (Profil 126) ebenfalls, dass es zu Umgestaltungen durch Bodenerosion gekommen ist.



**Abbildung 351:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 11 (s. a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabgetreu

## 6.74 Transekt – Profil 126

Das Profil befindet sich auf 864 m ü. M. auf einer schmalen fluvialen Terrasse 18 m über dem rezenten Flussbett des Aurín (UTM: 30 T 715593 4714318). Die Terrasse ist 10° in Richtung zum Aurín geneigt, die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Profil ist 150 cm aufgeschlossen, der anstehende Mergel wurde nicht erreicht. Im Profil liegt ein grobbodenarmes Sediment über grobbodenreichem fluvialen Schotter. Aufgrund des hohen Anteils an Holzkohlen und Grobboden mit Calcitanhaftungen entweder an der Oberseite oder an der Unterseite wird das hangende Sediment als Kolluvium interpretiert. Die Horizontabfolge ist Ah/eMc/II eICc, der Bodentyp ist ein Kolluvisol in feinbodenreichem Substrat über glazifluvialen Schottern (Abb. 352).

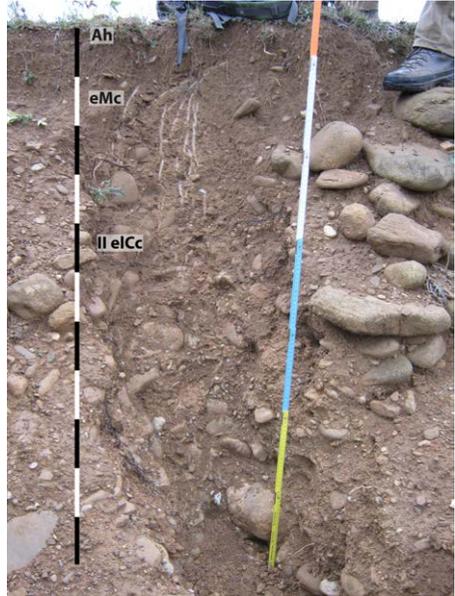


Abbildung 352: Horizontabfolge Profil 126

### Ah/eMc 0–60 cm

Das hangende Sediment ist reich an Holzkohleflittern, das Gefüge ist polyedrisch. Sekundärcarbonat ist in Form bis zu 3 mm großer Kalkkonkretionen ausgefällt. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, der Grobboden besteht aus Kies und Grus, das Skelett ist teilweise stark verwittert. Das Skelett ist einseitig mit Carbonatkrusten bedeckt, die entweder an der Oberseite oder an der Unterseite haften.

### II eICc 60–150 cm

Der Grobbodenanteil beträgt im fluvialen Sediment 70 %, das Skelett besteht aus Kies, Grus, Steinen und Blöcken. Der Grobboden ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt, der Feinboden ist teilweise verkittet. Der Horizont ist aufgrund der Verkittungen schwer grabbar.

## 6.75 Transekt 11 – Profil 125

Profil 125 ist am Ostrand der 50-m-Terrasse auf 896 m ü. M. neben einer Kapelle angelegt (UTM: 30 T 715442 4714502). Im Profil ist ein feinbodenreiches Sediment über fluvialen Schottern aufgeschlossen. Das Schotterpaket hat eine Mächtigkeit von 3 m und liegt über dem anstehenden Mergel. Die Horizontabfolge ist eAhc/II eICc, der Bodentyp ist eine



**Abbildung 353:** Horizontabfolge Profil 125



**Abbildung 354:** Profil 125, Calcitkrusten mit Kiesanhaltungen an der Unterseite von Steinen aus dem II eICc

Pararendzina über glazifluvialen Schottern (Abb. 353). Das hangende Sediment ist aufgrund des verstellten Skeletts durch Landnutzung gestört.

#### **eAhc 0–13 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist braun, das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonathaltig, neben Primärcarbonat ist Sekundärcarbonat als Kalkpseudomycel ausgefällt. Der Grobbodenanteil in der hangenden Schicht beträgt 15 %, die Calcitkrusten befinden sich bemerkenswerterweise nur an der Oberseite des Skeletts.

#### **II eICc 13–64+ cm**

Der Feinboden und der Grobboden sind mit Carbonat verkittet, das Sediment ist schwer grabbar. Die Calcitkrusten sind an der Unterseite des Grobbodens am ausgeprägtesten (Abb. 354). Der Grobbodenanteil beträgt 80 %, das Skelett besteht aus Kies, Grus, Steinen und Blöcken. Die Morphologie der Steine und Blöcke reicht von kantengerundet bis stark gerundet.

### **6.76 Transekt 11 – Profil 101**

Profil 101 befindet sich auf der 50-m-Terrasse am westlichen Ufer des Aurín auf 880 m ü. M. (UTM: 30 T 715151 4713384). Das Flussbett des Aurín liegt auf 825 m üM. Der Standort wird als Acker genutzt. Das Profil ist am Weganschnitt angelegt, wobei ein Sedimentkomplex aus acht Schichten aufgeschlossen ist.

Die Horizontabfolge ist Bv-Ah/II Bv-eICv/III fM°Cc/IV felCv°Cc/V fBt+eICv°Cc/VI eICc/VII eICc/VIII emCn, der Bodentyp ist eine Braunerde aus feinbodenreichem Substrat über fluvialen Schottern über einem fossilen Kolluvium aus feinbodenreichem Substrat über skelettführendem Substrat über in einem feinbodenreichen Substrat entwickelten fossilen

Illuvialhorizont einer Parabraunerde über skelettführendem Substrat über Mergel. Unterhalb des carbonatfreien Oberbodens sind die Horizonte bzw. Schichten von der Ausfällung sekundärer Carbonate geprägt.

Die Fazies der allochthonen Schichten IV, V, VI und VII an der Basis des Sedimentkomplexes konnte nicht geklärt werden. Im V fBt+eCv°Cc konnten mikromorphologisch keine umgelagerten Pedorelikte vorgefunden werden. Zwar sind die Toncutane reliktsch und fragmentiert oder granuliert, eine Durchmischung mit der Matrix fand aber nicht statt.

Der zum reliktschen Toneintrag zugehörige Eluvialhorizont ist im rezenten Schichtkomplex nicht mehr eindeutig identifizierbar oder fehlt aufgrund Erosion gänzlich. Während eine Mobilisierung von Ton im Zuge der Tonverlagerung in den primär carbonathaltigen Substraten nicht zu erwarten ist, ist ein Durchtransport der Tonsuspension vom III fM°Cc mittels präferenziellen Flusses durch den IV feCv°Cc in den V fBt+eCv°Cc grundsätzlich möglich. Der reliktsche Charakter der Toncutane im V fBt+eCv°Cc und die rezente Sekundärcarbonatdynamik zeigen, dass Lessivierung in den liegenden Schichten rezent nicht horizontprägend wirkt.

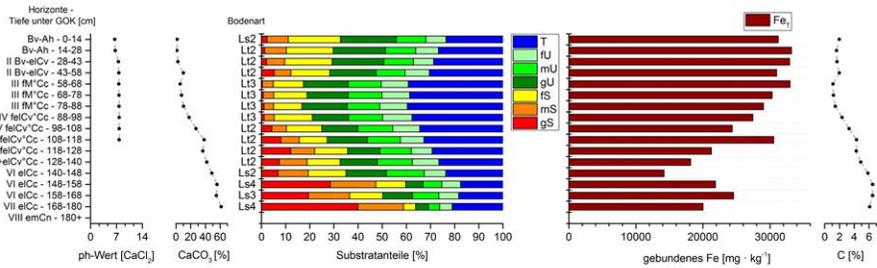
In die Matrix eingebettete Toncutane und *anorthic/disorthic nodules* im III fM°Cc weisen auf die Durchmischung oder Verlagerung pedogen vorgeprägten Substrats. Die Fossilisierung des III fM°Cc unter den fluvialen Schottern des II Bv-eCv weist auf ein riß-zeitliches oder prä-rißzeitliches Alter des Kolluviums. Die Fazies des III fM°Cc wird wegen der Pedorelikte und der Stratigrafie mit periglazialen Prozessen assoziiert, weswegen das Sediment als Mittellage klassifiziert wird. Die Dominanz von Grobschluff und Feinsand in der Textur des Bv-Ah wird zusammen mit der flächigen Verbreitung der Schicht auf der Terrasse als Hinweis auf den Eintrag von Löss gewertet. Die hangende Schicht wird als Hauptlage interpretiert. Eine pedogene Horizontierung ist aufgrund der ackerbaulichen Nutzung und der Mächtigkeit von knapp 30 cm nicht mehr erkennbar.

### Bv-Ah 0–28 cm

Zwischen 0 cm und 28 cm unter GOK ist der Feinboden dunkel graubraun bis dunkel rötlichbraun (5 YR 4/4 bis 4/6). Die Schichtuntergrenze bei 28 cm unter GOK ist scharf, der Horizont geht in die liegende Schicht über. Der Feinboden ist ein schwach sandiger bzw. schwach toniger Lehm. Grobschluff und Feinsand dominieren den Feinboden ( $\Sigma = 45\%$  bzw. 41%). Der Grobbodenanteil beträgt 2%. In der Geländeansprache war der Feinboden



**Abbildung 355:** Horizontabfolge Profil 101; die weißen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung



**Abbildung 356:** Laborergebnisse Profil 101

frei von Calciumcarbonat, gemäß den Laboruntersuchungen beträgt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden 1,6 % bzw. 1,2 % (Abb. 356). Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Das Gefüge ist auf den obersten 5 cm krümelig und geht dann in ein Subpolyeder-Polyedergefüge über (Abb. 357).

Das  $c_{40-200 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated* und *stipple-speckled*. Schwach ausgeprägte Toncutane im Porenraum und in den Lösungsporen verwitterten Feinkieses weisen auf Lessivierung, wobei eisenhaltige *hypoconings* die Toncutane in den Lösungsporen maskieren. Die Toncutane im rezenten Porenraum des Feinbodens sind staubig und die Auslöschungslinien bei GPL sind aufgrund von Eisenaussämlungen in den Toncutanen diffus (Abb. 361 & Abb. 362). Der Feinboden und die Grobbodenkomponenten sind von einer intensiven Verbraunung geprägt. Der Horizont hat eine hohe biologische Aktivität mit Wurmgingen und Wurzelröhren. In der Matrix befinden sich Sklerotien und Pilzmycel in Form von traubenartigen Anhäufungen von bis zu 300  $\mu\text{m}$  Durchmesser, wobei die einzelnen rotbraunen Pilzporen einen Durchmesser von etwa 10  $\mu\text{m}$  haben.

### II Bv-elCv 28–58 cm

Zwischen 28 cm und 58 cm unter GOK beträgt der Grobbodenanteil 50 %, die Grobbodenkomponenten sind stark gerundete Kiese und Steine. Die Farbe des Feinbodens ist dunkel rötlichbraun bis dunkel graubraun (5 YR 4/6 bis 7,5 YR 4/4). Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil schwankt zwischen 2,5 % und 10,0 %, wobei der Horizont sowohl Primärcarbonat als auch sekundäre Carbonatausfällung in Form von Calcitkrusten an der Unterseite von Grobbodenkomponenten enthält. Die Calcitkrusten an der Unterseite der Klasten sind schmutzig und verwittert.

### III fM°Cc 58–88 cm

Der Horizont zwischen 58 cm und 88 cm unter GOK ist marmoriert, die Farbe des Feinbodens schwankt zwischen graubraun bis hell graubraun (7,5 YR 5/4 bis 10 YR 6/4). Der

Horizont ist aufgrund vieler Regenwurmgänge und Wurzelröhren porenreich und locker gelagert. Das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 358 und Abb. 359). Der Grobbodenanteil beträgt 2 %, die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm, der Anteil von Grobschluff und Feinsand ( $\Sigma = 31\%$ ) nimmt im Vergleich zu den hangenden Sedimenten deutlich ab. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 5,8 % bzw. 7,4 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

Das  $c_{40-200\ \mu\text{m}}/f_{<5\ \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, *porostriated*, *stipple-speckled* und *bistrial*. Der Feinboden ist von Verwürgungen aus verbraunter Bodenmatrix und grauen primärcarbonathaltigem Feinboden geprägt (Abb. 363 bis Abb. 368), wobei die *disorthic nodules* scharfe Grenzflächen haben. Sowohl in den verbraunten *nodules* als auch im carbonathaltigen Feinboden finden sich fragmentierte Toncutane (Abb. 365 und Abb. 366). Die reliktschen Toncutane haben eine Mikrolaminierung mit leuchtenden und staubigen Bändern.

Runde *nodules* mit Durchmessern von 1000  $\mu\text{m}$  aus mikritischem Calciumcarbonat mit eingeschlossenen Quarzkörnern in Feinsandgröße unterliegen der Lösungsverwitterung. Primärcarbonathaltige Grobsandkomponenten sind ebenfalls von Lösungsverwitterung angegriffen. Da sich die rezente Ausfällung sekundärer Calciumcarbonaten auf Rhizolithe und Regenwurmcaltit beschränkt und die Lösung von Calciumcarbonat dominiert, werden die mikritischen *nodules* aus Calciumcarbonat als reliktsch betrachtet. Des Weiteren sind die mikritischen *nodules* auch in die verbraunten *nodules* mit eingeschlossen und werden deshalb mit der früheren Bodenbildung assoziiert (Abb. 367 und Abb. 368). *Hypocoatings* aus intrusiven Eisenausfällungen einer nicht rezenten Hydromorphie sind teilweise fragmentiert (Abb. 363 und Abb. 364) und teilweise mit Schluffcutanen oder biogenem Eintrag verfüllt. Rhizolithe sind teilweise stark verwittert und aufgrund rezenter Turbation fragmentiert (Abb. 363 & Abb. 364). *Slickensides* belegen ebenfalls eine intensive Durchmischung des Feinbodens, wobei reliktsche Phasen und eine rezente Durchmischung erkennbar sind. Bei der ersten Phase wurde ein von Lessivierung geprägter Horizont mit unverwittertem Material durchmischt. Die rezente Durchmischung wird durch Bioturbation verursacht.

#### **IV felCv°Cc 88–128 cm**

Die Farbe des Feinbodens zwischen 88 cm und 128 cm unter GOK ist marmoriert und hell gelblichbraun (10 YR 6/6), der Grobbodenanteil beträgt 50 %. Die Textur des Feinbodens ist ein toniger bis schwach toniger Lehm. Der Anteil an  $\text{CaCO}_3$  im Feinboden nimmt von der Obergrenze der Schicht von 17,9 % auf 36,4 % an der Basis zu. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

#### **V fBt+eICv°Cc 128–140 cm**

Die Schicht von 128 cm bis 140 cm unter GOK ist marmoriert. Die Farbe des Feinbodens variiert zwischen hell graubraun bis hellbraun (2,5 Y 6/4 bis 10 YR 6/6), die Textur ist ein

schwach toniger Lehm. Der Grobboden hat einen Anteil von 2 %. Der  $\text{CaCO}_3$  Gehalt des Feinbodens beträgt 41,8 %. Das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 360).

Das  $c_{40-200 \mu\text{m}}/f_{<5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *calcitic crystallitic* mit *granostriations* in den carbonatfreien Bereichen. Der Horizont ist von einer markanten Calcitumlagerung geprägt. Mikritische *hypocoatings* dringen vom Porenraum in die Matrix ein (Abb. 369 und Abb. 370). Im porenfernen Feinboden ist häufig Calciumcarbonat ausgefällt. Porenferne Calcitausfällungen sind oft von randlicher Lösung angegriffen. Rhizolithe füllen den Porenraum teilweise gänzlich aus, sind aber auch oft von Turbation oder Lösung angegriffen. Runde mikritische *nodules* mit Durchmessern bis  $2000 \mu\text{m}$  sind in der Matrix eingebettet und von Lösungsverwitterung angegriffen.

Im rezenten Porenraum wachsen  $30 \mu\text{m}$  lange und nadelförmige Calcitkristalle in den Porenraum. Die einzelnen Kristallnadeln greifen netzartig ineinander und bilden einen etwa  $20 \mu\text{m}$  mächtigen Saum entlang der Porenränder (Abb. 371 und Abb. 372). Während im nadelförmigen Calcit noch einzelne Kristalle mit dem Mikroskop unterscheidbar sind, ist ihre Differenzierung in radialstrahligen Calcitausfällungen mikroskopisch nicht mehr möglich. Inselartige radialstrahlige Calcitausfällungen wachsen von den teilweise mit dünnen Toncutanen bedeckten Porenrändern etwa  $25 \mu\text{m}$  in den Porenraum (Abb. 373 und Abb. 374).

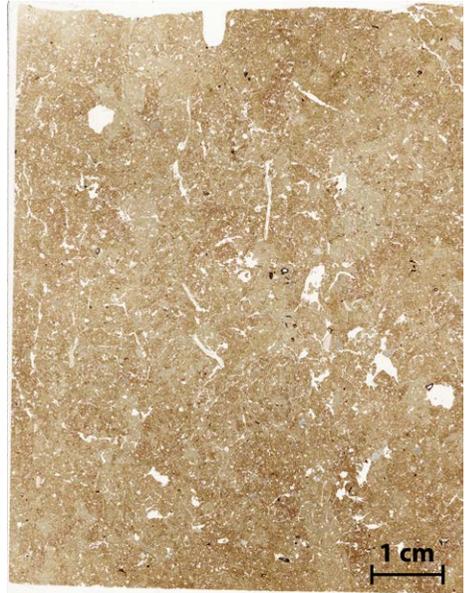
Trotz des hohen Calciumcarbonatanteils sind in dem Horizont neben dünnen Toncutanen entlang der rezenten Poren auch ausgeprägte und größtenteils fragmentierte Toncutane vorhanden (Abb. 369 bis Abb. 372). Unsortierte Cutane mit einzelnen Quarzkörnern bis  $80 \mu\text{m}$  Durchmesser liegen über den gut sortierten Toncutanen und grenzen an den Porenraum an. Die Toncutane sind  $150 \mu\text{m}$  bis  $300 \mu\text{m}$  mächtig und mehrschichtig. Unterhalb der schlecht sortierten Schicht bestehen die Toncutane aus leuchtenden orangebraunen und gelbbraunen staubigen Toncutanen. Leuchtend braune Eisenhydroxidausfällungen in Form von *hypocoatings* maskieren zum Teil die Toncutane. Eisenhydroxide sind auch zwischen der Basis der Toncutane und der Feinbodenmatrix ausgefällt, wobei die Eisenhydroxidausfällungen auch die calciumcarbonathaltige Matrix infiltrieren. Poren an der Basis der Toncutane weisen auf eine chemische Verwitterung der Matrix.

#### **VI eICc (140–168 cm)/VII eICc (168–180 cm)/VIII emCn (180 cm +)**

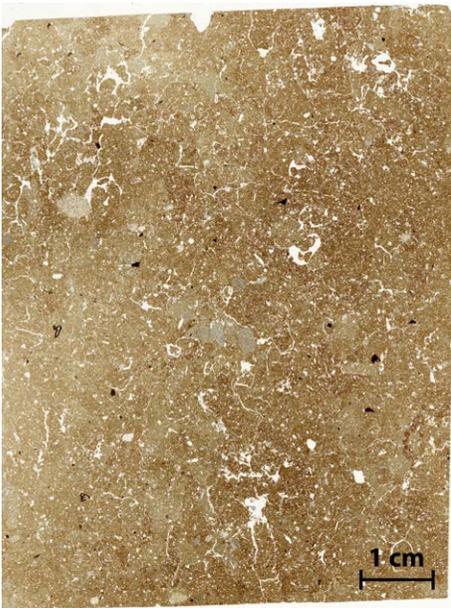
Die zwei liegenden Schichten über dem anstehenden Mergel bei 180 cm unter GOK sind mit einem Grobbodenanteil von etwa 50 % stark skeletthaltig und carbonatreich. Aufgrund der schlechten Grabbarkeit erfolgte keine weitere Aufnahme.



**Abbildung 357:** Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 5–13 cm unter GOK



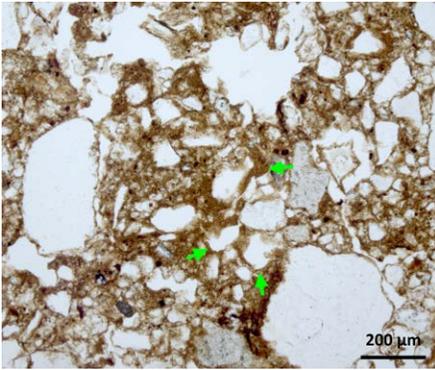
**Abbildung 358:** Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 60–68 cm unter GOK



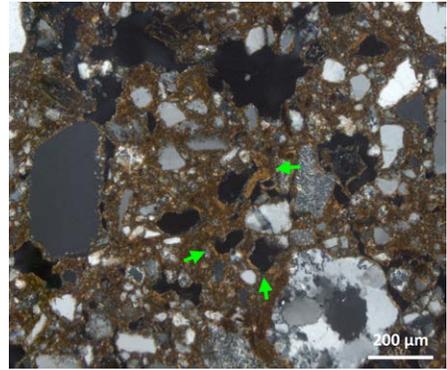
**Abbildung 359:** Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 78–86 cm unter GOK



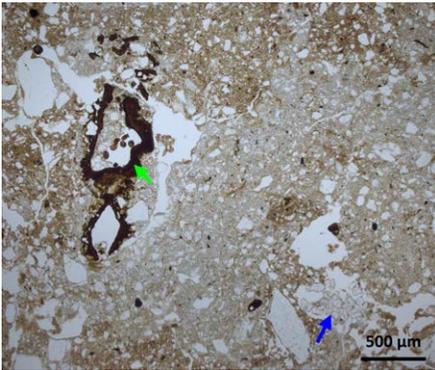
**Abbildung 360:** Übersicht Mikromorphologie Profil 101, 132–140 cm unter GOK



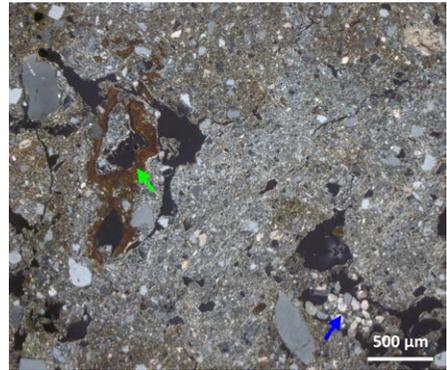
**Abbildung 361:** Intensive Verbräunung und schwache Lessivierung (Profil 101, 5–13 cm, LPL); grüner Pfeil: staubige Toncutane



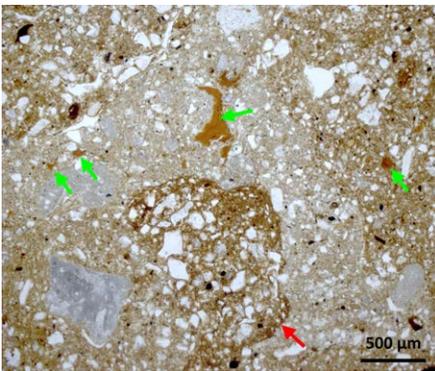
**Abbildung 362:** Intensive Verbräunung und schwache Lessivierung (Profil 101, 5–13 cm, GPL); grüner Pfeil: staubige Toncutane



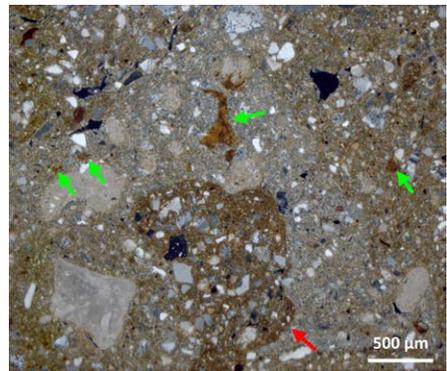
**Abbildung 363:** Stabilisierung reliktscher Poren mittels Eiseneintrags (Profil 101, 60–68 cm, LPL); grüner Pfeil: Eisenausfällung mit Sklerotien (*hypocoating*); blauer Pfeil: Rhizolith



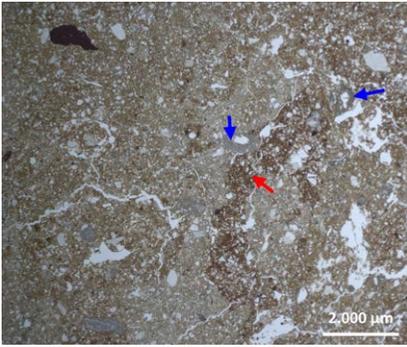
**Abbildung 364:** Stabilisierung reliktscher Poren mittels Eiseneintrags (Profil 101, 60–68 cm, GPL); grüner Pfeil: Eisenausfällung mit Sklerotien (*hypocoating*); blauer Pfeil: Rhizolith



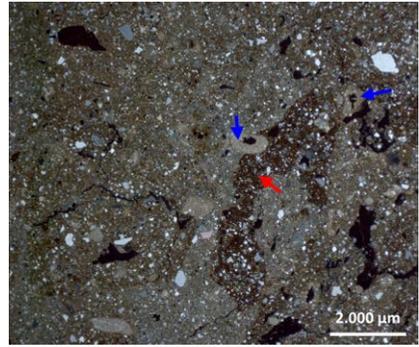
**Abbildung 365:** Umgelagerte Pedorelikte (Profil 101, 60–68 cm, LPL); grüner Pfeil: fragmentierte Toncutane; roter Pfeil: *anorthic nodule*



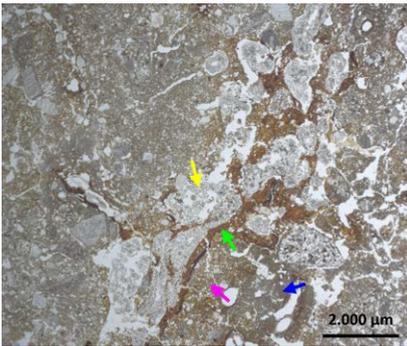
**Abbildung 366:** Umgelagerte Pedorelikte (Profil 101, 60–68 cm, GPL); grüner Pfeil: fragmentierte Toncutane; roter Pfeil: *anorthic nodule*



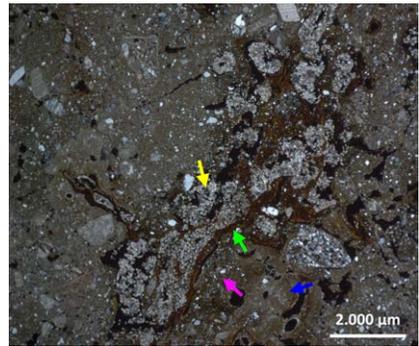
**Abbildung 367:** Rezente Überprägung der Pedorelikte (Profil 101, 78–86 cm, LPL); blauer Pfeil: mikritisches Calcit *coating*; roter Pfeil: Intraklast einer früheren Bodenbildung



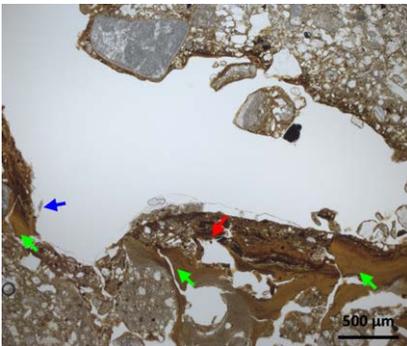
**Abbildung 368:** Rezente Überprägung der Pedorelikte (Profil 101, 78–86 cm, GPL); blauer Pfeil: mikritisches Calcit *coating*; roter Pfeil: Intraklast einer früheren Bodenbildung



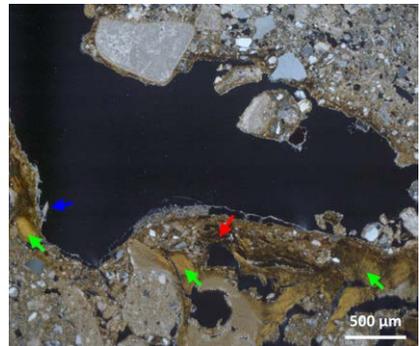
**Abbildung 369:** Biogene Calcitumlagerung aus der Matrix in den Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; gelber Pfeil: Rhizolith; pinker Pfeil: calcitfreie Matrix; blauer Pfeil: calcithaltige Matrix mit Mikrit in Poren



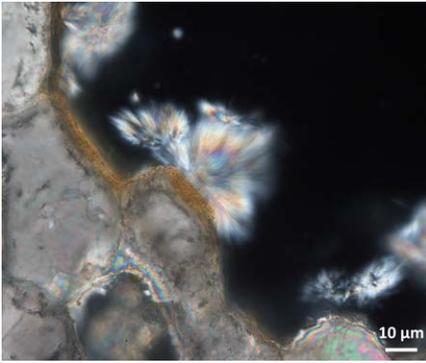
**Abbildung 370:** Biogene Calcitumlagerung aus der Matrix in den Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; gelber Pfeil: Rhizolith; pinker Pfeil: calcitfreie Matrix; blauer Pfeil: calcithaltige Matrix mit Mikrit in Poren



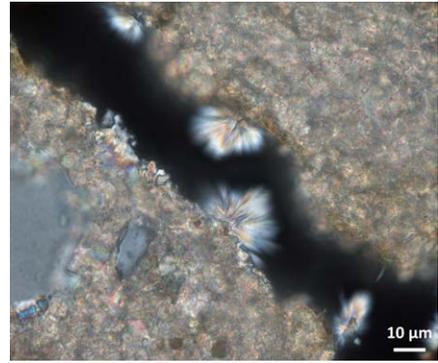
**Abbildung 371:** Calcitausfällung auf polygenetischen Toncutanen (Profil 101, 132–140 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; roter Pfeil; unsortiertes *coating* mit Eisenausfällung; blauer Pfeil: nadelförmiger Calcit



**Abbildung 372:** Calcitausfällung auf polygenetischen Toncutanen (Profil 101, 132–140 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; roter Pfeil; unsortiertes *coating* mit Eisenausfällung; blauer Pfeil: nadelförmiger Calcit



**Abbildung 373:** Radial-nadelige Kristallisation auf dünnem Toncutan (Profil 101, 132–140 cm, GPL)



**Abbildung 374:** Matrix aus mikritischem Calcit mit radial-nadeliger Kristallisation im Porenraum (Profil 101, 132–140 cm, GPL)

## 6.77 Transekt 11 – Profil 100

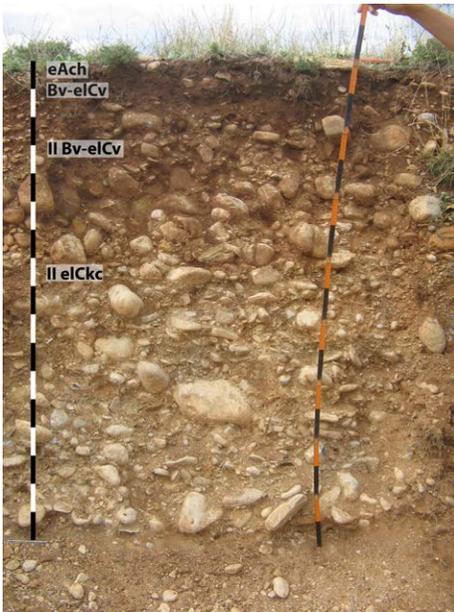
Profil 100 ist auf der Ostseite der Terrasse von Cartirana angelegt (890 m ü. M., UTM: 30 T 715490 4712303). Die Terrasse liegt knapp 90 m über dem Flussbett des Aurin (801 m ü. M.) und stellt damit die älteste im Untersuchungsgebiet dar, wobei die Genese der Terrasse mit dem Mindel-Glazial angegeben ist. Die Horizontabfolge ist eAch/Bv-elCv/II Bv-elCv/II elCkC/III felCv/III emCn, der Bodentyp ist eine Braunerde-Pararendzina aus feinkbodenreichem Substrat über fluvialen Schotter über Mergel (Abb. 375 und Abb. 376). Das hangende grobbodenarme Substrat ist trotz des Carbonatgehalts verbraunt, in den liegenden Schottern dominiert die Ausfällung sekundärer Carbonate.

### eAch 0–6 cm

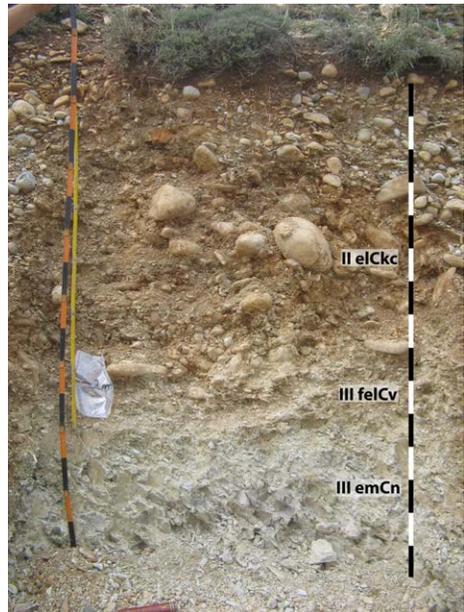
Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4), die Textur ist ein schwach toniger Lehm (Abb. 377). Feinsand und Grobschluff betragen in Summe 40 %. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, an der Unterseite der Klasten haften Calcitkrusten. Der  $\text{CaCO}_3$  Gehalt des Feinbodens beträgt 7 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.

### Bv-elCv 6–18 cm

Der Bv-elCv reicht von 6 cm bis 18 cm unter GOK. Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Der Skelettanteil beträgt 25 %. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm ( $\sum_{fS,gU} = 42 \%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 8,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch.



**Abbildung 375:** Horizontabfolge Profil 100, 0–170 cm unter GOK



**Abbildung 376:** Horizontabfolge an der Basis von Profil 100

### II Bv-elCv 18–60 cm

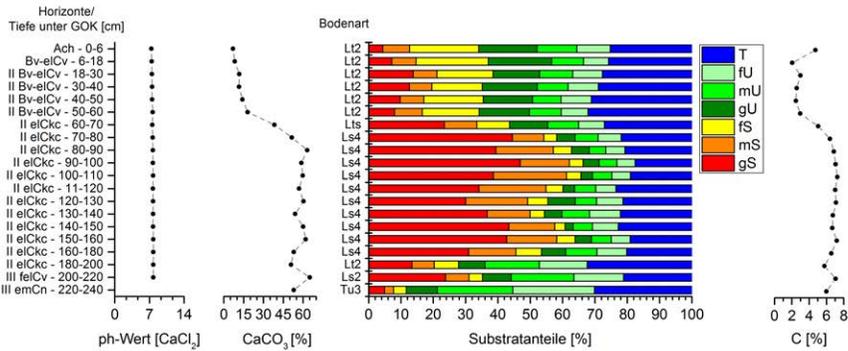
Der Feinboden ist dunkel rötlichbraun (5 YR 3/6), die Textur ist ein schwach toniger Lehm. Die Summe von Grobschluff und Feinsand beträgt 32 % bis 34 %, der Grobbodenanteil beträgt 50 %. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 11,7 % bis 18,1 %, die Bodenlösung ist alkalisch. Sekundärcarbonat ist an der Unterseite von Grobbodenkomponenten und im Feinboden ausgefällt.

### II elCkc 60–200 cm

Im Übergangsbereich zwischen 60 cm und 70 cm unter GOK ist der Feinboden braun (7,5 YR 5/6). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm ( $\sum_{fS,gU} = 22\%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 38,4 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Unterhalb von 70 cm unter GOK liegt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden zwischen 51 % bis 63 %.

### III felCv 200–220 cm und III emCn 220–240+ cm

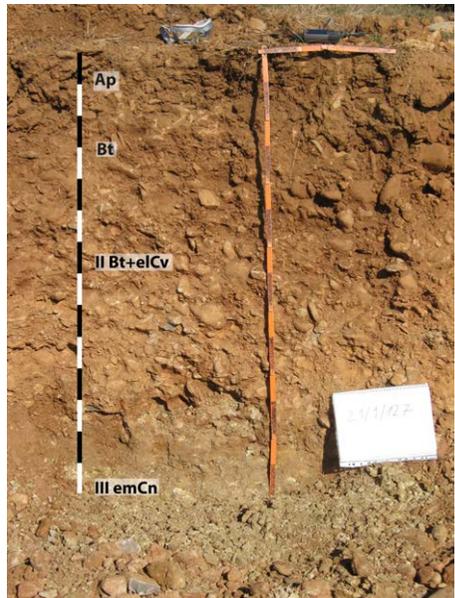
Der anstehende Mergel ist zwischen 200 cm und 220 cm aufgrund von Verwitterung gelbgrau (2,5 Y 6/4), ab 220 cm unter GOK ist der Mergel schlagfest und hell graubraun (10 YR 7/4).



**Abbildung 377:** Laborergebnisse Profil 100

### 6.78 Transekt 11 – Profil 127

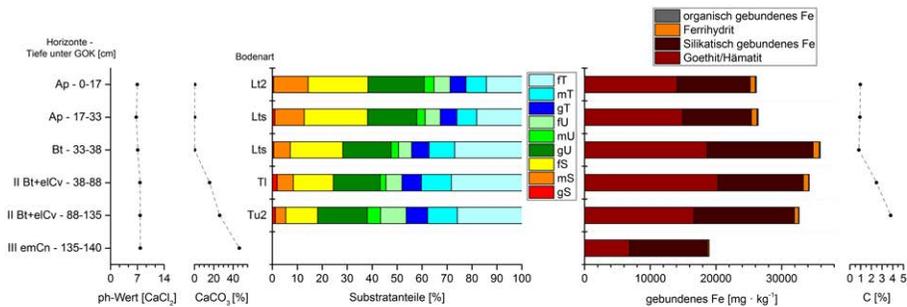
Profil 127 liegt nördlich des Stadtrands von Sabiánigo auf der 50-m-Terrasse des Aurín in einer Baugrube (838 m ü. M., UTM: 30 T 716026 4711401). Der Standort wurde vor der Errichtung der Baugrube als Ackerfläche genutzt. Im Profil sind zwei Sedimente über dem anstehenden Mergel aufgeschlossen. Die Horizontabfolge ist Ap/Bt/II Bt+eCv/III emCn, der Bodentyp ist eine Parabraunerde aus Löss mit einem schichtübergreifenden Toneintrag in die liegenden Schotter (Abb. 378). Die Tonanreicherung ist neben den im Feld vorgefundenen Toncutanen laboranalytisch über die hohen Feintongehalte und  $Fe_T$ -Gehalte im Illuvialhorizont deutlich nachweisbar.



**Abbildung 378:** Horizontabfolge Profil 127.

#### Ap 0–33 cm

Die Farbe des Feinbodens ist braun (7,5 YR 5/6). Auf den obersten 10 cm ist das Gefüge plattig, zwischen 10 cm und 33 cm unter GOK polyedrisch. Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig. Die Bodenlösung ist neutral, der  $CaCO_3$ -Anteil beträgt 0,4 % (Abb. 379). Der Feinboden ist zwischen 0 cm und 17 cm unter GOK ein schwach toniger Lehm und



**Abbildung 379:** Laborergebnisse Profil 127

von 17 cm bis 33 cm unter GOK ein sandig-toniger Lehm. Der Tonanteil beträgt 29 % und 33 %, die Feintongehalte sind 14 % und 18 %. Die Gehalte von  $Fe_T$  betragen  $26\,148\text{ mgkg}^{-1}$  und  $26\,414\text{ mgkg}^{-1}$ , die Anteile an Goethit/Hämatit  $14\,089\text{ mgkg}^{-1}$  und  $14\,941\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Ferrihydrit  $777\text{ mgkg}^{-1}$  und  $840\text{ mgkg}^{-1}$  und die Gehalte organisch gebundenen Eisens  $159\text{ mgkg}^{-1}$  und  $181\text{ mgkg}^{-1}$ .

### Bt 33–38 cm

In der hangenden Schicht beträgt der Grobbodenanteil 10 %, der Feinboden ist dunkel graubraun (5 YR 4/4). Der Feinboden zwischen 33 cm und 38 cm unter GOK ist ein sandig-toniger Lehm. Der Tonanteil beträgt 44 %, der Feintongehalt 27 %. Weinrote Toncutane umhüllen die Außenflächen von Aggregaten und Grobboden. An der Unterseite des Grobbodens sind schmutzige Reste von Carbonatkrusten. Die Bodenlösung ist neutral, der  $CaCO_3$ -Anteil beträgt 0,2 %. Der Anteil von  $Fe_T$  ist im Profil im Bt-Horizont mit  $35\,867\text{ mgkg}^{-1}$  am höchsten, der Anteil an Goethit/Hämatit beträgt  $18\,665\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $930\text{ mgkg}^{-1}$  und der Anteil organisch gebundenen Eisens  $143\text{ mgkg}^{-1}$ .

### II Bt+elCv 38–135 cm

Über dem Mergel hängt ein 98 cm mächtiges Schotterpaket mit einem Grobbodenanteil von 50 %. Die Lithologie des Grobbodens besteht aus Konglomeraten, Kalksteinen, Schluffsteinen und Kalksandsteinen. An der Unterseite des Grobbodens sind Carbonatkrusten ausgefällt, die Ausprägung der Krusten hinsichtlich Dicke und Fläche nimmt im Profil mit der Tiefe zu, wobei an der Basis des Schotters der Grobboden teilweise ganzseitig mit Carbonatkrusten bedeckt ist. Der Feinboden ist dunkel graubraun (5 YR 4/4), wobei der Grauanteil mit der Tiefe zunimmt. Im Schotterpaket ist die Bodenlösung sehr schwach alkalisch, der  $CaCO_3$ -Anteil im Feinboden beträgt zwischen 38 cm und 88 cm unter GOK 16 % und zwischen 88 cm und 135 cm unter GOK 26 %. Die Laborwerte für die Bodenlösung und den  $CaCO_3$ -Anteil spiegeln höhere Werte als die Feldebefunde wider, da aufgrund des hohen

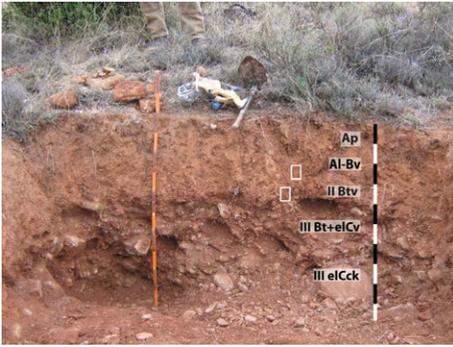
Grobbodenanteils die Beprobung des Feinbodens nur bedingt möglich war. Der Grobboden erwies sich bei der Beprobung als besonders fragil und hat die Beprobung des Feinbodens mit primärcarbonathaltigem Substrat kontaminiert. Zwischen 88 cm und 135 cm unter GOK ist der Feinboden ein schwach schluffiger Ton, zwischen 38 cm und 88 cm unter GOK ist die Textur des Feinbodens ein lehmiger Ton. Der Tonanteil beträgt 48 % und 46 %, die Feintonanteile 28 % und 26 %. Das Gefüge des Feinbodens ist polyedrisch bis subpolyedrisch, an der Basis des Schotters ist der Feinboden teilweise mit Calciumcarbonat verkittet. In der Grobsandfraktion finden sich teilweise mit sekundären Carbonaten verkittete Aggregate und Rhizolithe. Die sekundären Carbonate sind rotstichig. Die Gehalte von  $\text{Fe}_T$  betragen  $34\,186\text{ mgkg}^{-1}$  und  $32\,641\text{ mgkg}^{-1}$ , die Anteile an Goethit/Hämatit  $20\,332\text{ mgkg}^{-1}$  und  $16\,634\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Ferrihydrit  $827\text{ mgkg}^{-1}$  und  $646\text{ mgkg}^{-1}$  und die Gehalte organisch gebundenen Eisens  $69\text{ mgkg}^{-1}$  und  $47\text{ mgkg}^{-1}$ .

### III emCn 135–140+ cm

Der anstehende Mergel in 135 cm unter GOK ist hell gelbgrau (2,5 Y 6/4), der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 47 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Mergel ist frei von Sand, mittels Fingerprobe wurde die Textur des Mergels als stark schluffiger Ton ermittelt. Der Gehalt von  $\text{Fe}_T$  beträgt  $18\,955\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $6837\text{ mgkg}^{-1}$ , der Gehalt an Ferrihydrit  $188\text{ mgkg}^{-1}$  und der Anteil organisch gebundenen Eisens  $10\text{ mgkg}^{-1}$ .

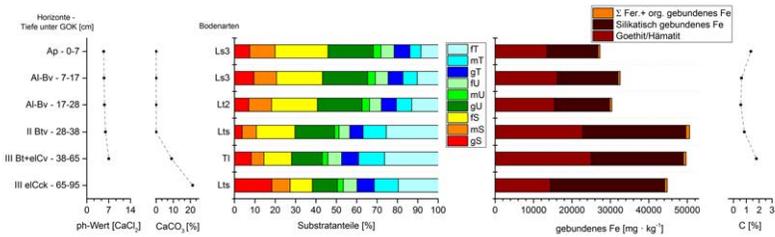
## 6.79 Transekt 11 – Profil 117

Profil 117 ist an der Ostkante der 50-m-Terrasse südlich von Sabinánigo angelegt (812 m ü. M., UTM: 30 T 716580 4709409). Das Profil wurde 95 cm tief gegraben, wobei im Profil ein 38 cm mächtiges und grobbodenarmes Sediment über fluvialen Schottern liegt. Der anstehende Mergel wurde nicht erreicht, das fluviale Sediment hat eine Mächtigkeit von etwa 4 m. Die hohen Anteile an Grobschluff und Feinsand im Hangenden weisen neben dem allochthonen Charakter auf einen äolischen Eintrag des Substrats als Löss. Die Horizontabfolge ist Ah/Al/II Btv/III Bt+elCv/III elCck (Abb. 380), der Bodentyp ist eine Parabraun-erde aus grobbodenarmem und kolluvial geprägtem Substrat mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in die liegenden Schotter. Die von einer Schichtgrenze getrennten Al- und II-Btv-Horizonte zeigen deutliche mikromorphologische Hinweise auf Umlagerung, der II-Btv-Horizont hat an der Basis ein OSL-Alter von  $2,82 \pm 0,18$  ka. Aufgrund der insgesamt nur schwach ausgeprägten Lessivierung im II Btv erscheint eine getrennte Sedimentation der beiden Schichten bzw. Überformung durch landwirtschaftliche Nutzung realistisch. Unter Berücksichtigung einer Überprägung des Profils durch ackerbauliche Nutzung und einer späteren kolluvialen Überdeckung ist alternativ die Horizontabfolge Ah/M/II fAp/III Bt+elCv/III elCck in Betracht zu ziehen.



**Abbildung 380:** Horizontabfolge Profil 117; die weißen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung

**Abbildung 381:** Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden in Profil 117



**Abbildung 382:** Laborergebnisse Profil 117

### Ah 0–7 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4), die Untergrenze ist scharf und eben. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm (Abb. 382). Der Feintonanteil beträgt 9 %, die Summe aus Grobschluff und Feinsand ist 48 %. Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Die Bodenlösung ist schwach sauer und der Kohlenstoffanteil beträgt 1,4 %. Der Fe<sub>T</sub>-Gehalt des Feinbodens beträgt 27 267 mgkg<sup>-1</sup>, der Anteil silikatisch gebundenen Eisens 13 306 mgkg<sup>-1</sup>, der Anteil an Goethit/Hämatit 13 454 mgkg<sup>-1</sup> und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit ist 508 mgkg<sup>-1</sup>.

### Al-Bv 7–28 cm

Die Farbe des Feinbodens ist rötlichbraun (5 YR 5/6). Die Untergrenze des Horizonts ist scharf und wellig. Die Textur des Feinbodens ist ein sandiger Lehm bzw. ein schwach toniger Lehm. Der Tonanteil nimmt im Horizont mit der Tiefe von 25 % auf 29 % zu, die Zunahme entfällt maßgeblich auf die Feintonfraktion, die von 10 % auf 13 % zunimmt. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 45 % bzw. 44 %. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch (Abb. 383). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Kohlenstoffanteil beträgt im gesamten Horizont 0,6 %. Der Fe<sub>T</sub>-Gehalt des Feinbodens

beträgt  $32\,516\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $30\,353\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil silikatisch gebundenen Eisens  $15\,831\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $14\,379\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $16\,161\text{ mgkg}^{-1}$  bzw.  $15\,430\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summen aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit sind  $524\text{ mgkg}^{-1}$  und  $544\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 10 %. Das Skelett besteht aus Granit, Sandstein, Mergel und Schiefer, die Klasten sind stark verwittert und nicht mehr schlagfest.

Die mikromorphologischen Untersuchungen weisen mit verfüllten Wurmröhren auf eine rezente Bioturbation. Das  $c_{20-200\text{ }\mu\text{m}}/f_5\text{ }\mu\text{m}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, *porostriated* und schwach *stipple-speckled*. *Anorthic nodules* mit  $700\text{ }\mu\text{m}$  bis  $3000\text{ }\mu\text{m}$  Durchmesser weisen auf die Aufarbeitung pedogen vorgeprägten Substrats (Abb. 385 und Abb. 386). Toncutane innerhalb der *anorthic nodules* und in den konkaven Einbuchtungen von Grobbodenfragmenten zeigen auf eine Tonverlagerung bereits vor der Umlagerung bzw. Durchmischung des Sediments (Abb. 387, Abb. 388, Abb. 389 und Abb. 390). *Granostriations* um Mittelsand weisen auf Stress, der auf das Substrat ausgeübt wurde. In wenigen Poren kleiden  $15\text{ }\mu\text{m}$  bis  $30\text{ }\mu\text{m}$  schlecht sortierte Cutane unregelmäßig den Porenraum aus. Die Cutane sind verbraunt, die Auslöschung bei gekreuzter Polarisation ist diffus.

## II Btv 28–38 cm

Zwischen 28 cm und 38 cm unter GOK ist der Feinboden dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Die Körnung des Feinbodens ist ein sandig toniger Lehm, der Feintonanteil steigt im Vergleich zum hangenden Horizont sprunghaft von 13 % auf 26 % an. Der Mitteltonanteil steigt von 8 % im Hangenden auf 11 % an. Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 38 %. Der Feinboden ist reich an Holzkohlefaltern. Mittels OSL Datierung 32 cm unter GOK wurde ein Alter von  $2,82 \pm 0,18\text{ ka}$  ermittelt. (Risø-Nr. 105010, Tab. 2). Die Bodenlösung ist schwach sauer, der Feinboden ist carbonatfrei und der Kohlenstoffanteil des Feinbodens beträgt 0,9 %. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, wobei der Grobboden bereits stark verwittert ist und bei Beanspruchung zu Grus zerfällt. An einigen wenigen Grobbodenkomponenten haften an der Unterseite schmutzige und schwach entwickelte Calcitkrusten. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt des Feinbodens beträgt  $50\,592\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an silikatisch gebundenem Eisen  $26\,889\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $22\,730\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $972\text{ mgkg}^{-1}$ .

Das  $c_{20-200\text{ }\mu\text{m}}/f_5\text{ }\mu\text{m}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, *porostriated* und schwach *stipple-speckled*. In der Bodenmatrix eingebettete fragmentierte Toncutane und *anorthic nodules* weisen auf Turbation oder Umlagerung pedogen vorgeprägten Bodenmaterials (Abb. 384). Dünne Toncutane im Porenraum zeigen eine junge Tonverlagerung (Abb. 391 & Abb. 392), wobei neben leuchtenden Toncutanen auch von Eisenausfällungen überprägte Toncutane rezente Poren auskleiden (Abb. 393 und

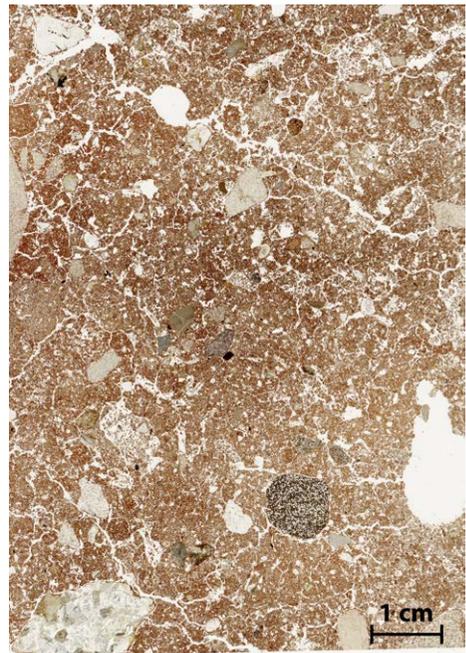
Abb. 394). Im Verhältnis zu den in der Matrix eingeschlossenen, überprägten oder fragmentierten Toncutanen sind die rezenten Toncutane flächenmäßig deutlich geringer vertreten. In der Matrix und in Lösungsporen von Grobsand und Grobbodenkomponenten finden sich häufig Pilzmycele. Die an die Pilzmycele angrenzenden Minerale sind zackig, was als biogen induzierte Verwitterung interpretiert wird.

### III Bt+eCv 38–65 cm

Der Feinboden ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Die Textur des Feinbodens ist ein lehmiger Ton. Das Gefüge des Feinbodens ist polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett besteht aus Sandsteinen, Kalksandsteinen und Granit. Die Fazies des Sediments ist fluvial. Der Grobboden ist teilweise sehr stark verwittert, der Granit zerfällt unter geringer Belastung zu Grus. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 9,1 %, die Bodenlösung ist neutral. Der  $\text{C}_T$ -Gehalt beträgt 1,8 %. An der Unterseite des Skeletts haften Calcitkrusten (Abb. 381), deren Ausprägung im Horizont mit der Tiefe zunimmt, wenngleich zum Teil Toncutane die Carbonatkrusten überdecken. Die schmutzige Färbung der Carbonatkrusten weist auf eine reliktsche Ausfällung sekundärer Carbonate, rezente Kalkpseudomycelien sind auf den Krusten ausgefällt (Abb. 381). Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt des Feinbodens beträgt  $49\,665\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil silikatisch gebundenen Eisens  $23\,981\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $24\,988\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $696\text{ mgkg}^{-1}$ .



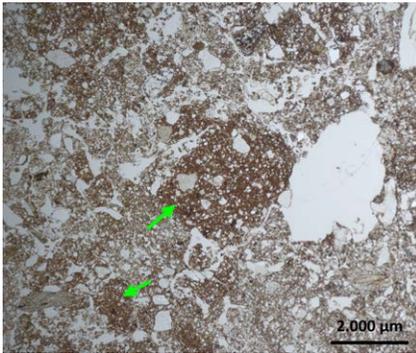
**Abbildung 383:** Übersicht Mikromorphologie Profil 117, 19–27 cm unter GOK



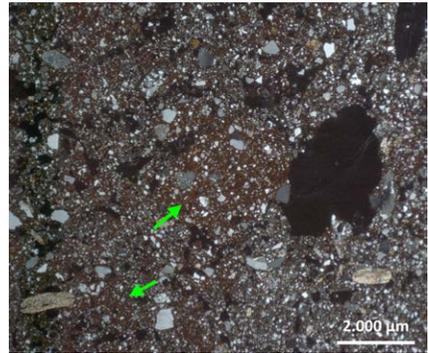
**Abbildung 384:** Übersicht Mikromorphologie Profil 117, 34–42 cm unter GOK

### III elCck 65–95+ cm

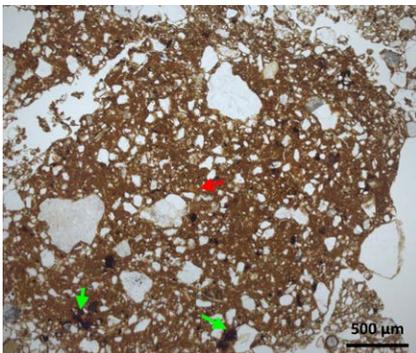
Der III elCck reicht von 65 cm bis 95 cm unter GOK. Die fluvialen Schotter haben einen Grobbodenanteil von etwa 50 %, das Skelett besteht aus Schluffsteinen, Sandsteinen und vergrustem Granit. Die Morphologie der Klaster ist stark gerundet bis gerundet. Der Grobboden ist teilweise ganzseitig mit Carbonatkrusten bedeckt, die Ausprägung der Carbonatkrusten nimmt im Profil mit der Tiefe zu. Ebenso finden sich Carbonatkrusten an Grobsand, was auf eine sekundäre Carbonatdynamik weist. Die schmutzig rotbraune Farbe der Carbonatkrusten weist auf eine reliktsche Bildung. Der Feinboden ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6), der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 21 %. Der  $\text{Fe}_T$ -Gehalt des Feinbodens beträgt  $44\,765\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil silikatisch gebundenen Eisens  $29\,760\text{ mgkg}^{-1}$ , der Anteil an Goethit/Hämatit  $14\,364\text{ mgkg}^{-1}$  und die Summe aus organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit  $641\text{ mgkg}^{-1}$ .



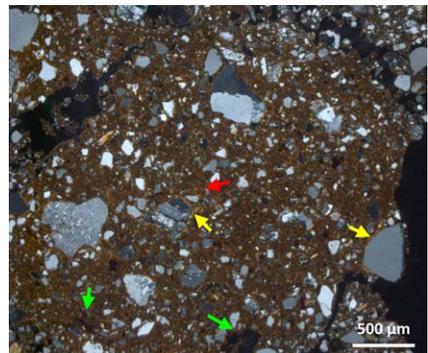
**Abbildung 385:** Pedorelikte in Profil 117, 19–27 cm, LPL; grüner Pfeil: Intraklast



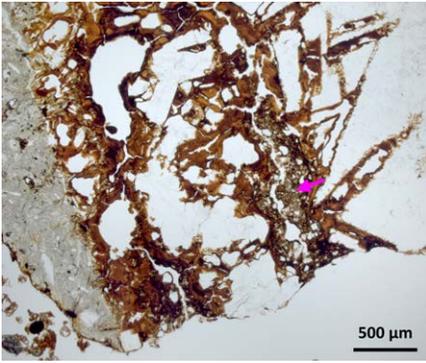
**Abbildung 386:** Pedorelikte in Profil 117, 19–27 cm, GPL; grüner Pfeil: Intraklast



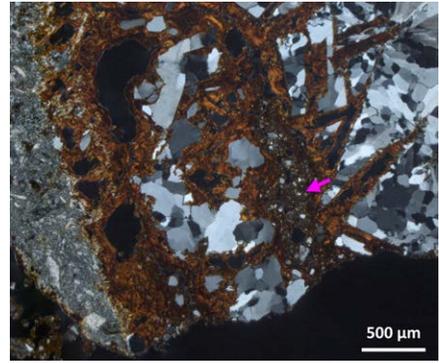
**Abbildung 387:** Toneinspülung im Pedorelikt (Profil 117, 19–27 cm, LPL); grüner Pfeil: Eisenaussfällung; roter Pfeil: Toncutan



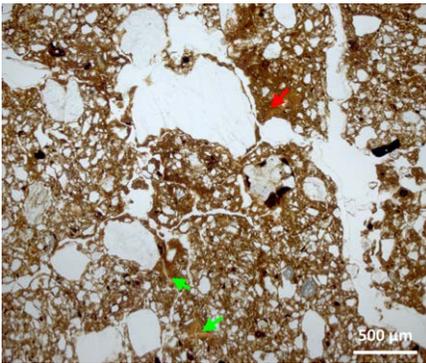
**Abbildung 388:** Toneinspülung im Pedorelikt (Profil 117, 19–27 cm, GPL); grüner Pfeil: Eisenaussfällung; roter Pfeil: Toncutan; gelber Pfeil: *granostriation*



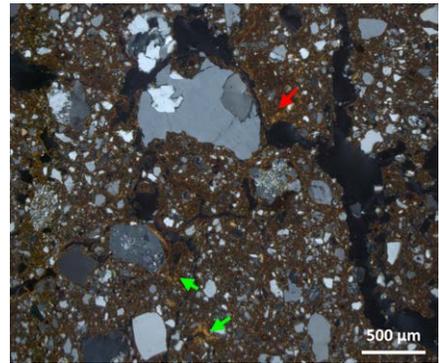
**Abbildung 389:** Toneinspülung in Lösungspore von Kies (Profil 117, 19–27 cm, LPL); pinker Pfeil: unsortiertes Cutan



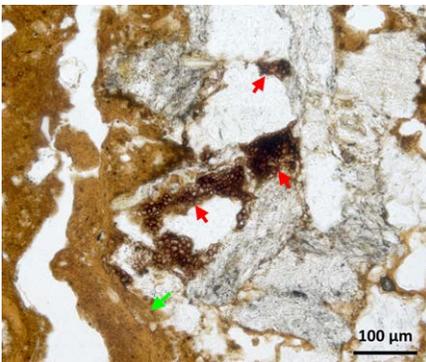
**Abbildung 390:** Toneinspülung in Lösungspore von Kies (Profil 117, 19–27 cm, GPL); pinker Pfeil: unsortiertes Cutan



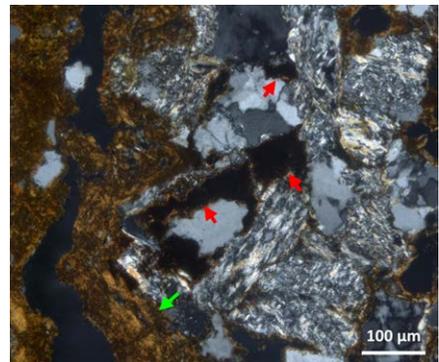
**Abbildung 391:** Schwach ausgeprägte Toneinspülung im Btv (Profil 117, 34–42 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutane; roter Pfeil: dunkelbraune Toncutane



**Abbildung 392:** Schwach ausgeprägte Toneinspülung im Btv (Profil 117, 34–42 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutane mit scharfen Auslöschungslinien; roter Pfeil: Toncutane mit diffusen Auslöschungslinien aufgrund von Eisenausfällung



**Abbildung 393:** Pilzmycel in Lösungsporen (Profil 117, 34–42 cm, LPL); grüner Pfeil: schmutzige Toncutane; roter Pfeil: Pilzmycel in Lösungsporen von Grobsand



**Abbildung 394:** Pilzmycel in Lösungsporen (Profil 117, 34–42 cm, GPL); grüner Pfeil: schmutzige Toncutane; roter Pfeil: Pilzmycel in Lösungsporen von Grobsand

## 6.80 Transekt 11 – Profil 123

Profil 123 befindet sich auf der 15-m-Terrasse am Westufer des Gállego (761 m ü. M., UTM: 30 T 716481 4709063). Das Profil ist 185 cm aufgeschlossen, der anstehende Mergel wurde in 165 cm unter GOK erreicht. Die Horizontabfolge ist eAh/Bv-elCv/II elCkc/III emCn, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus grobbodenarmem Substrat über glazifluvialen Schotter über Mergel. Die Farbe des Feinbodens im Hangenden weist trotz der Carbonatgehalte auf eine Verbraunung.

### eAh 0–7 cm

Der Feinboden zwischen 0 cm und 7 cm unter GOK ist sehr dunkel graubraun (10 YR 3/4). Die Textur des Feinbodens ist ein schluffiger Lehm (Abb. 396). Das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 5 % und besteht aus Kies, Grus und Steinen. An den Grobbodenkomponenten sind keine Verkrustungen mit sekundären Carbonaten vorhanden. Der Feinboden ist primär-carbonathaltig, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 15,7 %. Die Bodenlösung ist im gesamten Profil sehr schwach alkalisch.

### Bv-elCv 7-68 cm

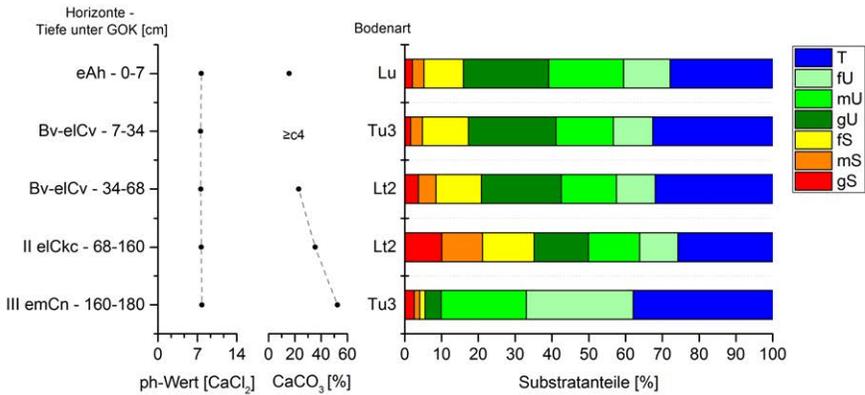
Von 7 cm bis 68 cm unter GOK ist der Feinboden dunkel graubraun (10 YR 3/3-5), die Textur ist ein schluffiger Ton bzw. ein schwach toniger Lehm. In 25 cm, 50 cm und 60 cm unter GOK sind horizontale Grobbodenlagen vorhanden. Der Grobboden besteht aus Kalksandsteinen, schlagfesten oder teilweise zu Grus verwitterten Graniten. Der Feinboden ist primär- und sekundär-carbonathaltig, wobei das Sekundär-carbonat als Kalkpseudomycelien ausgefällt ist. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 22,9 %.

### II elCkc 68–160 cm

Das 92 cm mächtige Schotterpaket mit einem Grobbodenanteil von 60 % liegt zwischen 68 und 160 cm unter GOK. Die Blöcke im Grobboden sind stark gerundet. An der Unterseite der Grobbodenkomponenten befinden sich Carbonatkrusten. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm und der Feinboden hat einen  $\text{CaCO}_3$ -Anteil von 35,5 %. Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/4).



**Abbildung 395:** Horizontabfolge Profil 123



**Abbildung 396:** Laborergebnisse Profil 123

### III emCn 160–180+

Die Basis des Profils bildet der anstehende Mergel. Die Farbe des Mergels ist gelbgrau (2,5 Y 5/3), die Textur ist ein schluffiger Ton. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil beträgt 52,3 %.

## 6.81 Transekt 11 – Profil 230

Das Profil 230 befindet sich etwa 20 m über dem rezenten Flussbett des Gállego an der Außenkante eines mit 4° nach Süden geneigten Hangs (719 m ü. M., UTM: 30 T 712522 4702008). Die Fläche oberhalb des Profils wurde als Ackerfläche verwendet, eine teilweise verstürzte Mauer aus Lesesteinen verläuft parallel zur Hangkante.

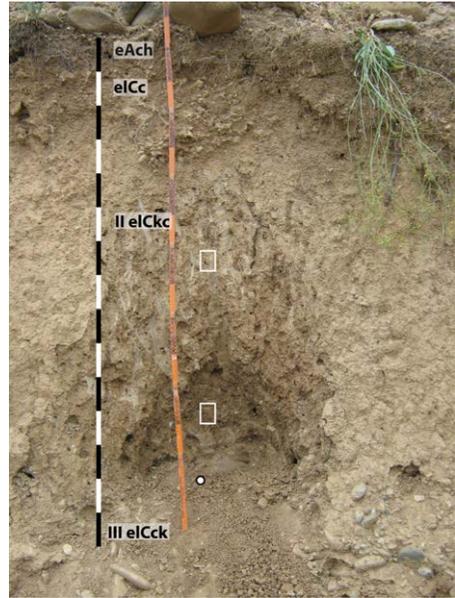


**Abbildung 397:** Aufschluss an der Kante der Terrasse mit Profil 230

Der Aufschluss hat eine Höhe von 230 cm, wobei während der Profilsprache nur die unteren 160 cm aufgrund nachstürzender Steine zugänglich waren. Die Horizontabfolge ist eAch/elCc/II elCkc/III elCck, der Bodentyp ist eine Pararendzina in einer grobbodenreichen Basislage mit parautochthonem Schutt über Löss über fluvialen Schottern. Der Löss hat an der Basis ein OSL-Alter von 61 ± 4 ka. Sekundärcarbonat ist im Löss als Lösskindl, Rhizolithe und nadelförmiger Calcit ausgefällt. Schluffcutane weisen auf eine partikuläre Verlagerung im Löss.

### eAch 0–20 cm

Zwischen 0 cm und 20 cm unter GOK ist der Feinboden gelblichbraun (10 YR 5/6). Das Gefüge des Horizonts ist auf den obersten 5 cm krümelig, darunter subpolyedrisch. Der Feinboden ist ein schwach toniger Lehm (Abb. 399). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil beträgt 29,5 %, wobei neben primären Carbonaten sekundäre Carbonate in Form von Kalkpseudomycelien in Poren ausgefällt sind. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer. Wurmgänge, Wurzelröhren und Tierhöhlen bis etwa 6 cm Durchmesser belegen eine intensive Bioaktivität. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, die Klasten sind stark gerundete Steine, Kies und Grus. Die Lithologie besteht aus Graniten und plattigem Flysch, wobei die plattigen Klasten eine hangparallele Ausrichtung haben. Die hangende Schicht fällt etwa  $4^\circ$  nach Süden.



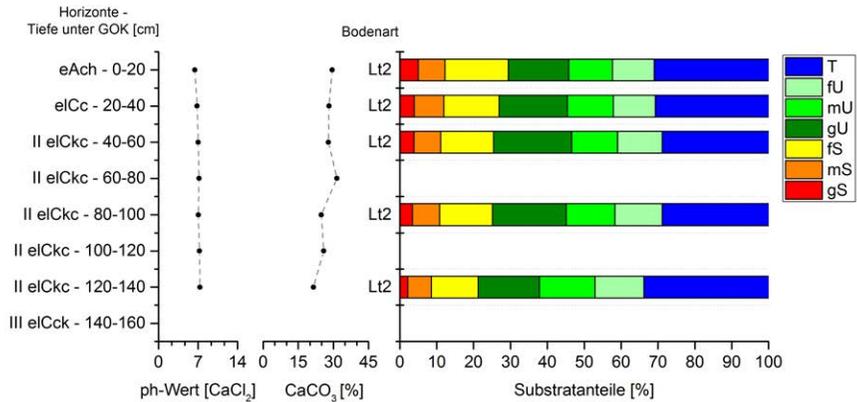
**Abbildung 398:** Horizontabfolge Profil 230; die weißen Rahmen markieren die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, der Punkt markiert die Position der OSL-Beprobung

### elCc 20–40 cm

Im elCc von 20 cm bis 40 cm unter GOK ist der Feinboden dunkel gelblichbraun (10 YR 5/6). Die Bodenlösung ist neutral und der Carbonatanteil beträgt 28,1 %. Die Schichtuntergrenze ist scharf und wellig. Der Grobboden ist wie darüber.

### II elCkc 40–140 cm

Der Feinboden ist gelblichbraun (10 YR 4,5/6). Eine OSL-Datierung an der Basis ergab ein OSL-Alter von  $61 \pm 4$  ka (Risø-Nr. 105018, Tab. 2). Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Der Grobbodenanteil ist sehr gering ( $< 1\%$ ). Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 21,5 % bis 27,9 %, wobei sekundäre Carbonatanreicherungen als Lösskindl bis 4 cm Durchmesser vor allem in der unteren Hälfte des Horizonts vorliegen (Abb. 400 und Abb. 401). Das Vorhandensein primärer und sekundärer Carbonate im Feinboden führte aufgrund des Verzichts der Carbonaterzörung bei der Korngrößenanalyse im Labor zu einer deutlichen Unterschätzung der Feinsand- und Grobschlufffraktionen. Die Bodenlösung ist neutral. Wie die hangende Schicht ist der Horizont von einer hohen Bioaktivität geprägt. Tiergänge bis 50 mm Durchmesser und Wurmgänge mit Wurmlösung weisen auf



**Abbildung 399:** Laborergebnisse Profil 230

Bioturbation (Abb. 402 und Abb. 403). An der Basis der Schicht finden sich neben Holzkohlefragmente auch ausgeprägte Toncutane in den Poren. Die Toncutane bzw. Schluffcutane sind an der scharfen Untergrenze der Schicht sehr ausgeprägt und greifen teilweise in Makroporen des liegenden Schotter über.

Das  $c_{20-200 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single-spaced porphyric* (Abb. 404 bis Abb. 411), die *b-fabric* ist *calclitic crystallitic*. Nadelförmiger Calcit in Form netzartiger Verwachsungen oder auch als einzelne Nadeln kleidet die Porenwände aus (Abb. 406 und Abb. 407). Der nadelförmige Calcit liegt entweder in Form von etwas dickeren (etwa 4  $\mu\text{m}$ ) und teilweise rechtwinklig-dendritischen oder dünnen (< 2  $\mu\text{m}$ ) und etwa 30  $\mu\text{m}$  langen Nadeln vor. In den Poren ist  $\text{CaCO}_3$  als Mikrit in Form von *coatings* und *hypocoatings* ausgefällt (Abb. 404 bis Abb. 407). Die *hypocoatings* reichen bis zu 400  $\mu\text{m}$  in die Matrix (Abb. 410 und Abb. 411). *Coatings* aus Mikrit sind oft mit den netzartigen Calcitnadeln vergesellschaftet, die Mikritkristalle füllen die Maschen des Netzes. Des Weiteren füllt Mikrit sich verjüngende Poren aus. Toncutane bedecken dicht gewachsene *coatings* aus nadelförmigem Calcit (Abb. 408 und Abb. 409). Vor allem an der Basis des Lösses finden sich im rezenten Porenraum Hinweise auf Illuvation. Neben Schluffcutanen kleiden seltener Toncutane die Poren aus, wobei diese mit etwa 50  $\mu\text{m}$  Dicke eher geringmächtig sind. Staubige Cutane und Schluffcutane dominieren hinsichtlich Mächtigkeit und Verbreitung (Abb. 410 und Abb. 411). Die bis zu 2500  $\mu\text{m}$  mächtigen Schluffcutane an der Basis des Lösses sind teilweise laminiert und mit dünnen Lagen aus Grobschluff bzw. Feinsand durchzogen (Abb. 412 und Abb. 413). Eisenausfällungen in Toncutanen und als *hypocoatings* und *quasicoatings* um Poren weisen auf eine rezente Eisendynamik. Biogene Calcit ausfällungen finden sich in Form von Rhizolithen (Abb. 410 und Abb. 411) und Regenwurmcacit.

### III eICck 140–160+ cm

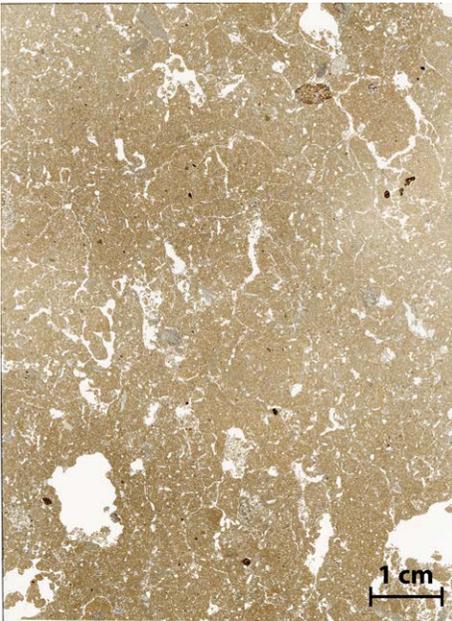
Die unterste Schicht im Profil hat einen Grobbodenanteil von 50 % und besteht aus stark gerundeten Steinen und Kiesen, die Fazies ist fluvial. Der Grobboden ist an der Unterseite und hangwärtigen Seite mit Carbonat verkrustet. Das grobbodenreiche Sediment ist im Gegensatz zu der obersten Schicht horizontal gelagert, der Neigungswinkel beträgt 0°. Das Gefüge des Feinbodens ist ein Kittgefüge mit  $\text{CaCO}_3$  als Kittsubstanz. Aufgrund der Verkitung des Feinbodens wurde von einer Beprobung abgesehen.



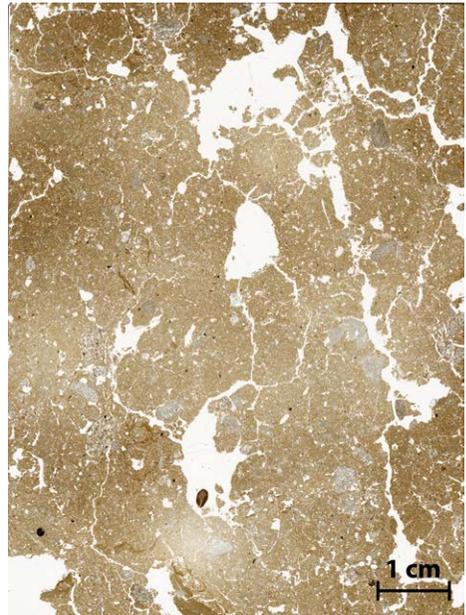
**Abbildung 400:** Profil 230: Lösskindl aus dem II eICck



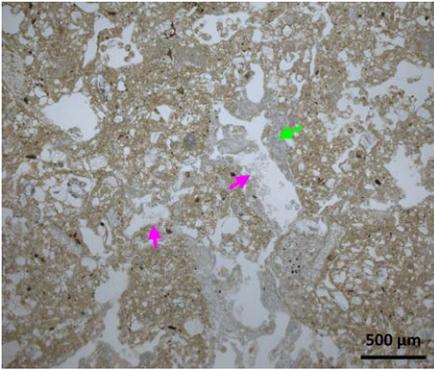
**Abbildung 401:** Profil 230: Teilweise hohler Lösskindl aus dem II eICck



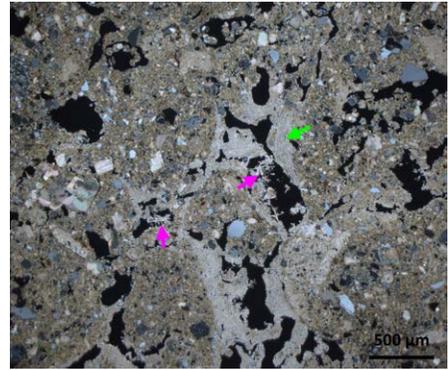
**Abbildung 402:** Übersicht Mikromorphologie Profil 230, II eICck, 63–71 cm unter GOK



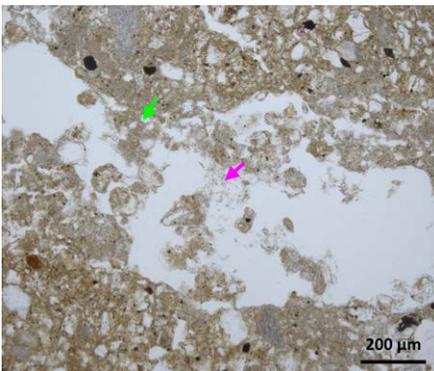
**Abbildung 403:** Übersicht Mikromorphologie Profil 230, II eICck, 108–116 cm unter GOK



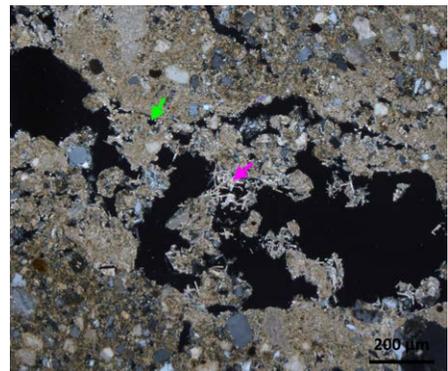
**Abbildung 404:** Calcitausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritisches *calcitcoating*; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit



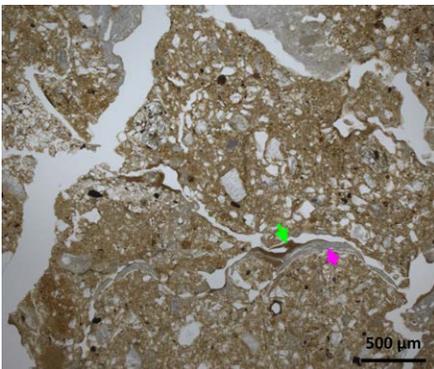
**Abbildung 405:** Calcitausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritisches *calcitcoating*; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit



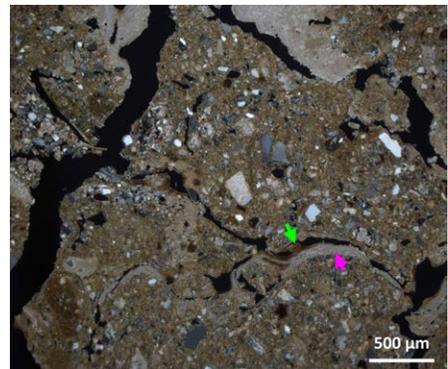
**Abbildung 406:** Calcitausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit.



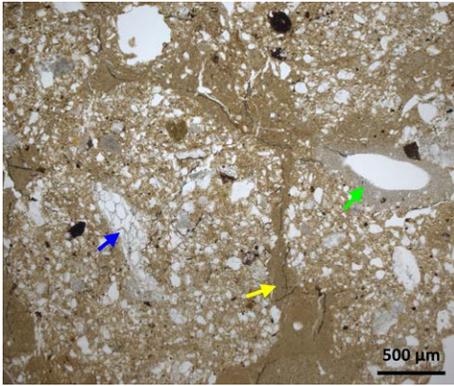
**Abbildung 407:** Calcitausfällung in den Poren (Profil 230, 63–71 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritischer Calcit; pinker Pfeil: nadelförmiger Calcit



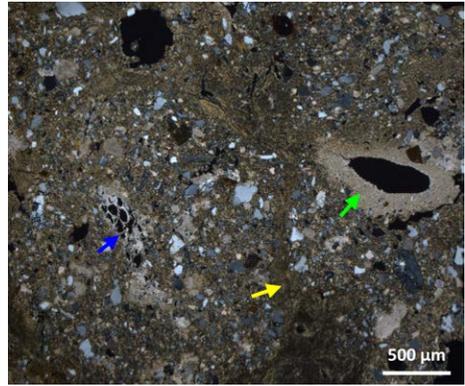
**Abbildung 408:** Tonverlagerung in carbonathaltigem Bodenmilieu (Profil 230, 108–116 cm, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: dicht gewachsener nadelförmiger Calcit



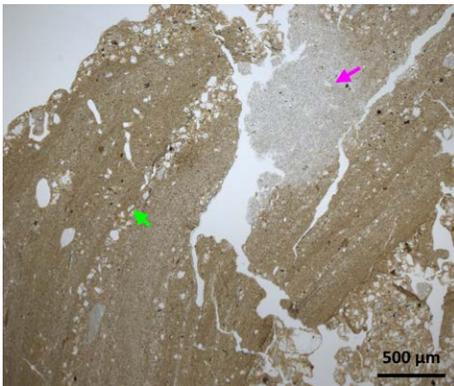
**Abbildung 409:** Tonverlagerung in carbonathaltigem Bodenmilieu (Profil 230, 108–116 cm, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: dicht gewachsener nadelförmiger Calcit



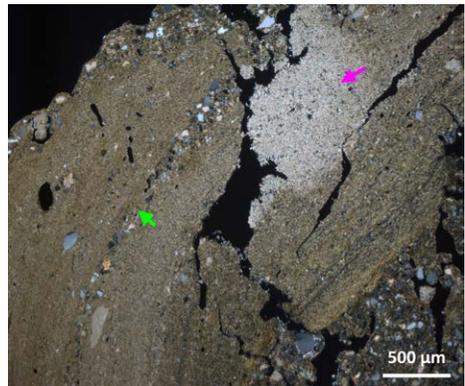
**Abbildung 410:** Schluffeintrag und Calcitausfällung (Profil 230, 108–116 cm, LPL); grüner Pfeil: mikritisches *calcitcoating*; gelber Pfeil; Schluffcutan; blauer Pfeil: angewitterter Rhizolith



**Abbildung 411:** Schluffeintrag und Calcitausfällung (Profil 230, 108–116 cm, GPL); grüner Pfeil: mikritisches *calcitcoating*; gelber Pfeil; Schluffcutan; blauer Pfeil: angewitterter Rhizolith



**Abbildung 412:** Polygenetisches Cutan mit Calcit-  
ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, LPL); grüner Pfeil:  
feinsandiges Cutan; pinker Pfeil: mikritischer Calcit



**Abbildung 413:** Polygenetisches Cutan mit Calcit-  
ausfällung (Profil 230, 108–116 cm, GPL); grüner Pfeil:  
feinsandiges Cutan; pinker Pfeil: mikritischer Calcit

## 6.82 Transekt 11 – Profil 210

Profil 210 befindet sich 15 m über dem heutigen Flussbett des Gállego auf einer nach Süden exponierten Terrasse am Rand einer Kiesgrube (555 m ü. M., UTM: 30 T 690719 4694283). Die Fläche die Kiesgrube wurde landwirtschaftlich genutzt, eine teilweise verstärkte hüft-  
hohe Mauer aus Lesesteinen befindet sich direkt hinter dem Profil. Das Anstehende wurde  
nicht erreicht, ein mindestens 380 cm mächtiges Schotterpaket bildet die Basis des Profils.  
Die Horizontabfolge ist Ah/Al-Bv/II Bvt/III Bvt/III eCv/III eCck (Abb. 415), der Bodentyp  
ist eine Parabraunerde aus pedogen vorgeprägtem und grobbodenarmem Substrat mit einer  
schichtübergreifenden Tonverlagerung in die liegenden fluvialen Schotter. Die Dominanz

von Feinsand und Grobschluff in der Textur des hangenden Substrats weist auf eine äolische Sedimentation als Löss. Die mikromorphologischen Untersuchungen am hangenden Sediment belegen eine mehrphasige Prägung mit periglazialen Schluffhauben und einer syn- bzw. post-pedogenen kolluvialen Überprägung. Der farblich markante Illuvialhorizont mit den hohen Feintongehalten und makroskopisch erkennbaren Toncutanen belegt die Lesivierung als prägenden Prozess. Das hangende Sediment hat an der Basis ein OSL-Alter von  $3,0 \pm 0,2$  ka, was auf eine Störung des Standorts infolge landwirtschaftlicher Nutzung zurückgeführt wird.

#### **Ah 0–2 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel rötlichbraun (5 YR 4/6). Die Textur ist ein schwach sandiger Lehm, Feinsand und Grobschluff ( $\Sigma = 48\%$ ) dominieren den Feinboden (Abb. 414). Der Feintonanteil beträgt 10 %. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Die Bodenlösung ist schwach sauer.

#### **Al-Bv 2–52 cm**

Der Feinboden ist ein schwach toniger bzw. schwach sandiger Lehm. Die Farbe ist dunkelgraubraun (5 YR 4/4). Das Gefüge ist polyedrisch, der Horizont ist kompakt gelagert und nur schwierig grabbar (Abb. 416). Die Summe von Feinsand und Grobschluff beträgt im Horizont zwischen 47 % bis 58 %. Der Anteil an Feinton nimmt von der Obergrenze bis zur Basis des Horizonts von 8,7 % auf 14,4 % zu. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, wobei vor allem Mittelgrus, Feinkies und Mittelkies vorliegen. Die Lithologie des Grobbodens ist von Sandsteinen und Granit bestimmt.

Das  $c_{20-200 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *close porphyric* bis *single spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, *porostriated*, *monostriated* und *stipple-speckled*. Biogene Poren in Form von Wurzelröhren und Wurmgängeln durchziehen die Matrix. An Grobsand und Grobbodenkomponenten befinden sich porenfreie Schluffhauben und Anhaftungen pedogen vorgeprägten Materials. Während die Schluffhauben auf eine periglaziale Überprägung des Sediments weisen, deuten die pedogen vorgeprägten Anhaftungen auf eine weitere Umlagerungsdynamik nach dem Einsetzen der Pedogenese (Abb. 419 bis Abb. 422). Die Anhaftungen an den Grobbodenkomponenten sind teilweise mit  $25 \mu\text{m}$  mächtigen leuchtenden Toncutanen bedeckt (Abb. 419 und Abb. 420). Runde *anorthic/disorthic nodules* weisen ebenfalls auf die Umlagerung pedogen vorgeprägten Materials (Abb. 421 & Abb. 422). Die intensive Verbraunung der *anorthic nodules* in Verbindung mit fragmentierten Toncutanen innerhalb der Pedorelikte zeigt, dass Verbraunung, Verlehmung und Tonverlagerung vor der Umlagerung der runden Aggregate die prägenden pedogenen Prozesse waren. Tonverlagerung (Abb. 417 und Abb. 418) und Verbraunung sind aber auch wieder die rezenten pedogenen Prozesse, weswegen der Horizont nicht als Kolluvium, sondern als Al-Bv auskartierte wurde.

## II Bvt 52–68 cm

Die Farbe ist dunkel graubraun (5 YR 3/4), wobei der Horizont einen höheren Rotanteil als darüber hat. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bzw. ein sandig-toniger Lehm. Feinsand und Grobschluff ( $\Sigma = 51\%$ ) dominieren den Feinboden. Der Feintonanteil nimmt im Vergleich zum hangenden Horizont von 14,1 % auf 21,1 % zu. Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, der Horizont ist trotz des höheren Tonanteils im Gegensatz zum hangenden Horizont gut grabbar. Das Gefüge ist subpolyedrisch. Rotbraune Toncutane umhüllen Aggregate und Grobbodenkomponenten. Die Bodenlösung ist schwach sauer. Die Untergrenze zum liegenden Schotter ist scharf und wellig. Das Sediment hat in 55 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $3,0 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 105018, Tab. 2).

## III Bvt 68–84 cm

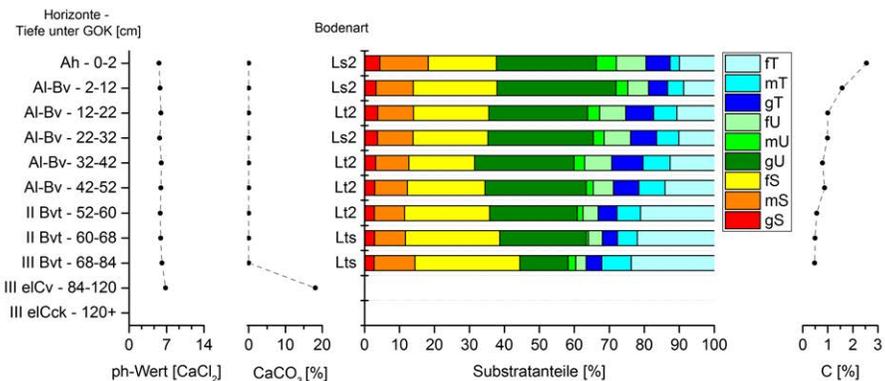
Die Farbe ist dunkel graubraun (5 YR 3/4). Die Textur des Feinbodens ist ein sandig-toniger Lehm. Der Feintonanteil erreicht im III Bvt das Maximum im Profil mit 23,7 %. Feinsand und Grobschluff nehmen im Vergleich zum hangenden Horizont leicht ab ( $\Sigma = 44\%$ ). Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 60 %, wobei stark gerundete Steine und Kiese aus Graniten und Kalksandsteinen die Hauptkomponenten sind. Die Fazies des Sediments ist fluvial. Die Granite sind teilweise nicht mehr schlagfest, sondern zerfallen beim Hammerschlag zu Grus. An der Unterseite der Klasten befinden sich Carbonatkrusten. Die Bodenlösung ist sehr schwach sauer.

## III elCv 84–120 cm

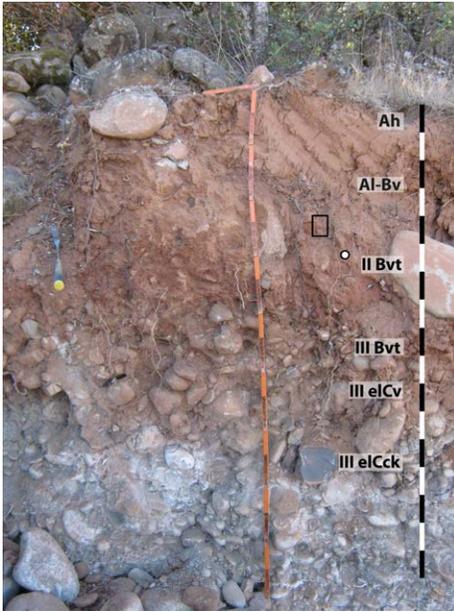
Die Farbe ist dunkel braungrau (5 YR 4/3). Die Bodenlösung ist neutral, der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt 18,2 %. Rhizolithe bis zu 2 mm Durchmesser sind im Feinboden.

## III elCck 120+ cm

Die Farbe ist hell bräunlichgrau (5 YR 7/1). Der Feinboden ist mit sekundären Carbonaten verkittet und ausgeprägte Calcitkrusten haften an Grobbodenkomponenten.



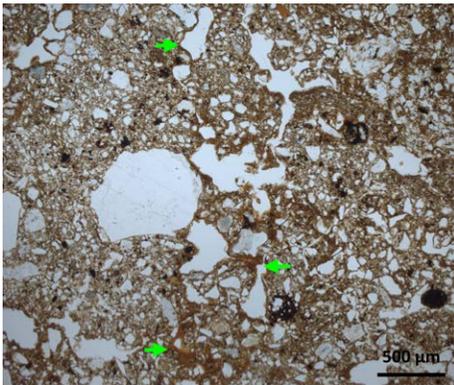
**Abbildung 414:** Laborergebnisse Profil 210



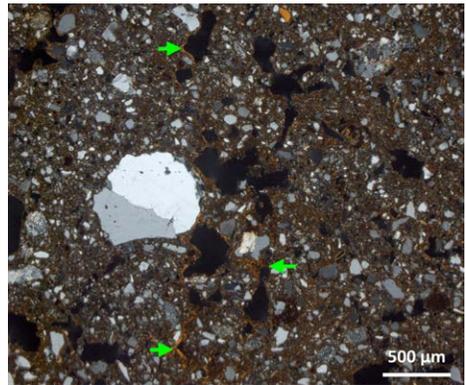
**Abbildung 415:** Horizontabfolge Profil 210; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, der Punkt markiert die Position der OSL-Beprobung



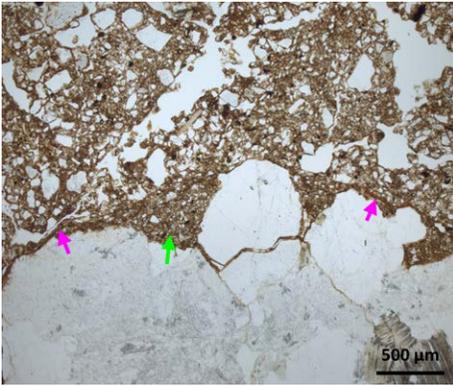
**Abbildung 416:** Übersicht Mikromorphologie Profil 210, 40–48 cm unter GOK



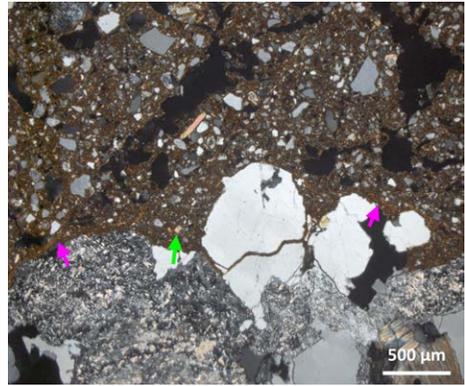
**Abbildung 417:** Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, LPL); grüner Pfeil: Toncutan



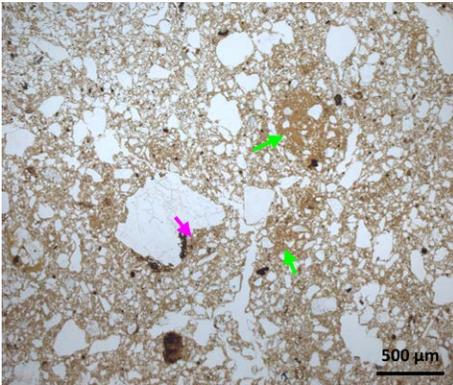
**Abbildung 418:** Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, GPL); grüner Pfeil: Toncutan



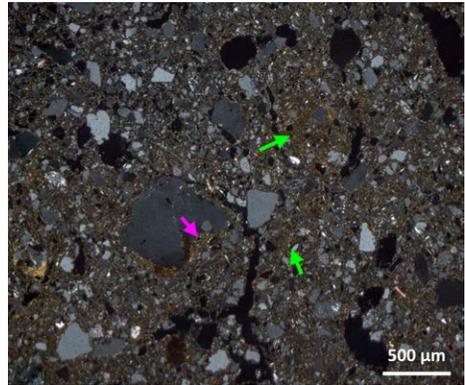
**Abbildung 419:** Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, LPL); grüner Pfeil: Schluffhaube; pinker Pfeil: Toncutan



**Abbildung 420:** Schwach ausgeprägte und leuchtende Toncutane im Porenraum (Profil 210, GPL); grüner Pfeil: Schluffhaube; pinker Pfeil: Toncutan



**Abbildung 421:** Pedorelikte als Hinweis auf Umlagerungsvorgänge (Profil 210, LPL); grüner Pfeil: *anorthic/disorthic nodules*; pinker Pfeil: Schluffhaube

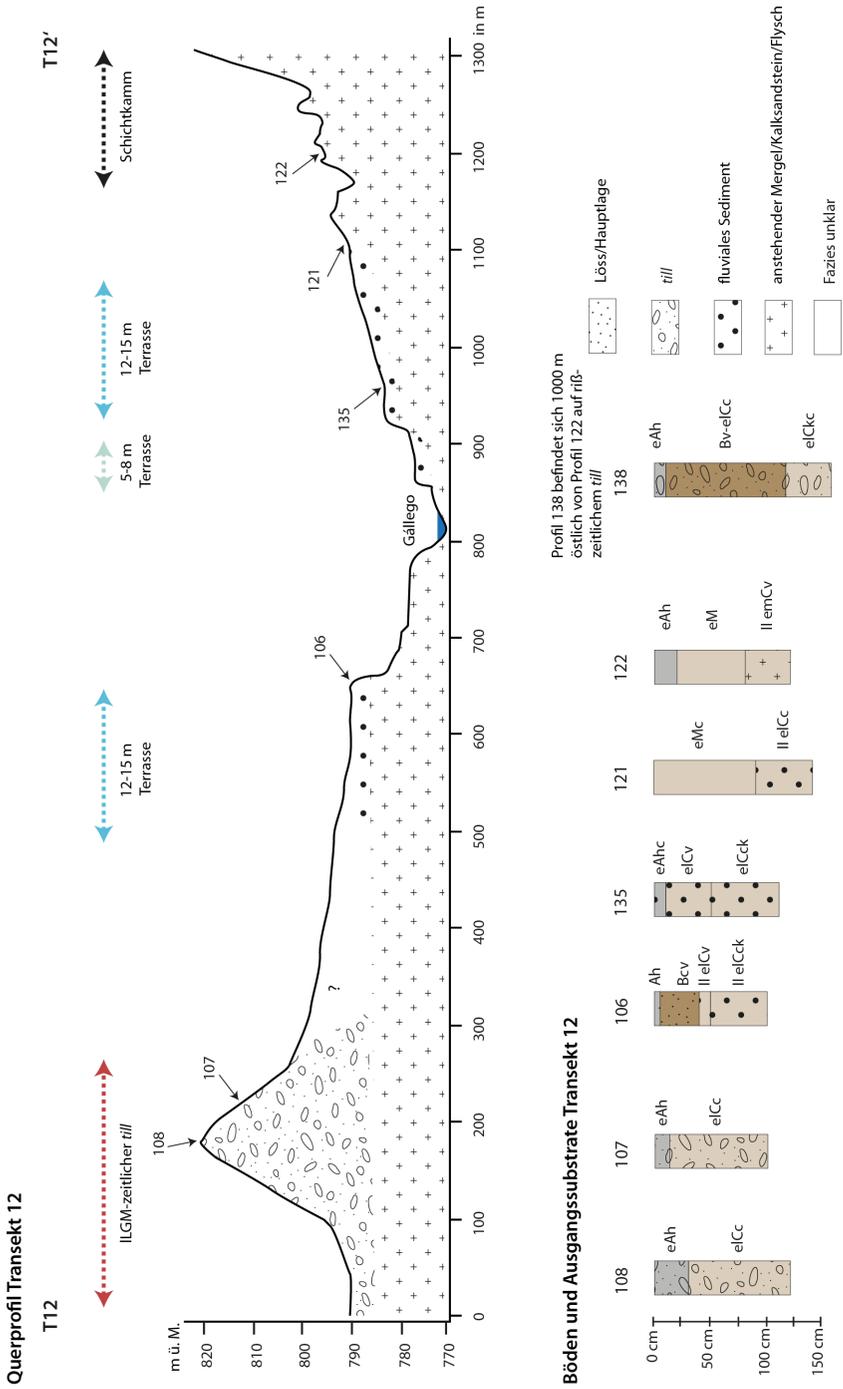


**Abbildung 422:** Pedorelikte als Hinweis auf Umlagerungsvorgänge (Profil 210, GPL); grüner Pfeil: *anorthic/disorthic nodules*; pinker Pfeil: Schluffhaube

### 6.83 Synthese Transekt 12

Transekt 12 reicht von der würmzeitlichen Endmoräne von Senegüé über die fluvialen Terrassen zu rißzeitlichen Glazialsedimenten östlich des Schichtkamms (Abb. 18, Abb. 328 und Abb. 423).

- Die Böden und Sedimente entlang Transekt 12 sind außer Profil 106 bis in den Oberboden primärcarbonathaltig. In allen Profilen wurden Anhaftungen von Calcitkrusten an Steinunterseiten festgestellt. Sekundärcarbonate sind als Kalkpseudomycelien ausgefällt.
- Nur Profil 106 in einem 40 cm mächtigen allochthonen Sediment weist eine deutliche Verbraunung des entcarbonatisierten Unterbodens auf. Hingegen sind die Pararendzinen in den Profilen 107, 108 und 135 aufgrund der Carbonatgehalte vergleichsweise gering entwickelt. Die Bodenentwicklung in dem rißzeitlichen Glazialsediment in Profil 138 ist von einer 116 cm tief reichenden Verbraunung geprägt, wobei der *till* nicht entcarbonatisiert ist.
- Im exponierten Kulminationsbereich der Endmoräne und im Oberhang sind Pararendzinen mit primärcarbonathaltigen Oberböden entwickelt (Profile 107 und 108) und am Hangfuß des Schichtkamms befinden sich ungegliederte, mächtige Kolluvien (Profile 121 und 122). Zwar ist der Unterhang der Endmoräne wegen Straßenausbaus und ackerbaulicher Nutzung stark beeinflusst, weswegen die dortigen Sedimente nicht weiter untersucht wurden, die nur schwach entwickelten Pararendzinen auf der Endmoräne und die direkte Nähe zum Dorf Senegüé deuten aber auf eine erosive Profilverkürzung auf der Endmoräne.



**Abbildung 423:** Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 12 (s. a. Beilage 1); die Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil sind nicht maßstabsgetreu

## 6.84 Transekt 12 – Profil 108

Profil 108 liegt auf dem Kulminationsbereich der Endmoräne von Senegüé (820 m ü. M., UTM: 30 T 718414 4713618). Die bogenförmige Endmoräne hat eine Länge von etwa 1100 m und eine maximale Höhe von 30 m über dem Talgrund. Der Innenhang der Endmoräne ist steil und konkav, der Außenhang ist flach und konvex. Das Dorf Senegüé befindet sich am Westrand der Endmoräne. Die Oberfläche der Endmoräne ist von losem Grobboden bedeckt. Der *till* der Endmoräne ist diamiktisch, das Ske-



**Abbildung 424:** Horizontabfolge Profil 108

lett besteht aus Mergel, Kalksandsteinen, Kalksteinen und vergrustem Granit. Die Horizontabfolge ist eAh/eICc, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till* (Abb. 424). Der Feinboden ist nur schwach verbraunt, die Bodenentwicklung ist von Carbonatumlagerung geprägt. Die schwache Bodenentwicklung wird auf die landwirtschaftliche Nutzung und die dadurch verursachte Profilverkürzung aufgrund Erosion zurückgeführt.

### eAh 0–30 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel gelbgrau (2,5 Y 3/2,5). Die Textur des Feinbodens ist ein schluffig lehmiger Sand bzw. sandig-lehmiger Schluff. Das Gefüge ist krümelig und geht mit zunehmender Tiefe in ein Subpolyedergefüge über. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil im Feinboden beträgt zwischen 0 cm und 10 cm unter GOK 38,4 % und zwischen 10 cm und 20 cm unter GOK 23,6 %, ab 20 cm bis 30 cm unter GOK steigt der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil auf 32,9 % an (Abb. 425). Die Bodenlösung ist auf den obersten 10 cm neutral, darunter sehr schwach alkalisch. Calcitkrusten haften an der Unterseite von Grobbodenkomponenten.

### eICc 30–120+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (2,5 Y 4,5/4). Die Körnung des Feinbodens ist ein schluffig-lehmiger Sand bis schwach sandiger Lehm. Der  $\text{CaCO}_3$ -Anteil schwankt zwischen 38,8 % und 46,3 %. Die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Calcitanhaftungen an Grobboden sind nicht nur auf die Unterseite beschränkt, mit zunehmender Tiefe ist der Grobboden ganzseitig verkrustet. Der Feinboden zeigt eine beginnende Verkittung mit Calciumcarbonat, unterhalb von Grobbodenkomponenten ist das Kittgefüge ausgeprägter.

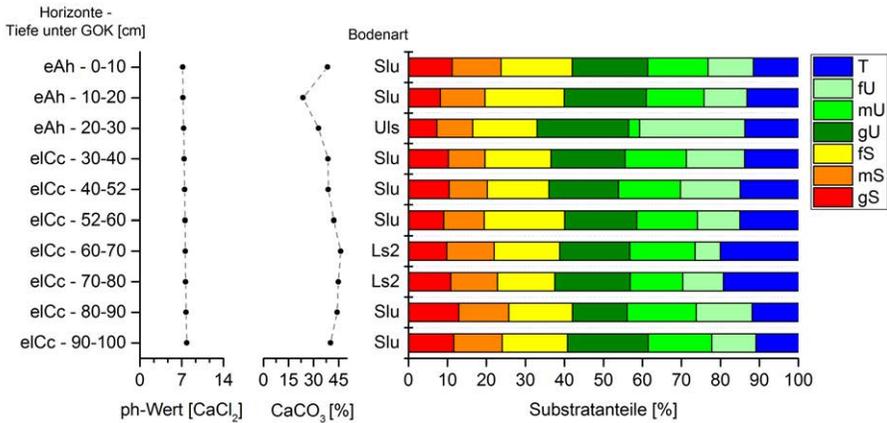


Abbildung 425: Laborergebnisse Profil 108

### 6.85 Transekt 12 – Profil 107

Das Profil 107 befindet sich auf dem südexponierten Außenhang der Endmoräne von Senegüé auf 811 m ü. M. (UTM: 30 T 718458 4713591). Der Hang der Endmoräne ist spärlich mit Buchs und Rosmarin bewachsen, der Hang ist mit einem losen Steinpflaster bedeckt. Die Horizontabfolge ist eAh/elCc, der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till* (Abb. 426). Analog zu Profil 108 wird die nur schwache Bodenentwicklung auf eine anthropogen induzierte Profilverkürzung infolge Erosion zurückgeführt.



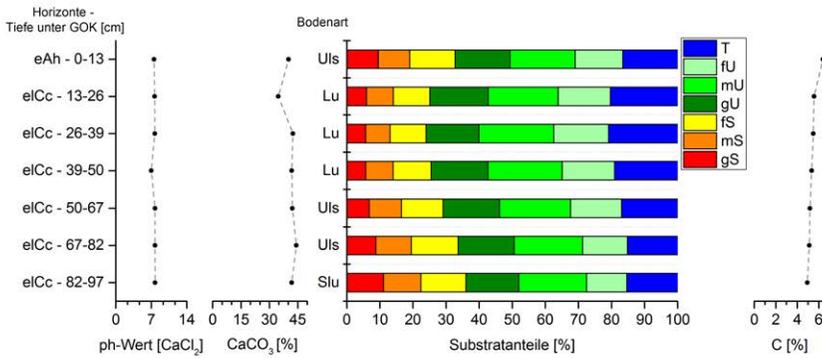
Abbildung 426: Horizontabfolge Profil 107

#### eAh 0–13 cm

Der Feinboden ist graubraun (2,5 Y 5/4). Die Textur ist ein sandig-lehmiger Schluff (Abb. 427). Der CaCO<sub>3</sub> Anteil im Feinboden beträgt 40,2 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %.

#### elCc 13–100+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist hell graubraun (2,5 Y 6/4), die Körnung ist ein schluffiger Lehm. Das Gefüge ist schwach polyedrisch. Der CaCO<sub>3</sub>-Anteil im Feinboden schwankt



**Abbildung 427:** Laborergebnisse Profil 107

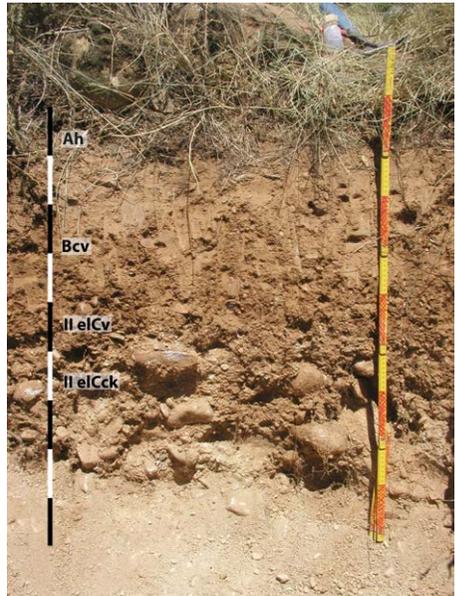
im Horizont zwischen 34,8 % und 44,3 %, die Bodenlösung ist sehr schwach alkalisch. Der Grobbodenanteil beträgt 15 %, wobei das Skelett vor allem in einer Profilhälfte konzentriert ist. Der Grobboden besteht aus Grus, Kies und Steinen.

### 6.86 Transekt 12 – Profil 106

Profil 106 ist an der Kante der 15-m-Terrasse des Gállego auf 793 m ü. M. angelegt (UTM: 30 T 718706 4713314). Im Profil liegt eine 40 cm mächtige und grobbodenarme Schicht über fluvialem Schotter. Das Schotterpaket hat eine Mächtigkeit von etwa 4 m und bedeckt den anstehenden Mergel. Die Horizontabfolge ist Ah/Bcv/II elCv/II elCck, der Bodentyp ist eine Kalkbraunerde aus grobbodenarmem Substrat über fluvialen Schottern (Abb. 428). Das hangende Sediment ist allochthon, aufgrund der Skelettarmut ist eine äolische Fazies wahrscheinlich.

#### Ah 0–5 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 3/4). Das Gefüge ist krümelig, der Feinboden ist carbonatfrei. Der Grobbodenanteil beträgt 2 % und besteht aus Kies, Grus und Steinen. Die Grobbodenkomponenten sind teilweise noch carbonathaltig.



**Abbildung 428:** Horizontabfolge Profil 106

### **Bcv 5–40 cm**

Der Feinboden ist braun (7,5 YR 5/8), das Gefüge ist polyedrisch. Der Feinboden ist frei von Primärcarbonat, Sekundärcarbonat liegt in Form von Kalkpseudomycel und weißen Konkretionen mit Durchmessern von 0,5 mm bis 2 mm vor.

### **II eICv 40–50 cm**

Der Horizont ist marmoriert. Neben Verwitterung des Feinbodens ist der Feinboden mit sekundären Carbonaten verkittet. Der Grobbodenanteil beträgt 20 %, das Skelett besteht aus stark gerundeten bis gerundeten Steinen und Kies. Calcitkrusten haften an der Unterseite des Grobbodens. Der Feinboden unterhalb von Grobbodenkomponenten ist verkittet.

### **II eICck 50–100+ cm**

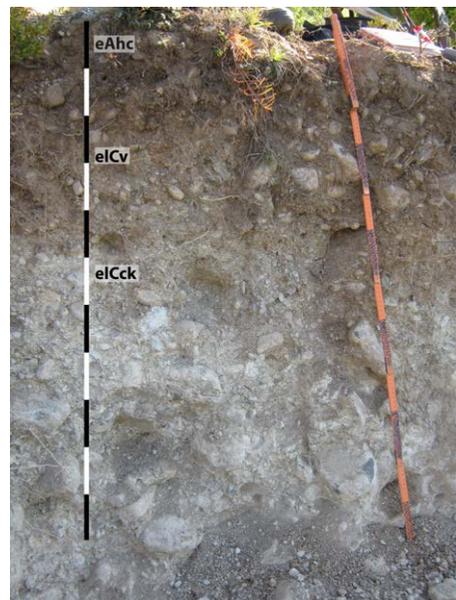
Der Feinboden ist carbonatreich. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, das Skelett besteht aus Kies und runden Steinen. Der Grobboden ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt, an der Unterseite der Klasten sind die Calcitausfällungen am deutlichsten.

## **6.87 Transekt 12 – Profil 135**

Profil 135 liegt auf der 15-m-Terrasse des Gállego auf 797 m ü. M. (UTM: 30 T 718977 4713040). Das Anstehende wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eAhc/elCv/elCck (Abb. 429), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus fluvialen Sedimenten. Die Verbraunung ist im Profil trotz des carbonathaltigen Feinbodens auf die oberen 50 cm beschränkt, darunter ist der Feinboden mit Carbonat verkittet.

### **eAhc 0–10 cm und elCv 10–50 cm**

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 4/3) und carbonatreich, das  $\text{CaCO}_3$  liegt als Primärcarbonat und Sekundärcarbonat vor. Der Grobbodenanteil beträgt 40 % und besteht aus stark gerundeten bis gerundeten Kiesen und Steinen. Calcitkrusten haften an der Unterseite des Skeletts.



**Abbildung 429:** Horizontabfolge Profil 135.

### eICc 50–110+ cm

Der Feinboden ist gelbgrau (2,5 Y 5/3) und mindestens carbonatreich. Der Feinboden ist teilweise mit Sekundärcarbonat verkittet. Der Grobboden ist ganzseitig mit Calcitkrusten bedeckt, die Calcitanhaftungen sind an den Unterseiten der Klasten am ausgeprägtesten.

## 6.88 Transekt 12 – Profil 121

Profil 121 befindet sich am Hangfuß, der Hang oberhalb des Profils ist gestreckt-konkav (796 m ü. M., UTM: 30 T 718806 4713023). Der anstehende Mergel wurde im Profil nicht erreicht. Die Horizontabfolge ist eMc/II eICc, der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinbodenreichem Substrat über skelettreichem Substrat (Abb. 430).

### eMc 0–90 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (10 YR 3/4), carbonatreich und enthält Primär- und Sekundärcarbonat. Der Grobbodenanteil beträgt 2%. Im Feinboden sind stellenweise viele Holzkohleflitter. Der Feinboden ist ein schluffiger Ton.

### II eICc 90–140+ cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 4/4) und mindestens carbonatreich. Der Grobbodenanteil beträgt 60%, das Skelett besteht aus Kies und Grus. Der Feinboden ist schluffiger als darüber.

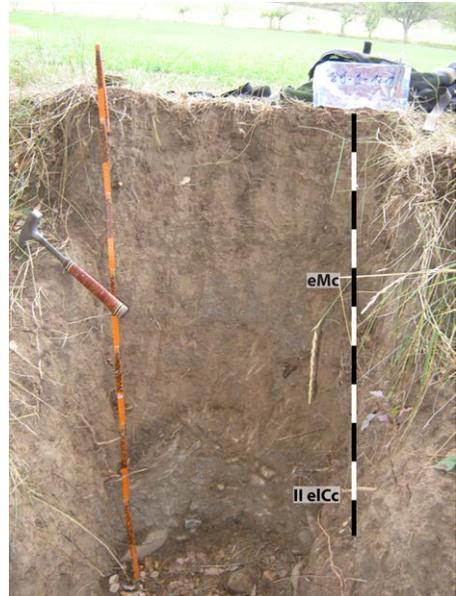


Abbildung 430: Horizontabfolge Profil 121

## 6.89 Transekt 12 – Profil 122

Profil 122 ist im Unterhang der Schichtkamms angelegt (812 m ü. M., UTM: 30 T 719032 4712817). Die Horizontabfolge ist eAh/eM/II emCv, der Bodentyp ist ein Kolluvisol aus feinbodenreichem Substrat über dem anstehenden Mergel (Abb. 431).

### eAh 0–20 cm

Der Feinboden ist gelblichgrau (2,5 Y 4/2) und mindestens carbonatreich. Das Gefüge ist krümelig, der Grobbodenanteil beträgt 1%.

### eM 20–80 cm

Die Farbe des Feinbodens ist gelbgrau (2,5 Y 4/4). Der Feinboden ist mindestens carbonatreich. Mittels Fingerprobe wurde die Textur als stark toniger Schluff bestimmt. Der Grobbodenanteil beträgt 2 %, wobei das Skelett in dünnen und horizontalen Lagen das Profil durchzieht.

### II emCv 80–120+ cm

Der Mergel ist grüngrau (5 Y 5/3) und mindestens carbonatreich. Die primäre Gesteinsstruktur des Mergels ist noch erkennbar.



Abbildung 431: Horizontabfolge Profil 122

## 6.90 Transekt 12 – Profil 138

Profil 138 befindet sich auf der Ostseite des Schichtkamms auf einer etwa 50 × 30 m großen Restform, die mit mehreren Großblöcken aus Granit bedeckt ist (855 m ü. M. 30 T 719907 4712755). Die Horizontabfolge ist eAh/Bv-elCv/elCkc (Abb. 432), der Bodentyp ist eine Pararendzina aus *till*.

### eAh 0–10 cm

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 4/3) und mindestens carbonatreich. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %.

### Bv-elCv 10–116 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4) und mindestens carbonatreich. Der Feinboden enthält sowohl Primär- als auch Sekundärcarbonat. Mit zunehmender Tiefe ist der Feinboden mit sekundären Carbonaten verkittet. Der Grobbodenanteil beträgt 10 %, wobei ein Großblock im Profil aufgeschlossen ist. Der Grobboden besteht aus Graniten, Kalksandsteinen und Kalksteinen.

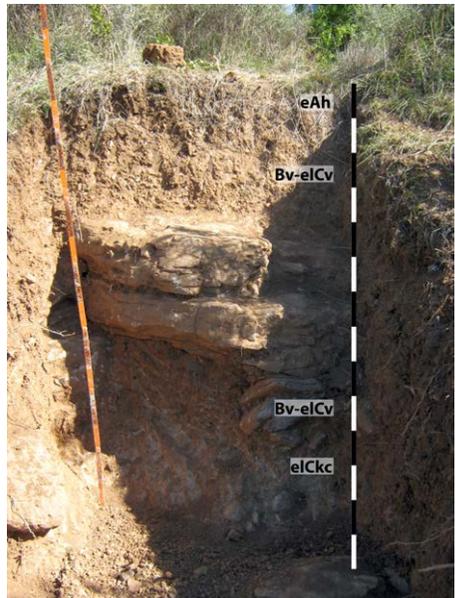


Abbildung 432: Horizontabfolge Profil 138

## eICkC 116–146+ cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3). Der Feinboden ist mit Sekundärcarbonat verkittet und schlecht grabbar.

### 6.91 Einzelne Bodenprofile

Die folgenden Aufschlüsse können nicht zu Transekten ergänzt werden. Die Profile dienen der Verdichtung von Informationen oder stellen besondere Ausnahmen dar, die für die Diskussion relevant sind.

Profil 207 ist in der axialen Zone im Quellgebiet des Aragóns angelegt, im Profil ist der anstehende Schiefer des Karbons aufgeschlossen. Zwar ist die Bodenlösung im Profil sehr stark sauer, der unverwitterte Schiefer unterscheidet sich farblich aber nicht vom verwitterten Oberboden. Die weinrote Farbe des Schiefers ist geogen bedingt.

Profil 176 und Profil 232 sind in der axialen Zone im Gállego-Tal angelegt. In beiden Aufschlüssen hängen grobbodenarme Sedimente mit hohen Grobschluff- und Feinsandgehalten über dem liegenden *till* und weisen Merkmale einer periglazialen Überprägung auf, wobei die Sedimente während des Holozäns mehrmals umgelagert wurden. Toncutane in den grobbodenarmen Sedimenten zeigen eine deutliche Lessivierung, die mit deren Umlagerung nur bedingt fortschreitet.

#### 6.91.1 Profil 207

Profil 207 ist etwa 1 km südlich des Aragón-Quellgebietes auf 2097 m ü. M. am Nordhang des La Raca angelegt (UTM: 30 T 704188 4741573). Das Profil befindet sich im Unterhang, die Hangneigung beträgt oberhalb des Profils 10°, die Hangform ist gestreckt-konvex. Der Standort wurde als Weide genutzt. Die Horizontabfolge ist Ah/Cv/imCv, der Bodentyp ist ein Ranker aus weinrotem Schiefer des Karbons (Abb. 433).

#### Ah 0–30 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (5 YR 3/2). Das Gefüge ist krümelig. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist sehr stark sauer bis stark sauer. Der

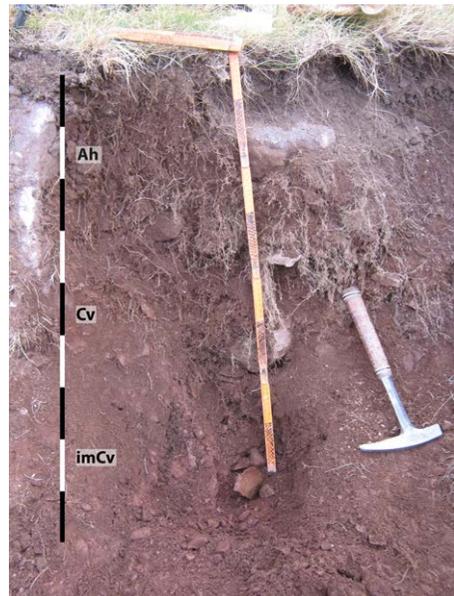


Abbildung 433: Horizontabfolge Profil 207

Boden ist sehr kalt, aber nicht gefroren. Der Grobbodenanteil beträgt 25 %, der Grobboden besteht aus Grus, Steinen und Blöcken.

#### **Cv 30–50 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel braungrau (5 YR 3/2). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 25 %, das Skelett ist nicht eingeregelt. Der Grobboden besteht aus Grus, kantigen Steinen und Blöcken.

#### **imCv 50–80+ cm**

Die Farbe des Grobbodens ist sehr dunkel rotgrau (2,5 YR 3/3). Der anstehende Schiefer ist verwittert, die Gesteinsstruktur ist im oberen Bereich des Horizonts noch erkennbar. Nach unten wird der Schiefer massiv.

### **6.91.2 Profil 176**

Das Profil 176 befindet sich auf einem 34° geneigten Osthang in einem alten Waldbestand innerhalb der axialen Zone im Gállego-Tal (1428 m ü. M., UTM: 30 T 718293 4730711). Die Hangform ist gestreckt-gestreckt. Das Profil ist 105 cm gegraben, der Feinboden im gesamten Aufschluss ist locker gelagert und gut grabbar. Die Horizontabfolge ist Ah/Al+Bt/II Btv/III Btv, der Bodentyp ist eine Parabraunerde in einer grobbodenarmen und periglazial geprägten Hauptlage mit einer ausgeprägten und schichtübergreifenden Tonverlagerung in den liegenden *till* (Abb. 434).

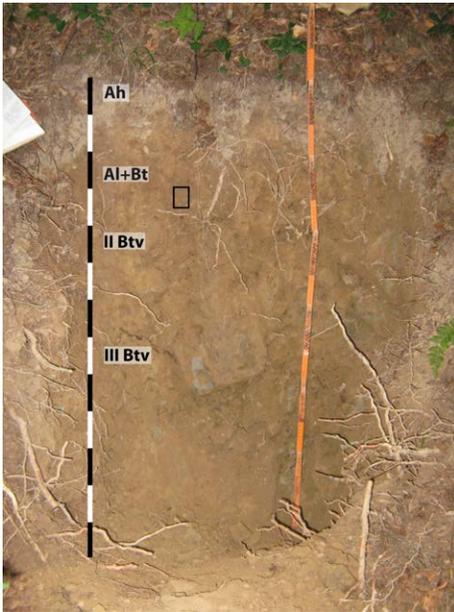
#### **Ah 0–9 cm**

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (10 YR 4/3), die Textur ist ein schwach sandiger Lehm. Das Gefüge ist krümelig bis subpolyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer (Abb. 438). Der Grobbodenanteil beträgt 5 %, Das Skelett besteht größtenteils aus Grus, wobei Feingrus und Mittelgrus dominieren.

#### **Al+Bt 9–42 cm**

Der Feinboden ist graubraun (10 YR 5/4), die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Die Summen aus Grobschluff und Feinsand betragen 41 % und 43 %. Das Gefüge ist polyedrisch bis subpolyedrisch (Abb. 435), Toncutane bedecken teilweise die Außenseiten der Aggregate. Die Bodenlösung ist stark sauer. Der Horizont ist reich an Holzkohlefaltern und weiße Pilzmycelien durchwachsen nestartig den Feinboden. Der Grobbodenanteil ist geringer als im hangenden Horizont.

Das  $c_{50-100 \mu\text{m}}/f_{5 \mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, *monostriated* und *stipple-speckled*. Die Matrix ist reich an runden bis ovalen Poren mit Durchmessern zwischen 30  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$ . In den Poren und Rissen



**Abbildung 434:** Horizontabfolge Profil 176; der schwarze Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung



**Abbildung 435:** Übersicht Mikromorphologie Profil 176, 33–41 cm unter GOK

sind leuchtende bis staubige Toncutane und Schluffcutane vorhanden (Abb. 439, Abb. 440, Abb. 443 und Abb. 444). Die Cutane sind meist zwischen 10 µm und 50 µm mächtig. Ihr Aufbau ist oft mehrschichtig, feintonhaltige Schichten werden häufig von schluffigen Lagen bedeckt. Die Cutane befinden sich meist an der Unterseite der Poren. Bis zu 300 µm mächtige Schluffhauben haften an der Oberseite von Feingrus und Feinkies (Abb. 441 und Abb. 442). Die Schluffhauben befinden sich teilweise auch an der Unterseite des Skeletts oder als laterale Anhaftungen. Der Grobboden hat im Randbereich oft einen Saum von Lösungsporen, die meist aber nicht partikulär verfüllt sind. Das Skelett ist häufig durch Verwitterung verbraunt, die Matrix hingegen ist nur schwach verbraunt. Schwarmartige Ausfällungen von Eisenhydroxid zwischen 100 µm und 400 µm Durchmesser befinden sich in der porenfernen Matrix. Die intrusiven Eisenhydroxidausfällungen sind braun und umschließen Quarzkörner in Feinsandgröße. Die Außengrenzen der Eisenhydroxidausfällungen sind diffus. In der Matrix sind neben einigen Holzkohlefaltern viele Sklerotien und nur wenige fragmentierte Toncutane zu erkennen.

### II Btv 42–70 cm

Die Farbe des Feinbodens ist graubraun (10 YR 5/4). Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach sandiger bzw. schluffiger Lehm. Das Gefüge ist subpolyedrisch bis polyedrisch. Der Grobbodenanteil beträgt

20 %, das Skelett ist stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Der Grobboden besteht aus Kies, Grus und Steinen. Glänzende Tonüberzüge bedecken die obere Seite des Grobbodens. Die Untergrenze ist diffus und aufgrund des Skeletts wellig.

### III Btv 70–105+ cm

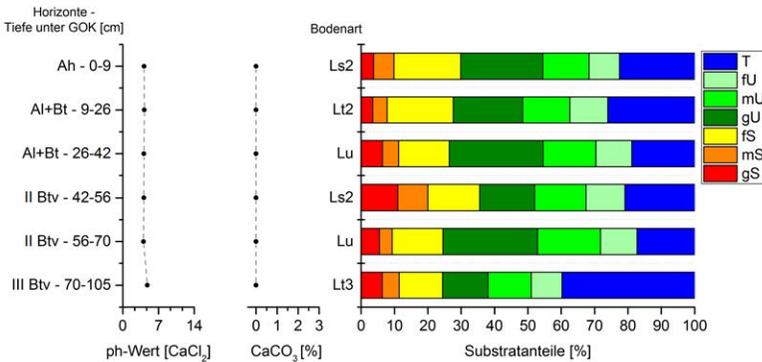
Die Farbe des Feinbodens ist graubraun bis gelblichbraun (10 YR 5/4 bis 5/6). Die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm, das Gefüge ist polyedrisch. Der Feinboden ist carbonatfrei, die Bodenlösung ist stark sauer bis mäßig sauer. Der Grobbodenanteil beträgt 50 % bis 80 %, die lagerungsbedingten Primärporen zwischen dem Skelett sind teilweise frei von Feinboden. Ausgeprägte leuchtend braune Überzüge aus Ton bedecken Aggregate und den Grobboden teilweise ganzseitig (Abb. 436 und Abb. 437). Vor allem entlang der feinbodenfreien, spaltenartigen Primärporen sind Toncutane gut ausgebildet. Der Grobboden ist meist stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Steine und Blöcke aus Kalksandstein sind nur noch im Kern schwach carbonathaltig.



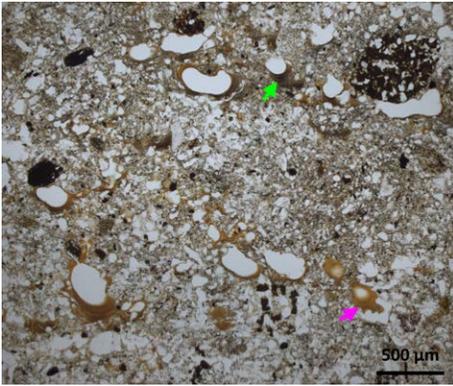
**Abbildung 436:** Profil 176: Toncutane an Grobböden



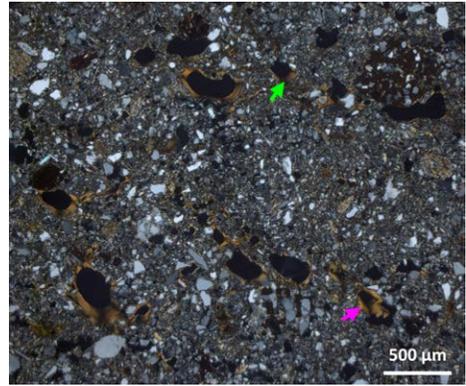
**Abbildung 437:** Profil 176: Toncutan an Bodenaggregat



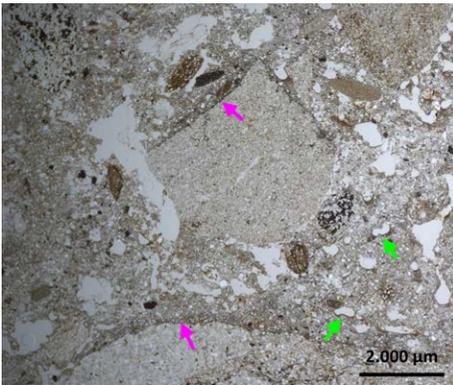
**Abbildung 438:** Laborergebnisse Profil 176



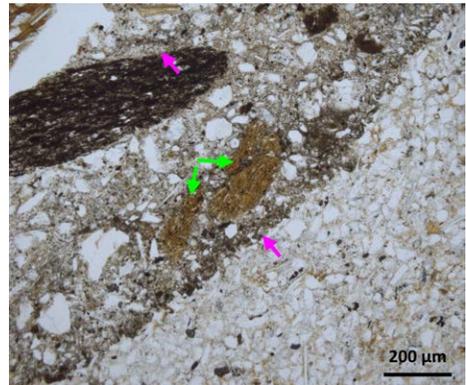
**Abbildung 439:** Toncutane und Schluffutane (Profil 176, LPL); grüner Pfeil: Schluffcutan; pinker Pfeil: Toncutan



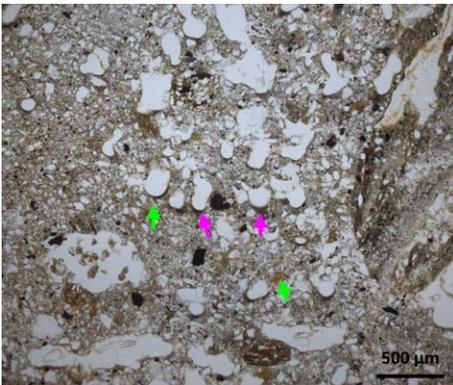
**Abbildung 440:** Toncutane und Schluffutane (Profil 176, GPL); grüner Pfeil: Schluffcutan; pinker Pfeil: Toncutan



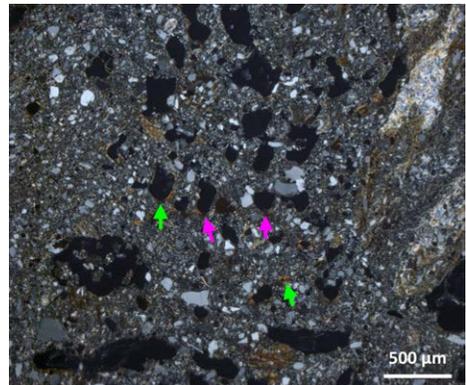
**Abbildung 441:** Schluffhauben (Profil 176, LPL); grüner Pfeil: Schluffcutan; pinker Pfeil: Schluffhaube auf der Oberseite von Kies



**Abbildung 442:** Schluffhauben (Profil 176, LPL); grüner Pfeil: fragmentierter Mittelsand; pinker Pfeil: Schluffhaube



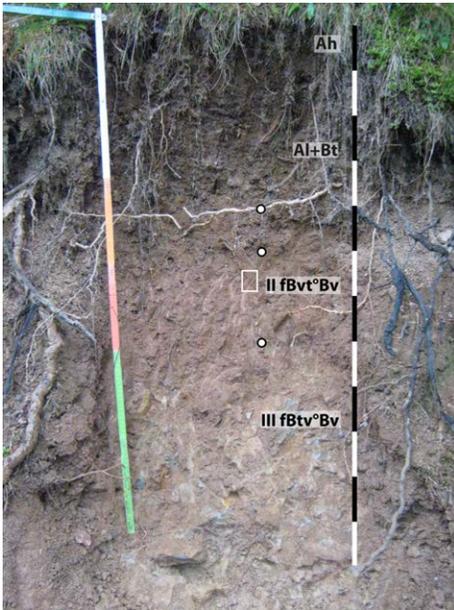
**Abbildung 443:** Ton- und Schluffeintrag in den Vesikeln (Profil 176, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffcutan



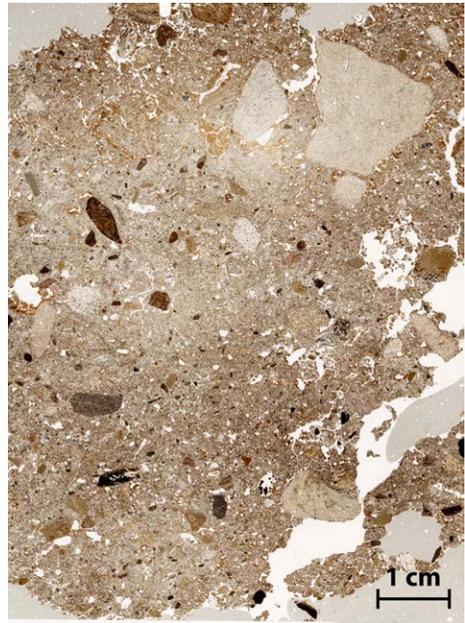
**Abbildung 444:** Ton- und Schluffeintrag in den Vesikeln (Profil 176, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffcutan

### 6.91.3 Profil 232

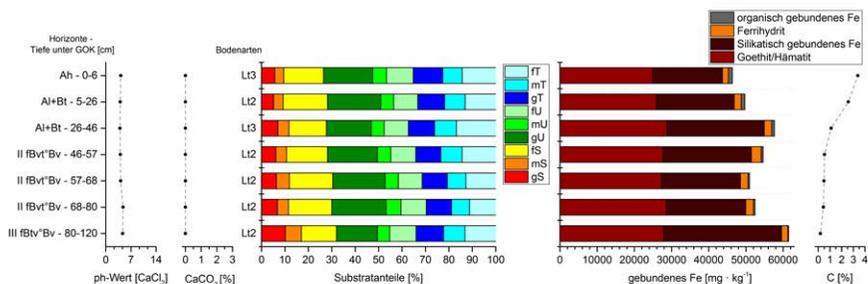
Profil 232 befindet sich 200 m südöstlich von Profil 176 im ostexponierten Unterhang auf 1384 m ü. M. (UTM: 30 T 718381 4730561). Der Hang oberhalb des Profils ist 22° geneigt, die Hangform ist schwach konvex - schwach konvex. Blöcke und Großblöcke liegen auf dem Hang um das Profil. Das Profil ist 120 cm aufgeschossen. Die Horizontabfolge ist Ah/Al+Bt/II fBvt°Bv /III fBtv°Bv, der Bodentyp ist eine Braunerde-Parabraunerde in kolluvialem Substrat über dem fossilen Illuvialhorizont einer gekappten Parabraunerde in einer Hauptlage über *till* (Abb. 445). Das Substrat an der Basis des hangenden Sediments hat ein OSL-Alter  $4,2 \pm 0,2$  ka, die verhältnismäßig hohen  $C_T$ -Gehalte des Sediments und die Steinsohle an der Basis weisen ebenfalls auf eine kolluviale Genese. Aufgrund der Zunahme der Feintongehalte und der im Feld vorgefundenen Toncutane wird das Kolluvium als Al+Bt-Horizont angesprochen. Die liegende Hauptlage mit dem II fBvt°Bv hat an der Obergrenze ein OSL-Alter von  $5,8 \pm 0,3$  ka und an der Basis ein OSL-Alter von  $11,4 \pm 0,7$  ka. Das bemerkenswert junge Alter im oberen Bereich der Hauptlage von  $5,8 \pm 0,3$  ka wird auf eine Kontamination mit Substrat aus dem hangenden Kolluvium zurückgeführt. Schichtwechsel innerhalb des II fBvt°Bv konnten weder im Gelände noch mittels der Laboranalysen



**Abbildung 445:** Horizontabfolge Profil 232; der weiße Rahmen markiert die Entnahmeposition für die Dünnschliffbeprobung, die Punkte markieren die Position der OSL-Beprobung



**Abbildung 446:** Übersicht Mikromorphologie Profil 232, 55–63 cm unter GOK



**Abbildung 447:** Laborergebnisse Profil 232

und mikromorphologischen Untersuchungen identifiziert werden. Die Dünnschliffanalyse belegt Schluffhauben auf Grobsand und Feinkies, die als Produkt periglazialer Bedingungen interpretiert werden. Die mit Schluffhauben bedeckten Grobsand- und Feinkiespartikel sind teilweise verkippt, was auf eine postperiglaziale Verlagerung bzw. Umlagerung deutet.

### Ah 0–6 cm

Die Farbe des Feinbodens ist sehr dunkel graubraun (8,75 YR 3/4). Das Gefüge ist krümelig, die Textur des Feinbodens ist ein toniger Lehm (Abb. 447). Die Summe aus Grobschluff und Feinsand beträgt 38 %, der Feintonanteil beträgt 14,3 %. Die Bodenlösung ist stark sauer. Der  $C_T$ -Gehalt beträgt 3,4 %. Der  $Fe_T$ -Gehalt beträgt  $46\,365\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Goethit/Hämatit  $24\,975\text{ mgkg}^{-1}$ , die Menge an Ferrihydrit  $1557\text{ mgkg}^{-1}$  und der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $1105\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Grobbodenanteil beträgt 2 %.

### Al+Bt 6–46 cm

Der Feinboden ist dunkel graubraun (8,75 YR 4/4), das Gefüge ist krümelig bis polyedrisch. Die Aggregate sind leicht zerbrechlich. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger bis toniger Lehm. Der Feintonanteil nimmt zur Untergrenze des Horizonts bzw. der Schicht von 13,1 % auf 16,8 % zu. Schwach ausgeprägte Toncutane bedecken teilweise Aggregate und das Skelett. Die Bodenlösung ist stark sauer bis sehr stark sauer. Die Gehalte an  $C_T$  betragen 2,6 % und 1,1 %. Weißes Pilzmycel durchwächst nestartig den Horizont. Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen  $49\,703\text{ mgkg}^{-1}$  und  $57\,669\text{ mgkg}^{-1}$  an der Basis. Die Gehalte an Goethit/Hämatit nehmen zur Basis des Horizonts von  $25\,924\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $28\,722\text{ mgkg}^{-1}$  zu. Die Menge an Ferrihydrit beträgt  $1839\text{ mgkg}^{-1}$  und  $1973\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Gehalte organisch gebundenen Eisens nehmen von  $993\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $772\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Der Grobbodenanteil beträgt 4 %, das Skelett besteht aus grusigem Sandstein. Der Grobboden ist stark verwittert und nicht mehr schlagfest. Die Untergrenze der Schicht bei 43 cm bis 46 cm wird von einer parallel zur liegenden Schicht verlaufenden grobbodenreichen Steinsohle markiert. Die Schicht hat an der Basis bei 42 cm unter GOK ein OSL-Alter von  $4,2 \pm 0,2\text{ ka}$  (Risø-Nr. 125028, Tab. 2).

## II fBvt°Bv 46–80 cm

Die Farbe des Feinbodens ist dunkel graubraun (7,5 YR 4/4). Das Gefüge ist polyedrisch (Abb. 446), ausgeprägte Toncutane bedecken die Aggregate und das Skelett. Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Der Feintonanteil nimmt im Horizont von 14,4 % auf 12,7 % zur Basis hin ab. Der Mittelton zeigt ebenfalls eine Abnahme mit der Tiefe von 9,1 % auf 7,9 %. Die Summen aus Feinsand und Grobchluff steigen zur Basis von 39 % auf 41 % hingegen leicht an. Die Bodenlösung ist stark sauer. Der Horizont ist carbonatfrei, die  $C_T$ -Gehalte betragen 0,5 %.

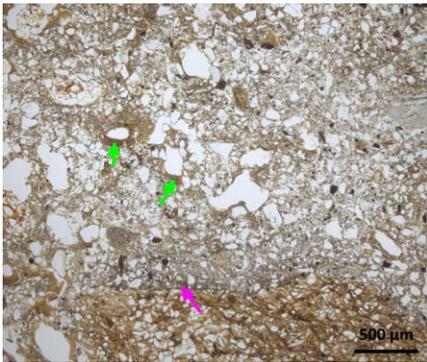
Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen zwischen  $50\,981\text{ mgkg}^{-1}$  und  $54\,644\text{ mgkg}^{-1}$ . Die Menge an Goethit/Hämatit schwankt im Horizont von  $27\,245\text{ mgkg}^{-1}$  bis  $27\,651\text{ mgkg}^{-1}$ . Der Ferrihydritgehalt nimmt von  $2637\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $2006\text{ mgkg}^{-1}$  mit der Tiefe ab. Die Gehalte organisch gebundenen Eisens nehmen im Horizont zur Basis von  $531\text{ mgkg}^{-1}$  auf  $446\text{ mgkg}^{-1}$  ab. Der Grobbodenanteil beträgt 4 %, die Untergrenze der Schicht ist aufgrund der sprunghaften Zunahme des Grobbodenanteils in der liegenden Schicht scharf. Das Sediment hat ein OSL-Alter von  $5,8 \pm 0,3\text{ ka}$  bei 50 cm unter GOK (Risø-Nr. 125029, Tab. 2) und von  $11,4 \pm 0,3\text{ ka}$  bei 70 cm unter GOK (Risø-Nr. 105020, Tab. 2).

Das  $c_{50-120\text{ }\mu\text{m}}/f_{5\text{ }\mu\text{m}}$ -Verhältnis ist *single-spaced porphyric* bis *double-spaced porphyric*, die *b-fabric* ist *granostriated*, schwach *monostriated* und schwach *stipple-speckled*. Feinsand und Grobchluff bestehen hauptsächlich aus Quarz. In der Matrix befinden sich  $200\text{ }\mu\text{m}$  bis  $400\text{ }\mu\text{m}$  große Holzkohleflitter, die meist stark fragmentiert und aufgeweitet sind. Graue und porenfreie Schluffhauben haften teilweise am Feinkies (Abb. 448 und Abb. 449). Innerhalb der Schluffhauben sind Mittelschluff- bis Feinsandkomponenten mit sichtbaren Längsachsen meist parallel zur Oberfläche des Grobbodens orientiert. Falls vorhanden, befinden sich die Schluffhauben immer auf einer Seite der Klasten, wobei dies nur in manchen Fällen die der Geländekante zugewandte Seite ist. In vielen Poren weisen Ton- und Schluffcutane auf partikuläre Umlagerung. Die Schluffcutane sind meist grau bis graubraun, zwischen  $10\text{ }\mu\text{m}$  bis  $50\text{ }\mu\text{m}$  mächtig und deutlich geschichtet (Abb. 448 und Abb. 449). Die Schluffcutane bedecken meist in den Poren die der Geländeoberkante zugewandte Seite. Die Toncutane sind meist zwischen  $50\text{ }\mu\text{m}$  bis  $150\text{ }\mu\text{m}$  dick (Abb. 450 und Abb. 451), die mächtigsten Toncutane bis  $5000\text{ }\mu\text{m}$  breit, und kleiden die Poren meist ganzseitig aus. Die Farbe der Toncutane reicht von leuchtend gelb mit scharfen Auslöschungslinien bei gekreuzter Polarisation bis orangebraun mit breiteren Auslöschungslinien. Eisenausfällungen überprägen oft Toncutane und färben diese dunkelbraun. Die Toncutane sind oft geschichtet oder mehrschichtig. Teilweise überlagern jüngere Schluffcutane oder unsortierte Cutane die leuchtenden Toncutane und weisen auf eine mehrphasige Lessivierung (Abb. 452 und Abb. 453). Der Grobboden ist oft randlich verwittert, in den Lösungsporen sind

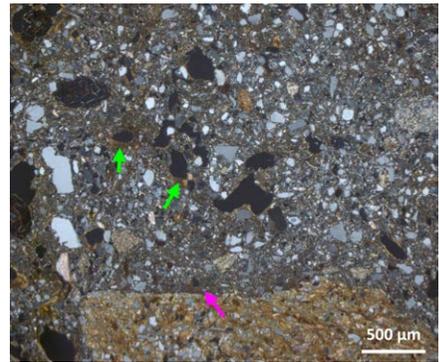
leuchtende Toncutane zu finden. Im Feinboden und Grobboden weisen kirschrote Rhomboeder, kirschrote traubig bis nieriige Kristalle oder braune nieriige Kristalle auf eine Verbräunung.

### III fBtv°Bv 80–120+

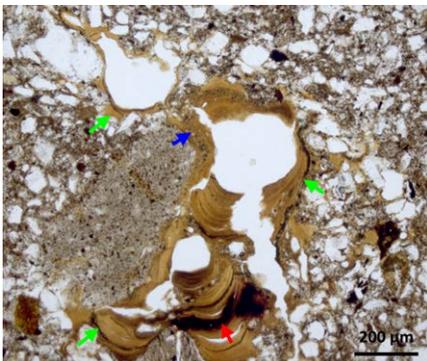
Die Textur des Feinbodens ist ein schwach toniger Lehm. Der Feinboden ist carbonatfrei und die Bodenlösung ist mäßig sauer. Das Gefüge ist polyedrisch und an den Aggregaten und am Skelett sind leuchtende Toncutane feststellbar. Der Grobbodenanteil beträgt 50 %, der Grobboden ist diamiktisch. Das Skelett ist stark verwittert und zerbröselst beim Hammerschlag. Die  $Fe_T$ -Gehalte betragen  $52\,467\text{ mgkg}^{-1}$  und  $61\,494\text{ mgkg}^{-1}$ , Goethit/Hämatit betragen  $27\,830\text{ mgkg}^{-1}$  und  $28\,598\text{ mgkg}^{-1}$ , die Gehalte an Ferrihydrit  $1654\text{ mgkg}^{-1}$  und  $2053\text{ mgkg}^{-1}$  und die Gehalte organisch gebundenen Eisens  $248\text{ mgkg}^{-1}$  und  $457\text{ mgkg}^{-1}$ .



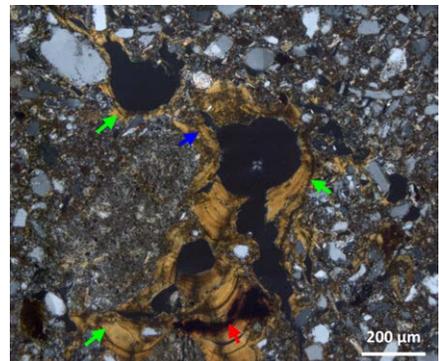
**Abbildung 448:** Periglazialmerkmale und Lessivierung (Profil 232, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffhaube auf der Oberseite von Kies



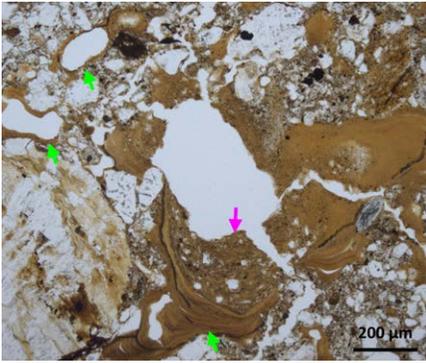
**Abbildung 449:** Periglazialmerkmale und Lessivierung (Profil 232, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: Schluffhaube auf der Oberseite von Kies



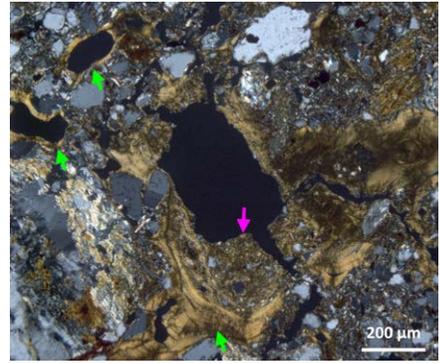
**Abbildung 450:** Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 232, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; blauer Pfeil: Schluffcutan; roter Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 451:** Partikulärer- und Lösungseintrag (Profil 232, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; blauer Pfeil: Schluffcutan; roter Pfeil: Eisenausfällung



**Abbildung 452:** Mehrphasige Lessivierung (Profil 232, LPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: unsortiertes Cutan



**Abbildung 453:** Mehrphasige Lessivierung (Profil 232, GPL); grüner Pfeil: Toncutan; pinker Pfeil: unsortiertes Cutan

# 7 Spätquartäre Landschaftsentwicklung in den spanischen Zentralpyrenäen

## 7.1 Geomorphodynamik

Nach den jüngsten Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost auf der nördlichen Hemisphäre (Vandenberghé et al., 2014) war während des Spätpleistozäns auf der Iberischen Halbinsel kein Permafrost vorhanden. In der vorliegenden Arbeit konnten im Untersuchungsgebiet in den spätpleistozänen Sedimenten keine diagnostischen Permafrostzeiger wie Eiskeilpseudomorphosen oder Sandkeile nachgewiesen werden. Allerdings kann aufgrund der ausgeprägten spätpleistozänen Vergletscherungen in den Pyrenäen (Calvet et al., 2011), die im Gállego-Tal bis auf 790 m ü. M. herabreichten, für die direkt angrenzenden unvergletscherten Lagen alleine wegen der Höhe der rezenten 0-°C-Isotherme von etwa 2800 m ü. M. die Existenz von Permafrost zumindest während der maximalen Vergletscherungsphasen während des Spätpleistozäns angenommen werden. Ein Herabreichen der Permafrostgrenze auf die Gebirgsvorländer ist aufgrund der Funde spätpleistozäner Permafrostzeiger im südlichen Pyrenäenvorland auf etwa 300 m ü. M. gesichert (Luzón et al., 2012).

### 7.1.1 Till

Der Grobboden in den meist diamiktischen *tills* ist orientiert (Profile 140, 142, 164, 167, 175, 180, 197, 198 und 204), die Einregelung des Grobbodens wird vor allem auf glaziale bzw. paraglaziale Prozesse zurückgeführt, auch wenn in den glazialen Sedimenten der Profile 164, 167, 198 und 204 eine solifluidale Komponente nicht auszuschließen ist.

In den Kulminationsbereichen der Seitenmoränen weist die Situmetrie des Skeletts auf eine Orientierung der Längsachsen zum Außenhang der Seitenmoräne und orthogonal zur Fließrichtung des Gletschers (Profile 197 und 204). Dieses Einregelungsmuster kann auf eine paraglaziale Genese zurückgeführt werden, da beim Ausschmelzen supraglazialen Grobbodens im Randbereich des Gletschers das Substrat mittels Schmelzwasser oder auch rein

gravitativ auf dem Außenhang der Seitenmoräne verlagert wird (Small, 1983). Ungestörte horizontale Schlufflagen im *till* der Profile 197 und 204 sind in diesem Fall kein periglaziales Merkmal, sondern werden als synsedimentär glazigen interpretiert. Der Feinboden der *tills* in den Profilen 197 und 204 ist mit Calcit verkittet, was zu einer ausgeprägten Stabilisierung des Gefüges im *till* der Seitenmoränen geführt hat, sodass auch eine periglaziale Überprägung des *till* in Form von Solifluktion ausgeschlossen werden kann.

Die Orientierung des Skeletts in den glazialen Sedimenten der Profile 142, 175 und 180 wird auf eine subglaziale Einregelung beim Überfahren der Standorte zurückgeführt (Menzies et al., 2006). Für die glazialen Sedimente in den Profilen 140, 164, 167, 198 und 204 kann, obwohl die Klasten einheitliche Fallwinkel aufweisen, aufgrund der Lage der Standorte nicht eindeutig zwischen glazialer, paraglazialer oder periglazialer Formung differenziert werden, da sich hinsichtlich der Streichrichtung die diagnostischen Merkmale überlappen.

### 7.1.2 Basislagen

Im Untersuchungsgebiet wurden an mehreren Standorten im pleistozänen Extraglazialraum über dem Anstehenden feinbodenarme Sedimente bzw. Sedimentkomplexe mit autochthonem oder parautochthonem Skelett vorgefunden (Profile 101, 110, 111, 119, 129, 145, 146, 166, 177, 178, 195, 199, 206, 208, 214, 217, 220, 226, 227, 229 und 230). Die Längsachsen des Grobbodens sind in diesen Sedimenten in Hangrichtung orientiert. Aufgrund der räumliche Verbreitung, des solifluidalen Charakters und des Fehlens einer äolischen Beimengung (Raab et al., 2007) werden diese Sedimente als Basislagen interpretiert. Die Standorte befinden sich ausnahmslos an Hängen, die Hangneigung reicht von 2° in Profil 110 bis zu 26° in Profil 217. Die autochthone bzw. parautochthone Herkunft des Skeletts in den skelettreichen Basislagen ist mit dem anstehenden saigeren Flysch und dem in Hangrichtung orientierten Skelett im Hangenden von Profil 199 belegt. Die situmetrischen Untersuchungen am Skelett in den Profilen 110 und 119 auf dem Glacis und in den Profilen 166 und 195 im pleistozänen Extraglazialraum im Aragón-Tal bestätigen den bei der Profilsprache gewonnenen visuellen Eindruck, dass die Längsachsen des Skeletts in Hangrichtung orientiert sind (Abb. 30). Die Situmetrie der Basislagen ist aber zwischen den beiden Standorten unterschiedlich ausgeprägt. Das Skelett der Basislagen in den voneinander etwa 70 m entfernten Profilen 166 und 195 weist zwar einheitliche Fallwinkel auf ( $I = 0,39$  bzw.  $I = 0,24$ ), die Streichrichtungen der Klasten sind aber uneinheitlich ( $E = 0,22$  bzw.  $E = 0,24$ ). Hingegen ist das Skelett in den Basislagen auf dem Glacis entlang Transekt 10 mit Profil 110 und Profil 119 stark eingeregelt. Die in Profil 110 und Profil 119 bestimmten Isotropie-Indizes von 0,11 bzw. 0,09 und Elongations-Indizes von 0,59 und 0,55 sind mit den sehr einheitlichen Streich- und Fallrichtungen charakteristisch für solifluidale Sedimente (Bertran et al., 1997).

Die deutlichere Orientierung des Skeletts in den Basislagen des Glacis wird auf die größere Transportdistanz entlang des Glacis und das Vorhandensein des anstehenden Mergels zurückgeführt. Des Weiteren fördern die weiteren Standorteigenschaften mit dem ostexponierten und auf 1200 m ü. M. befindlichen Hang die Überprägung der Basislagen mittels Frosthubs mehr als auf dem 900 m ü. M. gelegenen und südexponierten Glacis. Die für die Genese der Glacis im Untersuchungsgebiet angeführten fluvialen Prozesse bzw. oberflächlichen Spülprozesse (Barrere, 1975) können aufgrund der hangparallelen Einregelung der Klasten ausgeschlossen werden (Stäblein, 1970). Das Sedimentpaket auf dem Glacis ist demnach ohne fixierend wirkende Vegetation kollektiv solifluidal bewegt worden (Profil 110 und Profil 119). Die dachziegelartige Orientierung der Klasten sowohl im Mittelhang als auch im Unterhang des Glacis weist auf eine synsedimentäre Ausrichtung aufgrund der gegenseitigen Behinderung der Klasten bei der Bewegung (Bertran et al., 1997). Die horizontale Verlagerungsdistanz des Skeletts aus plattigen Kalksandsteinen bzw. Kalksteinen beträgt bei dem gänzlich auf anstehendem Mergel entstandenen Glacis vom Oberhang zum Unterhang 1500 m, was auf die bei der pflugartigen Solifluktion festgestellten großen Verlagerungsdistanzen weist (Matsuoka, 2001; Kern-Luetsch & Harris, 2008). Die hangparallele Orientierung des Grobbodens fördert die laterale Verlagerung von Wasser als Hangzugswasser (Raab et al., 2007; Huber, 2014) und die dadurch verstärkte Wasserzufuhr erhöht den Porenwasserdruck und begünstigt somit die Solifluktion (Harris et al., 2003). Des Weiteren stellt die tonige Textur des Mergels eine hydrologische Barriere dar, die ebenfalls die Solifluktion fördern kann (Benedict, 1976; Matsuoka, 2001).

Wie Begehungen entlang der Glacis bei Transekt 7 und Transekt 10 zeigten, variiert der Grobbodenanteil innerhalb der Basislage auf dem Glacis kaum und die Schichtuntergrenze der Basislage zum Mergel ist scharf. Eine Durchmischung des Anstehenden und der Basislage bzw. die Aufnahme nicht eingeregelter Skeletts aus dem Liegenden, wie in den mehrschichtigen Basislagenkomplexen bei Profil 195, fand auf dem Glacis nicht statt. Ähnlich wie im Bayerischen Wald (Völkel, 1995a) bewahren auf dem Glacis die Basislagen das prinzipiell leicht erodierbare Anstehende vor Erosion. Vor allem in den Randbereichen des Glacis weisen über dem Mergel hangende Reste der Basislagen in direkter Umgebung zu tiefen Runsen auf die Anfälligkeit des Mergels für *badland erosion* beim Fehlen der schützenden Basislagenkomplexe (Abb. 339 & Abb. 340). Aufgrund der Homogenität der Basislage auf dem Glacis hinsichtlich Sedimentmächtigkeit, Grobbodenanteil, Einregelung des Skeletts und der scharfen Untergränze des Sedimentpakets wird auf eine Mindestmächtigkeit des *active layer* bei der Solifluktion bis zur Obergrenze des Mergels geschlossen. Die Genese mehrschichtiger Basislagenkomplexe im Unterhang oder in Senkenpositionen wie in Profil 195 kann insofern erklärt werden, als in diesen Reliefpositionen die solifluidale Zufuhr aus den oberhalb angrenzenden Anlieferungsgebieten besonders hoch ist und die Permafrosttafel mit den aufwachsenden Sedimentkomplexen im Unterhang ansteigt.

Die solifluidale Verlagerung parautochthoner skelettreicher Sedimente ist ebenfalls in den Profilen 101 (IV felCv°Cc), 206 und 230 beobachtet worden. In Profil 206 kann für die skelettreiche Schicht im Hangenden eine jüngere kolluviale Verlagerung aufgrund der Holzkohlebeimengungen nicht ausgeschlossen werden, wegen der Steine und Blöcke ist aber eine solifluidale Formung ebenfalls nicht auszuschließen. In den Profilen 101 und 230 wurden keine Hinweise auf eine kolluviale Formung der grobbodenreichen Sedimente gefunden, weswegen diese als Basislagen interpretiert werden.

Ähnlich wie in Mitteleuropa (Raab et al., 2007) wurden Basislagen im Untersuchungsgebiet nur im pleistozänen Extraglazialraum und nicht auf den ILGM-zeitlichen Glazialsedimenten gefunden. In Profil 230 hängt die Basislage über einem MIS-4-zeitlichen Löss, der ein OSL-Alter von  $61 \pm 4$  ka hat (Risø-Nr. 105018, Tab. 2). Die Untersuchungen auf dem Glacis (Transekt 10) belegen ebenfalls Solifluktion während des Würms und legen aufgrund der Verlagerungsdistanz des parautochthonen Schutts von über 1500 m auch eine frühere Solifluktion während des Riß nahe. Der Unterhang des Glacis liegt in Profil 119 mit 885 m ü. M. unterhalb der rißzeitlichen Flussterrasse mit 890 m ü. M. am gegenüberliegenden Ufer des Aurin. Zu berücksichtigen ist, dass die Hangkante am Fuß des Glacis bereits mittels rückschreitender Erosion im Holozän zurückverlegt wurde, wie die lose Schuttbedeckung auf dem anstehenden Mergel unterhalb des steilen Hangfusses des Glacis belegt. Die untere Hangkante des Glacis lag somit weiter südlich und damit tiefer als Profil 119. Die Höhenlage des grobbodenreichen Sedimentpakets unterhalb der rißzeitlichen Terrasse belegt die post-rißzeitliche Genese des Unterhangs des Glacis. Ein neogenes Alter des Glacis bzw. eine warmzeitliche Genese mittels oberflächlicher Spülprozesse wird daher ausgeschlossen. Eine eventuelle Verschneidung des Glacis mit den fluvialen Sedimenten der würmzeitlichen 10–18-m-Terrasse konnte aufgrund der neuzeitlichen Nutzung des Standorts als Kiesgrube nicht weiter untersucht werden.

### 7.1.3 Hauptlagen, Mittellagen und Löss

Während der Grobboden im liegenden *till* in Profil 175 aufgrund der subglazialen Prägung parallel zur Talrichtung und damit senkrecht zur Hangrichtung orientiert ist, hängt über dem *till* in Profil 175 ein feinbodenreiches Sediment mit parallel in Hangrichtung eingeregelmtem Grobboden. Die Dominanz von Feinsand und Grobschluff im Feinboden, der im Vergleich zum liegenden *till* geringere Grobbodenanteil, die Orientierung des Skeletts in Hangrichtung und die Konstanz der Sedimentmächtigkeit von etwa 50 cm sind typische Charakteristika einer Hauptlage (Raab et al., 2007). Die Präsenz einer Hauptlage über glazialen Sedimenten wurde ebenfalls in Profil 176 (Ah/Al+Bt), Profil 190 (II fAl°Bt), Profil 231 (Ah/Bv-Al/Bvt) und Profil 232 (II fBtv°Bv) festgestellt, in den Profilen 190 und 232 hängen noch Kolluvien über den Hauptlagen. Die Textur des Feinbodens in den Hauptlagen

ist mit Ausnahme des vergleichsweise sandigen Profils 175 von nur geringen Anteilen an Grobsand und Mittelsand (Profile 176, 190, 231 und 232:  $\sum_{\text{GS,MS}} = 10\%$  bis  $12\%$ ) neben Tongehalten zwischen  $23\%$  und  $36\%$  und der Dominanz von Grobschluff und Feinsand charakterisiert (Profile 175, 176, 190, 231 und 232:  $\sum_{\text{FS,GU}} = 36\%$  bis  $50\%$ ). Die Feinsand- und Grobschluffgehalte sind in den Hauptlagen höher als in den liegenden und ebenfalls allochthonen Sedimenten, weswegen der allochthone Eintrag des Feinsands und Grobschluffs auf äolischen Transport in Form von Löss zurückgeführt wird. Die Feinsandgehalte widersprechen dabei nicht den Charakteristika eines Lösses, sondern weisen auf eine geringe Verlagerungsdistanz (Pye, 1995). Ebenso stellen die Tonanteile keinen Widerspruch für die Lössbeimengung dar, da der Ton durch *in-situ*-Verwitterung in den Sedimenten gebildet oder aggregiert als Pseudoschluff oder Pseudosand in Form von Löss transportiert werden kann (Hesse & McTainsh, 2003).

Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden die feinsand- und grobschluffreichen Lösses vor allem im Talgrund auf den Terrassen (Profile 100, 101, 106, 117, 123, 127, 210, 223, 224 und 230) und auf den Moränen vorgefunden (Profile 147, 158, 175, 176, 190, 193, 198, 211, 212, 231 und 232). Auf den oft steilen Hängen im pleistozänen Extraglacialraum sind zwar ebenfalls allochthone, feinsand- und grobschluffreiche Sedimente vorhanden (Profile 110, 111, 217 und 220), meist sind die Standorte im Untersuchungsgebiet aber von holozäner Erosion bzw. den korrelaten Sedimenten der Bodenerosion gestört (Profile 119, 121, 122, 125, 126, 128, 129, 146, 166, 171, 172, 173, 174, 177, 178, 185, 186, 188, 192, 194, 195, 202, 203, 206, 208, 209, 214, 216, 221, 222, 225, 226, 227 und 229), weswegen keine flächigen Aussagen zur Verbreitung des Lösses getroffen werden können. Des Weiteren maskieren die schluffig verwitternden Mergel und die Carbonatgehalte vor allem in den Kolluvien die Identifizierung einer Lössbeimengung. Für die Genese des Lösses wird aufgrund der im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Verbreitung und Textur eine lokale Auswehung fluvial abgelagerten und glazigen gebildeten Feinsands und Grobschluffs aus der Niederung des Gállegos bzw. Aragóns während der Kaltzeiten angenommen.

Morphologie, Stratigraphie und Verbreitung der lösshaltigen Sedimente belegen die aus Mitteleuropa bekannte Abfolge der periglazialen Deckschichten, bei der die Hauptlage als jüngstes Glied die Bodenentwicklung in spätglazialen und lösshaltigen Substraten darstellt (Ad-hoc-AG Boden, 2005; Raab et al., 2007; Kleber et al., 2013b). Die Orientierung des Grobbodens in der Hauptlage von Profil 175 weist auf eine solifluidale Komponente, die für die Hauptlagengeneese zwar kontrovers diskutiert wird (Kleber et al., 2013b), aber in Mitteleuropa mehrfach beschrieben wurde (Mailänder & Veit, 2001; Stolz & Grunert, 2012). Die Lösses auf den Terrassen und dem Glacis sind mit der äolischen Anlieferung zeitlich mit der Genese der Hauptlagen gleichzusetzen. Aufgrund der intensiven ackerbaulichen Nutzung der Terrassen und des Glacis sind die zwischen  $30\text{ cm}$  und  $50\text{ cm}$  genommenen OSL-Proben

mit  $3,0 \pm 0,2$  ka (Profil 210, Risø-Nr. 105017) und  $2,82 \pm 1,8$  ka (Profil 117, Risø-Nr. 105010) aber zu jung (Abb. 454 und Beilage 2). Bei den mikromorphologischen Untersuchungen der Hauptlagen der Profile 175 (Ah/Al-Bv/Bvt), 190 (II fAl°Bt), 231 (Ah/Bv-Al/Bvt) und 232 (II fBvt°Bv) wurden keine Pedorelikte vorgefunden, die Hauptlagen bestehen demnach aus nicht pedogen vorgeprägtem Substrat. Hingegen wurden mikromorphologisch Pedorelikte in den lösshaltigen Sedimenten von Profil 190 (III fBt) und 224 (II Bvt) identifiziert, weswegen diese als Mittellagen interpretiert werden. Die OSL-Alter der Hauptlagen betragen zwischen  $14,4 \pm 1,2$  ka (Profil 231, Risø-Nr. 105019),  $13 \pm 2$  ka (Profil 190, Risø-Nr. 105015),  $11,4 \pm 0,7$  ka (Profil 232, Risø-Nr. 105012) und  $10,6 \pm 1,2$  ka (Profil 231, Risø-Nr. 125027, Abb. 454 und Beilage 2). Die Mittellage in Profil 190 (III fBt) hat ein OSL-Alter von  $55 \pm 5$  ka (Risø-Nr. 105016), was chronologisch innerhalb der Fehlerspannweite mit dem Löss aus Profil 230 mit  $61 \pm 4$  ka (Risø-Nr. 105018, Tab. 2) übereinstimmt. Mikromorphologisch wurden ebenfalls Pedorelikte in den Profile 117 und 224 und an der Basis des über rißzeitlichen Schottern hangenden Lösses zurückgeführt. Die Präsenz der Pedorelikte wird auf eine Umlagerung bzw. Durchmischung eines eemzeitlichen Bodens mit einer erneuten Lössanwehung gegen Ende des Spätpleistozäns gedeutet. Die vorgefundenen *anorthic/disorthic nodules* und fragmentierten Toncutane neben rezenten Toncutanen sind charakteristisch für die Mittellagen in Mitteleuropa (Müller & Thiemeyer, 2012) und bestätigen die Mittellage als ein pedogen vorgeprägtes Substrat (Völkel, 1995b). Die Mittellagen sind als periglaziale Umlagerungs- oder Überformungsprodukte von Paläoböden aus früherem (Hauptlagen-)Material zu verstehen. Die Basis des Lösses in den Profilen 117 und 224 entspricht damit einer Mittellage, über der jeweils ein Sediment aus anthropogen überprägtem Hauptlagenmaterial hängt.

#### 7.1.4 Kolluvien

Auf den meist mit spärlicher Sekundärvegetation bewachsenen Hängen weisen Runsen oder eine oberflächliche Bedeckungen des Oberbodens mit Steinen und Blöcken auf Erosionsereignisse. Während vor allem in den Oberhängen primärcarbonathaltige Ausgangssubstrate mit nur schwacher Bodenentwicklung in Form von Pararendzinen (Profile 107, 108, 125, 129, 135, 140, 141, 145, 146, 149, 155, 170, 178, 177, 199, 203 und 228) vorhanden sind, befinden sich vor allem in den Unterhängen mehrschichtige Sedimentkomplexe über dem Anstehenden (Profile 121, 122, 126, 128, 185, 186, 188, 190, 192, 194, 195, 206, 208, 209, 214, 221, 222, 225, 226, 227 und 229). Diese Situation mit erosiv geprägten Oberhängen und mächtigen Sedimentkomplexen am Hangfuß ist im Untersuchungsgebiet besonders für die direkte Umgebung der im Mittelalter gegründeten Dörfer charakteristisch. Allein mit dem in einem abgelegenen und unzugänglichen Seitental angelegten Profil 217 ist eine Parabraunerde in einem nicht kolluvial geprägten Sedimentkomplex auf primärcarbonathaltigem Ausgangssubstrat ausgebildet.

Eine genetische Zuordnung einzelner Straten der Sedimentkomplexe in den Unterhängen zu kolluvialen Phasen ist aber oft problematisch, weil die Lagen in der Regel geringmächtig und die Böden teilweise nur schwach ausgebildet sind oder die Bodenentwicklung nicht eindeutig bestimmt werden kann. In den carbonatreichen Substraten ist eine Horizontierung als Folge von Entcarbonatisierung oder Verbraunung in den geringmächtigen Sedimenten oft nicht feststellbar. Hingegen maskiert in den carbonatfreien Sedimentkomplexen die meist schichtübergreifende Bodenentwicklung die Grenze zwischen den Straten. In den oberflächennahen Lagen sind sedimentologische Merkmale aufgrund rezenter oder historischer ackerbaulicher Nutzung zerstört bzw. überprägt.

Die Fazies des hangenden Sediments in Profil 206 konnte nicht eindeutig bestimmt werden. Während die im hangenden Sediment enthaltenen Blöcke und Steine aufgrund ihrer Größe auf eine periglaziale Fazies weisen, deuten die im Sediment vorgefundenen und als Ziegelreste interpretierten mineralischen Komponenten auf eine anthropogene Komponente. In der hangenden Schicht weisen um 5 % schwankende Carbonatgehalte auf fehlende oder schwache Entcarbonatisierung, was ebenfalls auf ein junges Alter des Sediments hindeutet. Eine polygenetische Sedimentation in Form einer anthropogen induzierten kolluvialen Phase während des Holozäns, bei der das grobbodenführende periglaziale Substrat überdeckt wurde, kann ebenso wenig wie eine ausschließlich kolluviale oder eine alleinig periglaziale Genese ausgeschlossen werden. Der unter dem parautochthonen Substrat fossilisierte und von Rubefizierung und Lessivierung geprägte Illuvialhorizont ist aufgrund der ausgeprägten Bodenentwicklung als warmzeitlich einzuordnen, aufgrund der Lage des Profils auf der rißzeitlichen Terrasse ist neben einer holozänen Bodenentwicklung eine eemzeitliche Pedogenese in Betracht zu ziehen. Mangels chronologischer Daten aus dem Profil können diesbezüglich keine weiteren Aussagen getroffen werden.

Am 800 m südlich von Profil 206 angelegten Transekt 5 (Abb. 97 und Abb. 156) weisen neben Initialböden und unter mächtigen Kolluvien fossilisierte Sedimente auf eine markante Umgestaltung der Landschaft. Während im Oberhang bzw. Mittelhang der massive Kalksandstein ansteht und oberflächlich von losem Grobboden, teilweise in Form von Girlanden, bedeckt ist (Profil 228), bilden im Unterhang bis zu einem Meter mächtige (Profile 225, 226, 227 und 229) grobbodenarme Kolluvien den Abschluss der Sedimentkomplexe im Hangenden. Die Kolluvien entlang Transekt 5 sind carbonatreich, wobei die Calciumcarbonatgehalte in den Kolluvien zur Basis hin abnehmen und erst in den liegenden Substraten wieder ansteigen (Profile 227 und 229). Die Kolluvien enthalten sowohl Primärcarbonat als auch Sekundärcarbonat. Die in den Profilen laboranalytisch bestimmte Inversion der Calciumcarbonatgehalte in den Kolluvien konnte bei der Geländeaufnahme nicht auf pedogene Prozesse zurückgeführt werden. Während in den nicht von kolluvialer Umlagerung betroffenen Sedimenten Calcitkrusten, falls vorhanden, ausschließlich an der Unterseite von

Grobboden vorgefunden wurden, sind in den Kolluvien innerhalb eines Sedimentpakets Calcitkrusten an der Oberseite oder der Unterseite des Skeletts. Die Inversion der Carbonatgehalte in den Kolluvien wird auf eine Profillumkehr durch die raum-zeitliche Abfolge der Erosions- und Akkumulationsprozesse zurückgeführt. Zunächst werden die carbonatärmeren Oberböden im Oberhang erodiert, darauf folgt eine weitere Verlagerung der carbonatreichen Unterböden vom Oberhang in den Unterhang.

Bei den Profilen 177, 192, 206 und 208 konnte aufgrund der Feld- und Laborbefunde eine kolluviale Genese in den hangenden Sedimenten nicht ausgeschlossen bzw. widerlegt werden. Holzkohlefritter bzw. Holzkohlereste sind in den vermeintlichen Kolluvien häufig vorhanden, eine Schichtung als Hinweis auf eine Verlagerung und Sedimentation konnte zumindest makroskopisch nicht festgestellt werden. Die Differenzierung zwischen pedogen vorgeprägten Bodensubstraten und einer *in-situ*-Pedogenese in den hangenden Sedimentkomplexen gestaltet sich ohne Dünnschliffanalysen teilweise schwierig. Zu berücksichtigen ist, dass vor allem für die carbonatfreien Kolluvien, die meist aus Substrat umgelagerter Eluvialhorizonte von Parabraunerden bestehen (Profile 173 und 174), eine Differenzierung zwischen präkolluvialer und postkolluvialer Tonverlagerung nicht möglich ist.

Für die Profile 117, 173, 174, 190, 210 und 232 konnte mittels der mikromorphologischen Befunde und der OSL-Datierungen eine kolluviale Prägung gezeigt werden. Mikromorphologische Untersuchungen an den Kolluvien belegen häufig die Präsenz von Pedorelikten in Form fragmentierter und in der porenfernen Matrix eingebetteter Toncutane. Des Weiteren weisen oft runde *anorthic/disorthic nodules* auf eine präkolluviale Verbraunung und Verlehmung (Profile 117, 173, 174 und 190). Opal-Phytolithe im Kolluvium von Profil 173 belegen ebenfalls den Eintrag von Pflanzenresten bzw. die Durchmischung des kolluvialen Sediments.

Während in den älteren Kolluvien mikromorphologisch vor allem Pedorelikte vorgefunden wurden (Profile 117, 174, 210 und 232), sind in den jüngeren Kolluvien neben Pedorelikten auch sedimentologische Mikrostrukturen vorhanden (Profile 173 und 190). Die in den Kolluvien der Profile 173 und 190 horizontal gelagerten und nach oben geöffneten sichelförmigen Mikrostrukturen werden als oberflächennahe Sedimentationsstrukturen bzw. Sortierungsvorgänge interpretiert. Linear hintereinander angeordnete sichelförmige Mikrostrukturen werden bei Regenwurmausscheidungen beschrieben (Stoops, 2003), die zueinander versetzte Verteilung der in Profil 190 vorgefundenen sichelförmigen Mikrostrukturen wird aufgrund der horizontalen Orientierung eher als Sortierungseffekt bei Regentropfeneinschlag erklärt. Da zahlreiche sedimentologische Merkmale vorhanden sind und damit verbunden nur eine geringe pedogene Überprägung festgestellt werden kann, werden die jüngeren Kolluvien der Profile 173 und 190 bodensystematisch als Kolluvisole ausgewiesen. Aufgrund der

postkolluvialen pedogenen Überprägung der Bodensedimente werden die Profile 117, 174, 210, 232 entsprechend der Deutschen Bodensystematik nach der profilprägenden Bodenentwicklung kartiert.

Eine rezente Bodenentwicklung in kolluvialen Sedimenten ist, soweit diese von präkolluvialen Prozessen differenzierbar ist, in den carbonatfreien Substraten in Form von Lessivierung (Profile 117, 173, 174 und 232) feststellbar. In carbonathaltigen Substraten sind Entcarbonatisierung (Profile 192 und 214) und die Bildung sekundärer Carbonate ausgebildet (Profil 101). Die postsedimentäre Lessivierung in kolluvialen Substraten (Helbig et al., 2002; Leopold et al., 2011) kann beim Vorhandensein verlagerbarer Tone, eines konnektiven Porenraums und ausreichenden Wassers als Transportmedium zu einer Überprägung sedimentologischer Merkmale führen.

Die Untergrenze des Kolluviums bildet oft die Horizontobergrenze des Illuvialhorizonts (Profile 173, 174 und 186), das Kolluvium besteht meist aus umgelagertem Substrat eines Eluvialhorizonts. Aufgrund der charakteristischen, allerdings sedimentologisch bedingten Tongehaltsunterschiede zwischen den Lagen werden diese Böden auch als Phänoparabraunerden bezeichnet, sie sind vor allem für periglaziale Sedimente aus Mitteleuropa beschrieben (Mückenhausen, 1970; Semmel, 2001). Wie die holozänen OSL-Alter und die mikromorphologischen Befunde im Untersuchungsgebiet belegen, sind diese Phänoparabraunerden allerdings nicht auf eine periglaziale Geomorphodynamik beschränkt.

Die oft jungen Alter der OSL-Datierungen innerhalb der obersten Dezimeter der Böden werden häufig auf Belichtung durch Turbation von Bodenlebewesen oder Baumwurf zurückgeführt (Völkel & Mahr, 2001; Hülle et al., 2009; Huber, 2014). Beim Fehlen weiterer sedimentologischer Untersuchungen sind OSL-Datierungen in diesen Tiefen aufgrund der unterschiedlichen Einflüsse eindeutig weder als Minimalalter noch als Maximalalter zu interpretieren. Die in den Kolluvien von Profil 190 und Profil 173 mikromorphologisch vorgefundenen sichelförmigen Sortierungserscheinungen und Sternporen weisen auf den Erhalt der kolluvialen Merkmale und damit auf eine nur geringe Durchmischung des Sediments durch Bioturbation. Des Weiteren deuten die chronologisch nahe beieinander liegenden OSL-Alter in Profil 174 26 cm unter GOK mit  $7,3 \pm 0,5$  ka und 36 cm unter GOK mit  $7,8 \pm 0,7$  ka auf ein Fehlen bzw. nicht bis in 26 cm Tiefe reichende Turbation seit der Belichtung vor etwa 7,3 ka bzw. 7,8 ka. Chronologische Schwankungen in kolluvialen Substraten müssen nicht zwingend auf verschiedene Sedimentationszeiträume oder die Durchmischung jung belichteten und älter belichteten Materials weisen. Der Wassergehalt des Substrates geht zwar in die Berechnung der OSL-Alter ein, unberücksichtigt bleiben aber zeitliche Faktoren wie saisonale Variationen und langfristige Veränderungen wie klimatische oder pedogene Prozesse, die den Wassergehalt und damit das OSL-Alter des Substrates beeinflussen können.

## 7.2 Pedogenese

Die Bodenlandschaft im Untersuchungsgebiet ist aufgrund der verschiedenen Substrate und Alter von einer ausgesprochenen pedogenetischen Vielfalt charakterisiert. Entcarbonatisierung, Ausfällung von Sekundärcarbonaten, Verbraunung, Rubefizierung und Lessivierung ergeben ein kleinräumig wechselndes Bodenmosaik.

### 7.2.1 Calciumcarbonatdynamik

Die Präsenz eines carbonathaltigen Anstehenden hat mit der glazialen und periglazialen Geomorphodynamik im Untersuchungsgebiet zur großflächigen Verbreitung primärcarbonathaltiger Sedimente geführt. Innerhalb der untersuchten Profile zeigt sich mit der meist deutlichen Zunahme der Carbonatgehalte zur Profilbasis eine ausgeprägte Carbonatdynamik, die auf eine pedogene Entcarbonatisierung und Umlagerung der Carbonate deutet. In einem Großteil der untersuchten Profile, in denen das Anstehende nicht erreicht wurde, sind neben Primärcarbonaten auch Sekundärcarbonate ausgefällt, die oft zu einer markanten Verkittung des Feinbodens führen. Vor allem die glazialen Sedimente sind meist aufgrund einer massiven Verkittung mit Calcit schlagfest und nicht grabbar (Profile 140, 149 und 197). Die mikromorphologischen Untersuchungen des massiv mit Calcit verkitteten *till* in Profil 197 und Profil 140 belegen horizontal gelagerte und mit Sekundärcarbonat verfestigte Schluffbänder, die bei der Sedimentation des *till* gebildet wurden. Die Schluffbänder haben vor der Verkittung keine paraglazialen oder periglazialen Überprägungen erfahren, weswegen von einer raschen Verkittung des Substrats nach der Sedimentation des *till* ausgegangen wird. Da beim Gefrieren calciumhydrogencarbonathaltiger Lösungen Calcit ausfällt (Hallet, 1976), wird die Verkittung des *till* auf das Eindringen und Gefrieren calciumhydrogencarbonathaltiger Schmelzwasser in die glazialen Sedimente während oder kurz nach der Vergletscherung zurückgeführt. Die Verkittungen im *till* sind demnach syndementär und nicht pedogen.

Mikromorphologische Untersuchungen belegen eine spätere pedogene Überprägung des verkitteten *till* in Form von Entcarbonatisierung, wobei der primärcarbonathaltige Grobboden randständig von Lösungsverwitterung angegriffen wird (Profile 140, 197 und 204). Des Weiteren weisen kirschrote und gelbe Eisenausfällungen im Grobboden und in der Matrix auf eine rezente Verwitterung in Form von Rubefizierung und Verbraunung. Einzelne Rostflecken entlang der Poren deuten auf eine schwache Pseudovergleyung, randständige Schluffcutane und staubige Toncutane belegen den partikulären Transport mittels Wassers durch konnektive Poren. Darüber hinaus ist von erneuten Ausfällungen von Sekundärcarbonat im verkitteten *till* auszugehen. So weisen die Porensäume aus sparitischen Calcitkristallen auf feuchtere Bedingungen (Folk, 1974) und die netzartigen Ausfällungen von Mikrit

und nadelförmigem Calcit, die die sparitischen Kristalle bedecken, deuten ebenfalls auf eine jüngere Sekundärcarbonatdynamik hin.

Der in den Sedimenten mit primärcarbonathaltigem Feinboden teilweise ganzseitig mit Kalkkrusten ummantelte Grobboden wird sowohl auf glazialen als auch auf den periglazialen Sedimenten und den Terrassen vorgefunden. In den verbraunten bzw. rubefizierten Horizonten sind die Kalkkrusten nur an der Unterseite des Grobbodens vorhanden, erst im primärcarbonathaltigen Untergrundhorizont sind die Kalkkrusten ausgeprägter und umhüllen das Skelett ganzseitig. Wie in den Profilen 117 und 224 die vorgefundenen Kalkkrusten an der Unterseite von Granit belegen, ist die Bildung der Kalkkrusten auch an carbonatfreiem Skelett möglich (Treadwell-Steitz & McFadden, 2000). An primärcarbonathaltigem Skelett sind aber hinsichtlich Ausmaß und Mächtigkeit die Kalkkrusten deutlicher als an carbonatfreiem Skelett. Die Zufuhr des Calciums aus der Verwitterung des Skeletts ist demnach für die Genese der Kalkkrusten nachrangig. Der Erhalt der Kalkkrusten an der Unterseite primärcarbonathaltigen Grobbodens wird einerseits auf dessen abschirmende Wirkung gegen perkolierendes Sickerwasser zurückgeführt. Andererseits bildet er einen Puffer gegen versickernde säurehaltige Lösungen. Zwar sind die Kalksandsteine, an denen die untersuchten Kalkkrusten haften, randlich von einem 1 cm mächtigen braunen Saum von chemischer Verwitterung angegriffen, der kalkhaltige Zement im Zentrum des Kalksandsteins ist aber kaum von Lösungsverwitterung betroffen (Profil 224). Die geringere Ausprägung der Kalkkrusten an der Unterseite der Granite wird somit vor allem auf eine fehlende Pufferwirkung der carbonatfreien Gesteine gegen Säuren zurückgeführt.

Die pallisadenartige Anordnung des sparitischen Calcits in Wechsellagerung mit Mikrit an der Unterseite der Steine weist in dem makroporenarmen Substrat auf ein ausreichend großes Platzangebot während der Kristallisation des Sparits und aufgrund des Längenwachstums auf die kontinuierliche Zufuhr calciumhydrogencarbonathaltiger Lösungen. Zwar werden sparitische Calcite ebenfalls unter warm-ariden Bedingungen in Böden gebildet, die Bildung des Sparits in warm-ariden Klimaten erfolgt aber meist in feinbodenarmen und damit äußerst porenreichen Sedimenten (Chadwick et al., 1989). Des Weiteren befinden sich unter warm-ariden Bedingungen die Kalkkrusten meist nur an der Oberseite des Grobbodens (Amundson et al., 1997). Aufgrund des experimentell nachgestellten Kristallwachstums an der Unterseite von Steinen unter Ausbildung von Sparit mittels wiederholten Gefrierens calciumhydrogencarbonathaltiger Lösungen (Adolphe, 1972) wird die Genese des in den Profilen 117 und 224 ebenfalls an der Unterseite von Grobboden vorgefundenen Sparits mit einer kryogenen Calcit ausfällung erklärt. In rezenten Periglazialgebieten sind derartige Bildungen nachgewiesen (Courty et al., 1994). Die Genese des Hohlraums, in den die Sparite unterhalb des Grobbodens in den Profilen 117 und 224 hineingewachsen sind, wird dabei auf Frosthub zurückgeführt. Die unter periglazialen Bedingungen verursachte

Absenkung der Bodentemperatur, die damit bedingte thermische Kontraktion des Substrats und die dadurch entstehenden Poren sind zumindest als mögliche Voraussetzungen für die Entstehung der Kalkkrusten zu berücksichtigen, die den Grobboden oft ganzseitig bedecken.

Die in den von Lessivierung oder Verbraunung bzw. Rubefizierung geprägten Horizonten mikromorphologisch vorgefunden biogenen Sekundärcarbonate in Form von Rhizolithen, *calcified root cells*, Regenwurmcacit, nadelförmigem Calcit und Calciumoxalat weisen auf eine aszendente Carbonatverlagerung aus den liegenden und primärcarbonathaltigen Sedimenten in die größtenteils carbonatfreien hangenden Horizonte. Im Gelände konnte bei der Profilsprache durch Beträufeln der Horizonte mit 10%iger HCl ein scharfer Übergang von carbonathaltigen und carbonatfreien Horizonten festgestellt werden. Dies wurde bei der anschließenden Beprobung auch explizit berücksichtigt. Die anschließenden Laboranalysen mit der Bestimmung des pH-Werts und der  $\text{CaCO}_3$  Gehalte konnten den im Feld vorgefunden markanten Unterschied allerdings nicht wiedergeben. Die Anreicherung sekundärer Carbonate in Form von Rhizolithen kann bei einer kalkfreien Bodenmatrix, wie sie in diversen Profilen beobachtet wird, bei der Probennahme und den Laboranalysen nicht differenziert dargestellt werden.

Eine Quantifizierung der biogen verlagerten Mengen an Calcium ist mit den in dieser Arbeit angewandten Methoden bei Weitem nicht abschätzbar. Aufgrund der kurzen Lebensdauer von Feinwurzeln von etwa einem Jahr (Burke & Raynal, 1994; Stober et al., 2000), der starken Durchwurzelung der Oberböden im Untersuchungsgebiet und der in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigten Phytolithen im Laub der Bäume (Arnott, 1982) ist eine markante Verlagerung von Calcium aus den Unterböden zu erwarten. In den bearbeiteten Dünnschliffen sind nur in den rezenten oder noch gut erhaltenen bereits abgestorbenen Feinwurzel Phytolithe aus Calciumoxalat ausgefällt, wobei in den bereits abgestorbenen Wurzeln das Calciumoxalat bereits schmutzig braun gefärbt bzw. nur noch als Rest vorhanden ist. Die Umwandlung des Calciumoxalats ist demnach ein relativ zügiger Prozess, da sowohl Bakterien als auch Pilze Calciumoxalat abbauen (Verrecchia et al., 2006). Daten aus Untersuchungen zum Einfluss der Wurzelaktivität auf den Stoffhaushalt initialer Böden belegen ebenfalls eine rasche biogen induzierte aszendente Calciumverlagerung in weniger als fünf Jahren (Boldt-Burisch, 2012).

In Anbetracht der intensiven Verbraunung bzw. Rubefizierung ist die Bodenacidität im Untersuchungsgebiet mit pH-Werten zwischen pH 5 und pH 7 relativ gering (u. a. Profile 166, 167, 175 und 217). Die biogen induzierte aszendente Carbonatverlagerung wird als Ursache für diese vergleichsweise hohen pH-Werte der Bodenlösung gewertet. Auswirkungen einer aszendenten Calciumverlagerung auf andere pedogene Prozesse sind in Form einer Stabili-

sierung der Bodenlösung im schwach sauren Bereich zu erwarten, was sowohl die Lessivierung (Kußmaul & Niederbudde, 1979) als auch die Bildung von Hämatit gegenüber Goethit (Schwertmann et al., 1999) fördert. Die Begünstigung der Rubefizierung und Lessivierung, die als charakteristische Prozesse für die Böden auf Carbonatgesteinen im Mittelmeerraum gelten (Fedoroff & Courty, 2013), wird für die Böden im Untersuchungsgebiet bestätigt. Bereits Ravikovitch (1966) betont eine aszendente, aber nach seiner Auffassung abiogene Carbonatverlagerung als förderliche Komponente für die rubefizierten und lessivierten Böden im Mittelmeerraum. Hinweise auf eine abiogene und aszendente Carbonatverlagerung wie in ariden Gebieten wurden im Untersuchungsgebiet nicht vorgefunden und sind aufgrund des rezenten Klimas auch nicht zu erwarten. Trotz der sommerlichen Trockenheit sind im Untersuchungsgebiet nur im Jaca-Becken im Juli und August die Niederschläge geringer als die Verdunstung, die Nord-Süd-streichenden Täler des Gállego und Aragón sind ganzjährig humid. Des Weiteren weisen die mikromorphologischen Untersuchungen in den von Verwitterung geprägten Horizonten mit der Herauslösung des carbonathaltigen Zements aus dem primärcarbonathaltigen Grobboden auf eine aktive Lösungsverwitterung, die von einer Lessivierung mit Toncutanbildung in den Lösungsporen begleitet wird. Die Böden im Untersuchungsgebiet sind demnach von einer deszendenten Carbonat- (und Ton-)Verlagerung geprägt, der eine biogene und aszendente Carbonatverlagerung entgegenwirkt.

### **7.2.2 Tonmineralogie**

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Röntgendiffraktion ist zu berücksichtigen, dass bei der Vorbehandlung der Tonproben aufgrund der Eisenzerstörung Biotite zumindest teilweise zu vermikulitähnlichen Mineralen umgebildet werden können, wobei solche bei der Röntgendiffraktion ähnliche Charakteristika wie Vermikulit aufweisen (Douglas, 1967). Die schwache Intensität bei 1,41 nm im Magnesiumpräparat von Profil 220 aus dem Pflughorizont kann unter Berücksichtigung der möglichen vermikulitähnlichen Artefaktbildung bei der Probenvorbereitung nicht als Indiz für die Präsenz quellfähiger Tonminerale gewertet werden (Douglas, 1967). Ebenso sind in Profil 206 im carbonatreichen hangenden Substrat zwischen 63 und 75 cm die charakteristischen Intensitätsbereiche für quellfähige Tonminerale im Gegensatz zum liegenden fossilen Illuvialhorizont nur schwach ausgeprägt. Für den hangenden Löss in Profil 220 konnte mikromorphologisch im ebenfalls lössbedeckten 2,6 km entfernten Profil 224 ein deutlicher Anteil an Biotit im Feinboden festgestellt werden. Im carbonatfreien und von Verbraunung und Tonverlagerung geprägten Ap-Horizont des Profils 220 sind im Gegensatz zum liegenden und carbonathaltigen Illuvialhorizont keine bzw. nur wenig quellfähige Tonminerale vorhanden. Die Untersuchungen von Douglas (1967) zeigen, dass bei einer einmaligen Eisenzerstörung die zu erwartende Artefaktbildung

in der Tonfraktion zwar röntgenanalytisch markant ist, aber nur ein sehr geringer Teil der Biotite zu einem vermiculitähnlichen Mineral umgewandelt werden kann.

Für die Profile 221, 222, 224, 227 und 229 kann ebenfalls eine, zumindest teilweise, Beeinflussung der charakteristischen Intensitäten durch eine Artefaktbildung bei der Probenvorbereitung nicht ausgeschlossen werden. Mikromorphologisch konnte in Profil 221 vereinzelt und in einer großen Anzahl in Profil 224 Biotit identifiziert werden, wobei in Profil 221 aufgrund der Verkittung des Feinbodens mit Sekundärcarbonat vergleichbare Aussagen zur Quantität des Biotits nicht möglich sind. Die Kontraktion der quellfähigen Tonminerale bei der Belegung mit Kalium auf die Dicke von Illit zeigt den vermiculitähnlichen Charakter, eine weitere Eingrenzung der Mineralogie konnte aufgrund der alleinigen Belegung mit Ethylenglykol nicht erfolgen (Walker, 1958; Mosser-Ruck et al., 2005). Eine lithogene Vererbung der untersuchten quellfähigen Tonminerale wird aufgrund der an den untersuchten Standorten ähnlichen Ausgangssubstrate und wegen der uneinheitlichen Tonmineralspektren an den verschiedenen Standorten ausgeschlossen. Die Präsenz der Übergangsmminerale in den Profilen 206, 220, 221, 224, 227 und 229 weist auf eine pedogene Tonmineralbildung bzw. -umwandlung in den untersuchten Sedimenten (Tributh, 1976). Hingegen sind die in allen Proben gefundenen Kaolinite aufgrund der oft alkalischen Bodenlösung der Sedimente nicht als Endprodukt einer *in-situ*-Bodenentwicklung zu betrachten (Wilson, 1999), sondern als lithogen vererbte Minerale.

Augenfällig ist die Koinzidenz carbonatreicher Substrate und quellfähiger Tonminerale. Aufgrund der alkalischen Bodenlösung wäre in den untersuchten Sedimenten bei einer Tonmineralbildung aus den Glimmern die Bildung von Smektiten zu erwarten (Sandler et al., 2015), und bei einer alkalischen Bodenlösung unterliegen Glimmer einer geringeren Verwitterung als in sauren Böden (Kittrick, 1973). Unter Berücksichtigung des carbonathaltigen Feinbodens und der Fähigkeit von Pflanzenwurzeln, den Tonmineralen Kalium im Austausch gegen Calcium zu entziehen (Tributh, 1976; Barré et al., 2007), erscheint eine biogen induzierte Umwandlung der Tonminerale möglich (Hinsinger & Jaillard, 1993). Die von Wagner et al. (2012) in Südostspanien, von Terhorst et al. (2003) in Norditalien, von Priori et al. (2008) in Zentralitalien und von Wagner et al. (2007) in Sizilien untersuchten Böden sind ebenfalls von einer schwach sauren bis alkalischen Bödenlösung und der Präsenz von Illit, Smektit und Vermiculit gekennzeichnet. Umwandlung bzw. Bildung der Tonminerale wird von den Autoren aber hauptsächlich mit abiotischen bzw. klimatischen Bedingungen erklärt. Aufgrund der innerhalb weniger Jahrzehnte möglichen biogen induzierten Umwandlung von Illit in quellfähige Tonminerale (Li et al., 2003) ist für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten und ackerbaulich genutzten Standorte eine biogene Komponente bei der Umwandlung der Tonminerale zu erwarten. Bei Grasvegetation werden nach Hinsinger & Jaillard (1993) und Barré et al. (2007) Illite besonders zügig umgewandelt, weswegen Illit

und Vermikulit in Böden auch als metastabile Minerale beschrieben werden (Kittrick, 1973). Die kurzzeitigen Effekte der Vegetation auf die Tonmineralogie der Böden bedürfen der Berücksichtigung bei paläoklimatologischen Interpretationen, die oft alleine mittels einer abiogenen Betrachtung geführt werden. In Bodensedimenten mit einem carbonathaltigen Feinboden und einer alkalischen Bodenlösung unter Ausschluss einer kolluvialen Prägung sollten Vermikulite nicht mit einer reliktschen Verwitterung assoziiert werden.

### 7.2.3 Verlehmung und Verbraunung bzw. Rubefizierung

Die Untersuchungen der Gehalte an  $Fe_T$  zeigen bei den Parabraunerden (Profile 117, 175, 217, 224, 231 und 232) eine deutliche Zunahme von  $Fe_T$  in den Illuvialhorizonten im Vergleich zu den hangenden Eluvialhorizonten (Profile 217 und 231, Tab. 3). Dies beruht auf höheren Gehalten von silikatisch gebundenem Eisen und Goethit/Hämatit. Die Gehalte an organisch gebundenem Eisen und Ferrihydrit sind anteilmäßig gegenüber  $Fe_T$  nur gering. Die zur Basis der Illuvialhorizonte der Parabraunerden zunehmenden Gehalte an  $Fe_T$  weisen zusammen mit den mikromorphologisch und makroskopisch vorgefundenen Toncutanen und dem Maximum der Feintongehalte in den Illuvialhorizonten auf eine partikuläre Verlagerung.

Die mikromorphologischen Untersuchungen belegen die Präsenz von Rostflecken in den Illuvialhorizonten (Profile 223, 224 und 231). Die redoximorphe Verlagerung von Eisen in den Profilen wird aufgrund der Hanglage der Profile und der dominierenden sommerlichen Trockenheit im Untersuchungsgebiet mit dem Sickerwasser einzelner Niederschlagsereignisse im Sinne einer Pseudovergleyung erklärt. Die Reduktion und Oxidation des Eisens im Zuge der Pseudovergleyung ist ein schnell ablaufender Prozess, der innerhalb weniger Tage horizontprägend sein kann (Veneman et al., 1976) und somit nicht im Widerspruch zu dem meist trockenen Klima im Untersuchungsgebiet steht. Die höheren Gehalte silikatisch gebundenen Eisens in den Illuvialhorizonten im Vergleich zu den hangenden Horizonten weisen aber auf die nachrangige Bedeutung der Pseudovergleyung bei der Profilentwicklung.

Die Gehalte organisch gebundenen Eisens sind in allen untersuchten Profilen gering, die höchsten gemessenen Gehalte werden im Ah von Profil 232 mit  $1105 \text{ mgkg}^{-1}$  erreicht (entspricht anteilmäßig 2,4 % von  $Fe_T$ ), an der Basis des Profils beträgt der Gehalt organisch gebundenen Eisens  $248 \text{ mgkg}^{-1}$  (entspricht anteilmäßig 0,4 % von  $Fe_T$ ). In den Profilen 127, 166, 170, 171, 174, 211 und 231 (Tab. 3) nehmen die Gehalte an organisch gebundenen Eisens mit jeweils einem Maximum im mineralischen Oberboden zur Basis des Profils kontinuierlich ab, weswegen eine kolluviale Prägung der Profile ausgeschlossen wird. In den Profilen 173, 194 und 212, bei denen eine kolluviale Prägung der hangenden Schichten festgestellt

**Tabelle 3:** Verteilung der Eisenoxide in den Profilen 231, 194 und 217; relative farbliche Abstufung der Werte innerhalb der Spalten der einzelnen Profile; grüne Farben indizieren niedrige Werte, rote Farben hohe Werte

Profil 231: Braunerde-Parabraunerde in Hauptlage mit einer schichtübergreifenden Tonverlagerung in den liegenden fill														
Probennummer	Horizonte	Tiefe in cm	pH in CaCl <sub>2</sub> Lsg.	Fe <sub>T</sub>	in mgkg <sup>-1</sup>		Organisch gebundenes Fe	Ferrihydrat	Goethit/ Hämatit	in %			Anteile silikatisch gebundenes Fe	
					Silikatisch gebundenes Fe	Goethit/ Hämatit				Anteile organisch gebundenes Fe	Anteile Ferrihydrat	Anteile Goethit/ Hämatit	Anteile silikatisch gebundenes Fe	
231-1	Ah	0-10	4,6	18847	8029	678	733	9408	3,6	3,9	49,9	42,6		
231-2	Bv-Al	10-25	4,4	23387	9568	253	466	13100	1,1	2,0	56,0	40,9		
231-3	Bvt	25-40	4,5	35950	14848	145	748	20209	0,4	2,1	56,2	41,3		
231-4	Bvt	40-55	5,0	42571	18542	124	813	23092	0,3	1,9	54,2	43,6		
231-5	Bvt	55-71	4,9	42932	18279	125	800	23729	0,3	1,9	55,3	42,6		
231-6	II Bt+eIcV	71-84	5,5	44073	18963	74	983	24053	0,2	2,2	54,6	43,0		
231-7	II Bt+eIcV	84-97	6,1	41778	18581	63	992	22142	0,2	2,4	53,0	44,5		
231-8	II eIcKc	97-110	6,7	17449	8209	11	587	8643	0,1	3,4	49,5	47,0		
Profil 194: Kolluvisol aus grobdenarmen Substrat														
Probennummer	Horizonte	Tiefe in cm	pH in CaCl <sub>2</sub> Lsg.	Fe <sub>T</sub>	in mgkg <sup>-1</sup>		Organisch gebundenes Fe	Ferrihydrat	Goethit/ Hämatit	in %			Anteile silikatisch gebundenes Fe	
					Silikatisch gebundenes Fe	Goethit/ Hämatit				Anteile organisch gebundenes Fe	Anteile Ferrihydrat	Anteile Goethit/ Hämatit	Anteile silikatisch gebundenes Fe	
194-1	M	0-20	5,8	31432	16764	174	1265	13230	0,6	4,0	42,1	53,3		
194-2	M	20-40	6,0	32719	17678	136	1256	13649	0,4	3,8	41,7	54,0		
194-3	M	40-60	5,9	33257	18485	291	1062	13419	0,9	3,2	40,3	55,6		
194-4	M	60-80	6,0	33903	19014	137	1283	13469	0,4	3,8	39,7	56,1		
194-5	M	80-100	5,9	30946	16519	143	1374	12909	0,5	4,4	41,7	53,4		
194-6	M	100-120	6,0	31442	16782	110	1487	13063	0,4	4,7	41,5	53,4		
194-7	M	120-140	5,9	31313	16889	100	1484	12841	0,3	4,7	41,0	53,9		
Profil 217: Parabraunerde in grobdenarmen Substrat über Basislage														
Probennummer	Horizonte	Tiefe in cm	pH in CaCl <sub>2</sub> Lsg.	Fe <sub>T</sub>	in mgkg <sup>-1</sup>		Summen aus organisch gebundenem Fe und Ferrihydrat	Goethit/ Hämatit	in %			Anteile silikatisch gebundenes Fe		
					Silikatisch gebundenes Fe	Goethit/ Hämatit			Anteile der Summen aus organisch gebundenem Fe und Ferrihydrat	Anteile Goethit/ Hämatit	Anteile silikatisch gebundenes Fe			
217-1	Ah	0-4	4,9	27975	15868	2612	2612	9495	9,3	9,3	33,9	56,7		
217-2	Al-Bv	4-10	5,2	31645	17399	2272	2272	11974	7,2	7,2	37,8	55,0		
217-3	Al-Bv	10-20	5,1	33863	18248	2311	2311	13305	6,8	6,8	39,3	53,9		
217-4	Bvt	20-30	5,3	36530	19798	2370	2370	14361	6,5	6,5	39,3	54,2		
217-5	Bvt	30-39	6,0	39723	21800	2318	2318	15605	5,8	5,8	39,3	54,9		
217-6	Bt+eIcV	39-50	7,2	39685	23646	1357	1357	14682	3,4	3,4	37,0	59,6		
217-7	Bt+eIcV	50-60	7,4	39594	23142	1214	1214	15239	3,1	3,1	38,5	58,4		
217-8	II eIcV	60-80	7,5	35333	20106	935	935	14292	2,6	2,6	40,4	56,9		
217-9	II eIcV	80-100	7,6	30931	17478	791	791	12662	2,6	2,6	40,9	56,5		

wurde (Profil 194, Tab. 3), schwanken sie innerhalb des Kolluviums und ihre Abnahme beginnt, soweit die Basis bei der Profilaufnahme überhaupt erreicht wurde, erst in den nicht kolluvial geprägten liegenden Schichten. Eine Podsolierung, die sich in einer Zunahme der Gehalte organisch gebundenen Eisens in den Illuvialhorizonten zeigen würde, konnte weder bei der Profilsprache noch laboranalytisch in den untersuchten Profilen im Untersuchungsgebiet festgestellt werden.

Die Gehalte an Ferrihydrit sind in den Illuvialhorizonten höher als in den hangenden Eluvialhorizonten (Profile 127, 166, 171, 174, 231 und 232), die Anteile von Ferrihydrit zu  $Fe_T$  schwanken in den Profilen zwischen 1,7 % (Bvt, 34–44 cm unter GOK in Profil 174) und 5,1 % (Ah, 0–4 cm unter GOK in Profil 173). Zu berücksichtigen ist, dass aufgrund der meist deutlich höheren Gehalte an  $Fe_T$  in den Illuvialhorizonten die prozentualen Anteile von Ferrihydrit meist geringer als in den Eluvialhorizonten sind, obwohl die Absolutgehalte von Ferrihydrit in den Illuvialhorizonten höher als in den Eluvialhorizonten sind. So beträgt in Profil 232 im Ah der Gehalt an Ferrihydrit bei 0–6 cm unter GOK  $1557 \text{ mgkg}^{-1}$  (entspricht 3,4 % von  $Fe_T$ ) und im II fBvt°Bv bei 46–57 cm unter GOK  $2637 \text{ mgkg}^{-1}$  (entspricht 4,8 % von  $Fe_T$ ). Die niedrigen Gehalte an Ferrihydrit in den Böden werden auf die zügige Umkristallisation des metastabilen Ferrihydrits zu Goethit/Hämatit zurückgeführt. Hervorhebenswert ist, dass die Verbraunung bzw. Rubefizierung, die über die Umbildung von Ferrihydrit verläuft, in den Illuvialhorizonten am ausgeprägtesten ist.

Eine qualitative oder quantitative Differenzierung zwischen Goethit und Hämatit ist mit der in der vorliegenden Arbeit angewandten chemischen Analytik nicht möglich, die Farbe des Feinbodens lässt aber Rückschlüsse auf die Präsenz des stark rot färbenden Hämatits zu. Die Farbe des Feinbodens in den entcarbonatisierten Horizonten unterscheidet sich zwischen den Profilen auf den Terrassen deutlich von den Profilen auf den viel höher gelegenen Hängen. Während in Profil 217 auf 1550 m ü. M. bei einem Maximalgehalt an Goethit/Hämatit im Bvt von  $15\,605 \text{ mgkg}^{-1}$  die Farbe des Feinbodens dunkel gelblichgrau ist (2,5 Y 3/3), hat der Feinboden in Profil 127 auf der rißzeitlichen Terrasse auf 838 m ü. M. bei einem Maximalgehalt an Goethit/Hämatit von  $20\,332 \text{ mgkg}^{-1}$  mit 5 YR 4/4 einen deutlich höheren Rotanteil. Die höchsten Rotanteile werden in dem ebenfalls auf einer rißzeitlichen Terrasse befindlichen Profil 224 mit einer Bodenfarbe von 2,5 YR 4/6 bei einem Maximalgehalt an Goethit/Hämatit von  $25\,768 \text{ mgkg}^{-1}$  erreicht. Höhere Rotanteile mit Bodenfarben von 5 YR wurden auch in den entcarbonatisierten und verwitterten Horizonten in den Profilen 117 (812 m ü. M.), 174 (940 m ü. M.) und 211 (1210 m ü. M.) bestimmt. Mit zunehmender Höhe ü. M. sind die Rotanteile mit 7,5 YR in den entcarbonatisierten und verwitterten Horizonten der Profile 173 (1037 m ü. M.), 175 (950 m ü. M.), 181 (1064 m ü. M.), 198 (1137 m ü. M.), 231 (1022 m ü. M.) und 232 (1384 m ü. M.) geringer. Die Profile 167 (1226 m ü. M.), 176 (1428 m ü. M.), 190 (1242 m ü. M.), 193 (1100 m ü. M.) und 214 (1221 m ü. M.)

mit Bodenfarben von 10 YR in den entcarbonatisierten und verwitterten Horizonten enthalten aufgrund der Bodenfarbe kein bzw. kaum Hämatit (Schwertmann et al., 1982). Des Weiteren wurden mittels mikromorphologischer Untersuchungen kirschrote und traubige oder rhomboedrische Kristalle identifiziert, die aufgrund der Farbe, der Kristallmorphologie und des Reliefs als Hämatit angesprochen wurden (Profile 204, 221, 223, 224 und 231). Die Präsenz der Hämatitkristalle mit direktem Kontakt zu Muschelresten im carbonathaltigen Substrat von Profil 221 wird auf eine *in-situ*-Bildung zurückgeführt. Da eine sehr schwach alkalische bzw. schwach alkalische Bodenlösungen die Bildung von Hämatit begünstigt (Schwertmann et al., 1999), stehen bodenchemische Gründe einer *in-situ*-Genese des Hämatits nicht entgegen. Die Kristallmorphologie des Hämatits variiert zwischen rhomboedrischen und bei höheren Aluminiumgehalten traubigen bzw. nierigen Kristallformen (Michalet et al., 1993) und konnte mikromorphologisch nebeneinander auf engstem Raum innerhalb eines Dünnschliffs bzw. Minerals beobachtet werden (Profil 231). Pedogenetische Rückschlüsse hinsichtlich Aluminiumdynamik oder Mineralogie sind in den untersuchten Profilen wegen der nicht gemessenen Gehalte an  $Al_T$  nicht möglich, die mikromorphologischen Befunde belegen aber die kleinräumige Heterogenität der Kristallmorphologie in Böden.

Die höheren Hämatitanteile sind meist auf schwach reliefierten Standorten wie den Terrassen und den Glacis ausgebildet. Ebenfalls zeigt sich eine deutliche Abnahme des Rotanteils mit zunehmender absoluter Höhe des Profils, eine Ausnahme bilden das auf der südexponierten Seitenmoräne befindliche Profil 211 auf 1210 m ü. M. und das auf 2097 m ü. M. gelegene Profil 207. Während in Profil 207 der anstehende und unverwitterte Schiefer bereits eine weinrote Farbe hat und die Farbe demnach lithogen bedingt ist, ist in Profil 211 die Verbraunung bzw. Rubefizierung in der hangenden Hauptlage über dem liegenden und grauen *till in situ*. Eine Beimengung der bereits lithogen rötlich vorgeprägten Schiefer in den glazialen Sedimenten und im Löss konnte analytisch in der vorliegenden Arbeit nicht geprüft werden, aufgrund der rötlichen Farbe des stark carbonathaltigen *till* in den Profilen 142, 164 und 167 ist eine lithogen bedingte Farbkomponente zumindest in diesen Profilen anzunehmen.

Unter Berücksichtigung der im Untersuchungsgebiet in spätpleistozänen Sedimenten und teilweise auf post-LGM-zeitlichen Sedimenten nachgewiesenen Rubefizierung ist neben der ebenfalls in Mitteleuropa auf spätpleistozänen Sedimenten beschriebenen Rubefizierung eine mit tropischen Klimabedingungen assoziierte Rubefizierung in den untersuchten Profilen abzulehnen. Ebenso weist der mittels Röntgendiffraktion in den Profilen 206 und 220 nur in geringen Anteilen nachgewiesene Kaolinit neben der nur schwach sauren Bodenlösung auf keine intensive oder bis in das Neogen reichende Bodenentwicklung. Die Rubefizierung im Untersuchungsgebiet ist aufgrund des Alters der Sedimente post-LLGM-zeitlich

(Profile 231, 173, 174, 175, 181, 198, 211, 231 und 232) oder auf den rißzeitlichen Terrassen frühestens eemzeitlich (Profile 117, 127, 223 und 224). Für die Rubefizierung in den spätpleistozänen Sedimenten spielen im Untersuchungsgebiet die jahreszeitlichen Wechsel mit den humiden Wintern, die die Entstehung von Ferrihydrit fördern, und den warmen und trockenen Sommern, in denen Ferrihydrit aufgrund der Bodentemperatur zu Hämatit umkristallisiert, eine maßgebliche Rolle (Torrent & Cabedo, 1986). Des Weiteren fördern die ebenfalls häufig vorgefundenen neutralen und alkalischen pH-Werte (Schwertmann et al., 1999) und das Fehlen organischer Substanz die Bildung von Hämatit (Schwertmann, 1970). Wie die nur schwach ausgeprägten Oberböden belegen, ist die Anreicherung von organischer Substanz im Untersuchungsgebiet gering bzw. erfolgt der Umsatz der organischen Substanz zügig. Neben der Abnahme des mediterranen Klimas im Untersuchungsgebiet in zunehmender Höhe und der damit geringer ausgeprägten sommerlichen Aridität und Bodentemperatur ist die Zunahme der organischen Substanz aufgrund höherer Niederschläge wohl mitausschlaggebend für die steigenden Goethitanteile mit zunehmender Höhe ü. M.

Hinsichtlich der Anwendbarkeit der Deutschen Bodensystematik auf die Böden der spanischen Zentralpyrenäen zeigten sich bei den von Lessivierung und Verbraunung bzw. Rubefizierung geprägten Böden Widersprüchlichkeiten bezüglich der pedogenetischen Annahmen der Deutschen Bodensystematik. Zwar ist die Deutsche Bodensystematik vor allem für eine Bodenklassifikation in Mitteleuropa ausgelegt, die spätquartäre Landschaftsentwicklung in den spanischen Zentralpyrenäen mit der glazialen und periglazialen Prägung im Spätpleistozän und der Bodenentwicklung auf den spätpleistozänen Sedimenten unterscheidet sich, wie die vorliegende Untersuchung bestätigt, kaum von der spätquartären Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Eine Ansprache der rubefizierten Böden als Terra Rossa (Ah/Tu/Cc) oder als Ferralit (.../fBu/Cj/Cv) ist aufgrund der Anforderungen der Deutschen Bodensystematik hinsichtlich der Genese als Terra Rossa mit der reliktschen Rubefizierung und der *in-situ*-Verwitterung des rubefizierten Horizonts aus Kalkstein oder als tropischer Ferralit nicht gegeben. Rubefizierung auf spätquartären Sedimenten ist ebenso in Mitteleuropa ein profilprägender Prozess (Moll, 1970; Schwertmann et al., 1982), findet aber in der aktuellen Bodensystematik nur als reliktscher Prozess Berücksichtigung. Aufgrund der unterschiedlichen Klimabedingungen, welche die Bildung von Hämatit oder Goethit fördern, ist die Differenzierung zwischen den verbraunten goethithaltigen Böden und den hämatithaltigen rubefizierten Böden für die genetisch ausgerichtete Deutsche Bodensystematik sinnvoll. Die bereits von Moll (1970) in Form der „rubefizierten Parabraunerden“ und „rubefizierten Braunerden“ vorgeschlagenen genetischen Ergänzungen sollten bei einer Neuauflage der Deutschen Bodensystematik berücksichtigt werden. Während die Rubefizierung in den Parabraunerden bereits ausgiebig untersucht wurde (Bresson, 1974; Fedoroff & Courty, 2013), ist die Genese der rubefizierten Böden in sandigen Substra-

ten in Mittel- und Osteuropa aufgrund einer lateralen Komponente bei der Verlagerung des Eisens weitaus komplexer und bisher weder kaum untersucht, noch in der Deutschen Bodensystematik berücksichtigt (Hering & Bauriegel, 2005; Jankowski, 2012). Bei den ru-befizierten Böden auf den rißzeitlichen Terrassen (Profile 117, 127, 210, 223 und 224) kann ein lateraler Transport gelösten Eisens aufgrund der geringen bzw. nicht vorhandenen Nei-gung der Oberfläche und wegen der dränenden Wirkung der liegenden und feimbodenar-men Schotter vernachlässigt bzw. ausgeschlossen werden.

#### **7.2.4 Lessivierung**

Die Verbindung mikromorphologischer Untersuchungen mit dem kombinierten Sieb- und Röntgenverfahren zur textuellen Differenzierung der Feimbodenfraktion mit der Subfraktionierung der Tonfraktion erlaubt eine weitergehende Untersuchung der Lessivierung. Die in den Illuvialhorizonten im Vergleich zu den hangenden Eluvialhorizonten kontinuierlich ansteigenden Feintongehalte belegen die Dominanz der Feintonfraktion gegenüber den grö-bereren Partikeln bei der Verlagerung (Profile 127, 175, 211, 231 und 232). Die maximalen Ge-halte an Feinton wurden ausschließlich in den Illuvialhorizonten vorgefunden, wobei die Feintongehalte in Profil 231 im Illuvialhorizont mit 20 % doppelt so hoch sind wie im Elu-vialhorizont. Ebenso sind die Gehalte an Mittelton im Illuvialhorizont von Profil 231 mit 12 % ebenso etwa doppelt so hoch wie im Eluvialhorizont mit 5 % bzw. 7 %. Die Anteile der Grobtonfraktion hingegen unterscheiden sich im Illuvialhorizont und im Eluvialhorizont mit je 8 % nicht. Der pH-Wert der Bodenlösung im Illuvialhorizont von Profil 231 liegt zwi-schen pH 4,5 und pH 5,0, die Toncutane in den Poren sind aufgrund des guten Zustands der Poren und der Cutane rezent bzw. jung. In Profil 232 hat die Bodenlösung im Illuvial-horizont teilweise einen pH-Wert von 4,0, die Toncutane in den Poren machen ebenfalls einen frischen Eindruck. Die koagulierend wirkenden Effekte um den pH-Wert 4 haben in den Profilen nach Auswertung der mikromorphologischen Befunde noch nicht eingesetzt.

Der Aufbau der mehrschichtigen Toncutane in den Profilen 190, 231 und 232 weist auf meh-rere Phasen der Tonverlagerung. Die Cutane bestehen meist aus gut sortierten Wechsellage-rungen mit größerer Textur und leuchtenden Toncutanen mit höheren Gehalten an Feinton. Die Wechsellagerungen belegen einerseits die wiederholte Lessivierung und die wiederhol-te Verfügbarkeit verlagerbaren Feintons. Die Lessivierung greift oft schichtübergreifend in das meist primärcarbonathaltige Liegende über (Profile 101, 117, 173, 174, 175, 210, 211, 223 und 231). Toncutane kleiden die von primärcarbonathaltigem Feimboden umgebenen Po-ren aus, die Carbonatgehalte des Feimbodens verhindern somit nicht grundsätzlich eine Toneinspülung bzw. den (Durch-)Transport der Tonsuspension. Die Cutane in den primär-carbonathaltigen Sedimenten sind aber oft schlechter sortiert (Profile 101, 197 und 230), was auf eine Kartenhausstruktur bei der Sedimentation der Tonplättchen weist (Keren & Sparks,

1995). Vor allem auf den rißzeitlichen Terrassen finden sich in den Lösungsporen randlich verwitterter Grobboden oft ausgeprägte Toncutane mit einem hohen Feintonanteil (Profil 223 und 224). Die Herauslösung des Zements hat die Infiltration der Tonsuspension in die Lösungsporen ermöglicht und der Gesteinsverbund schützt die Cutane vor Bioturbation.

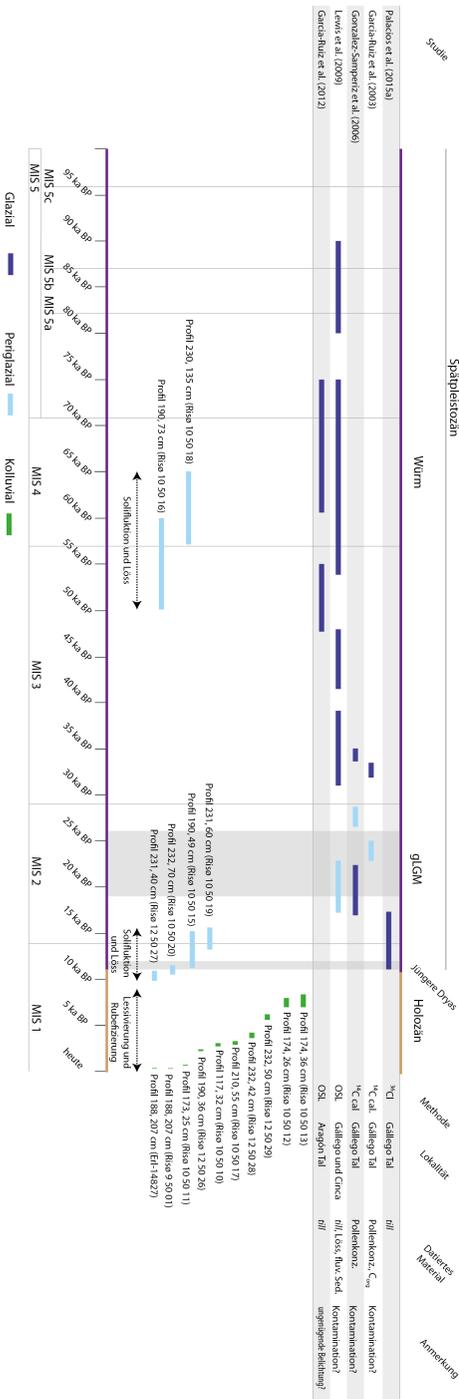
Wie die Experimente von Wright & Foss (1968) zeigen, ist Lessivierung ein zügiger Prozess, da bei einer ausreichenden Verfügbarkeit eines Transportmediums und konnektiver Poren mobilisierbare Partikel kontinuierlich verlagert werden. Wohl auch wegen der geringen Dauer wird die Tonverlagerung in einigen Studien als präholozäne Pedogenese betrachtet (van Vliet-Lanoë, 1990; Kühn, 2003a) bzw. ist Tonverlagerung auch unter periglazialen Bedingungen (Kubiëna, 1970) oder subglazial als rein sedimentologischer Prozess möglich (van der Meer, 1997; van der Meer & Menzies, 2011). Die vielfach beschriebene alleinig präholozäne Lessivierung auf gLGM-zeitlichen Sedimenten (van Vliet-Lanoë, 1990; Kühn, 2003b; Jäger & Kopp, 2004) konnte in den mikromorphologisch untersuchten Profilen aus den Pyrenäen nicht nachvollzogen werden. In den Hauptlagen mit Altern von 14,4 ka bis 10,6 ka konnten mikromorphologisch nur wenige Toncutanfragmente in direkter Umgebung von Röhren und Poren vorgefunden werden, wobei die Fragmentierung der Toncutane mit Bioturbation assoziiert wird. Eine kolluviale Prägung der Hauptlagen wird mangels *anorthic/disorthic nodules* ausgeschlossen, weswegen der Beginn der Lessivierung frühestens nach dem Sedimentationsalter der Hauptlagen zwischen 14,4 ka und 10,6 ka anzusetzen ist.

Die in den Parabraunerden vorgefundenen mehrschichtigen (Ton-)Cutane deuten auf wiederholte Phasen der Lessivierung und demnach auf die wiederholte Bereitstellung verlagerbaren Materials. Verwitterung bzw. Verlehmung sind demnach als Voraussetzung für eine wiederholte Lessivierung anzusehen. Die mit der Verbraunung bzw. Rubefizierung einhergehende Lessivierung ist für mediterrane Böden beschrieben (Sandler et al., 2015), aber wie eine rezente Rubefizierung ebenfalls noch nicht in die Deutsche Bodensystematik aufgenommen worden. Nach der Deutschen Bodensystematik sind Verwitterung und Lessivierung zwar keine zueinander exklusiven Prozesse und werden als Bvt- bzw. Btv-Horizonte in der Deutschen Bodensystematik geführt. Unter Berücksichtigung, dass die partikuläre Verlagerung von Substrat als Suspension auch als subglazialer Prozess in Sedimenten stattfindet (van der Meer, 1997; van der Meer & Menzies, 2011), erscheint aber nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit die Überprüfung der Prozessdynamik der Lessivierung zur Abgrenzung von der sedimentären Verlagerung angebracht. Verlehmung zur Produktion verlagerbarer Partikel ist für Lessivierung neben Transportraum, Transportmedium und Transportgradienten eine Voraussetzung für die horizontprägende Bodenentwicklung.

## 7.3 Chronologie der Landschaftsentwicklung

### 7.3.1 Pleistozäne Landschaftsentwicklung

Eine Rekonstruktion der Landschaftsentwicklung für die Mindel- und Rißeiszeit ist aufgrund der unsicheren chronologischen Zuordnung der glazialen Formen und der nicht erhaltenen bzw. nicht ausgebildeten Paläoböden auf den glazialen und fluvialen Formen nur eingeschränkt möglich. Für den Beginn des Spätpleistozäns konnten in der vorliegenden Arbeit zwar keine Absolutdatierungen durchgeführt werden, anhand der Stratigrafie und der Bodenentwicklung kann zumindest anhand der Terrassen aber eine grobe Ableitung bezüglich der Landschaftsentwicklung getroffen werden (Beilage 2). Auf den rißzeitlichen Terrassen sind ausgeprägte rufefizierte Parabraunerden in Löss ausgebildet (Profile 117, 127, 206, 223 und 224) und die Illuvialhorizonte greifen teilweise mehrere Meter in die liegenden Schotter über. Im Aragón-Tal ist im Kulminationsbereich der rißzeitlichen Seitenmoräne ebenfalls eine Parabraunerde in einem skelettführenden Substrat entwickelt (Profil 190, III fBt). Der im Vergleich zum liegenden *till* geringere Grobbodenanteil des skelettführenden Substrats wird auf den äolischen Eintrag von Substrat in Form von Löss zurückgeführt. Die Lössanwehung auf den rißzeitlichen Terrassen und der rißzeitlichen Seitenmoräne werden chronologisch mit dem Ende der Rißeiszeit assoziiert. Die Entwicklung der Parabraunerden im rißzeitlichen Löss bzw. in den lösshaltigen Sedimenten ist in das Eem zu stellen. Mikromorphologisch vorgefundene Pedorelikte im eemzeitlichen Illuvialhorizont des Lösses auf den Terrassen (Profil 224) und der rißzeitlichen Seitenmoräne im Aragón-Tal (Profil 190) weisen auf eine Durchmischung, die auf eine wärmzeitliche Kryoturbation zurückgeführt wird. Der von Lössanwehung und Kryoturbation geformte III Bt in Profil 190 hat ein OSL-Alter von  $55 \pm 5$  ka (Risø-Nr. 105016, Abb. 454 und Beilage 2), die periglazialen Merkmale wie Schluffhauben, Eintrag äolischen Materials und Turbation pedogen vorgeprägten Materials weisen zusammen mit dem OSL-Alter auf die charakteristischen Merkmale einer Mittellage (Müller & Thiemeyer, 2012; Huber, 2014). Periglaziale Bedingungen in Form von Lössanwehung werden ebenfalls um  $61 \pm 4$  ka (Risø-Nr. 105018, Profil 230) am Ufer des Gállego vorgefunden. Dies entspricht chronologisch, innerhalb der Fehlerspannweiten, den in der direkten Umgebung ebenfalls mittels OSL auf  $66 \pm 4$  ka datierten glazifluvialen Sedimenten (Lewis et al., 2009). Der Löss in Profil 230 hängt über fluvialen Schottern und ist unter einem grobbodenreichen Sediment aus parautochthonem plattigem Schutt fossilisiert. Die Bodenentwicklung im Löss von Profil 230 ist nur schwach ausgeprägt, der Löss ist primärcarbonathaltig, Sekundärcarbonat ist in Form von Lösskindl ausgebildet und Schluffcutane säumen die Poren. Über dem Löss in Profil 230 hängt eine Basislage aus solifluidal verlagertem parautochthonem Schutt, was auf periglaziale Bedingungen nach der Lössanwehung weist.



**Abbildung 454:** Chronologische Einordnung der Befunde in die Landschaftsentwicklung (s. a. Tab. 2 und Beilage 2): MIS nach Listekci und Raymo (2005), GLGM nach Clark et al. (2009), Jüngere Dryas nach Litt et al. (2007) und Brauer et al. (2008) und Holozän nach Walker et al. (2009); Angabe der Alter über die gesamte angegebene Fehlerspannweite

Die Bodenentwicklung auf der mittels OSL an *till* um  $36 \pm 2$  ka (Peña et al., 2004; Lewis et al., 2009) datierten Endmoräne bei Senegüé unterscheidet sich mit den schwach ausgeprägten Pararendzinen (Profile 107 und 108) markant von den carbonatfreien Braunerden (Profile 162 und 164) auf der mit  $68 \pm 7$  ka (García-Ruiz et al., 2012) datierten dritten Endmoräne im Aragón-Tal (Beilage 1). Auf der vierten Endmoräne im Aragón-Tal, die mittels OSL an *till* auf  $51 \pm 5$  ka datiert ist (García-Ruiz et al., 2012), sind ebenfalls wieder schwach ausgeprägte Pararendzinen ausgebildet (Profile 140 & 141). Die nur relativ geringe Bodenentwicklung auf der Endmoräne im Gállego-Tal und auf der nördlichen Endmoräne im Aragón-Tal wird auf eine erosive Profilverkürzung zurückgeführt, weswegen der pedochronologische Ansatz auf den Endmoränen nicht angewandt werden konnte.

Hingegen werden im pleistozänen Extraglazialraum und auf den Seitenmoränen mit den Profilen 175 und 232 im Gállego-Tal und den Profilen 190 und 231 im Aragón-Tal die Schichtenfolgen im Hangenden oft von einer grobbodenarmen Schicht abgeschlossen, die aufgrund der hohen Anteile an Feinsand und Grobschluff als Löss bzw. Lössbeimengung interpretiert wird. Das aufgrund solifluidaler Merkmale (Profil 175) als Hauptlage identifizierte Sediment konnte mittels OSL in Profil 231 mit  $10,6 \pm 0,8$  ka und  $14,4 \pm 1,2$  ka (Risø-Nr. 125027 und 105019, Tab. 2), in Profil 190 mit  $13 \pm 2$  ka (Risø-Nr. 105015, Tab. 2) und in Profil 232 mit  $11,4 \pm 0,7$  ka (Risø-Nr. 105020, Tab. 2) datiert werden. Chronologischen Untersuchungen zur Genese der Hauptlagen auf Basis von OSL-Datierungen liefern häufig eine breite Spannweite. Während die Hauptlagen in den Rocky Mountains und im Bayerischen Wald vor der Jüngeren Dryas gebildet wurden (Huber, 2014), sind die Hauptlagen im Taunus während bzw. nach der Jüngeren Dryas entstanden (Hülle et al., 2009). Offen bleibt, ob die Altersdifferenzen einerseits alleine regionalen Unterschieden geschuldet oder methodisch bedingt sind. Die Spannweite der OSL-Alter mit etwa 10 % und der Einfluss des Wassergehalts bei der Berechnung der OSL-Alter erschweren die Vergleichbarkeit der Untersuchungen verschiedener Standorte (Fuchs & Owen, 2008). Die in Profil 231 innerhalb von 20 cm mit  $10,6 \pm 0,8$  ka und  $14,4 \pm 1,2$  ka (Risø-Nr. 125027 und 105019, Tab. 2) deutlich voneinander abweichenden Alter der Hauptlage werden auf pedogen verursachte Unterschiede in den Wassergehalten interpretiert, da weder bei der Profilaufnahme noch bei der Korngrößenanalyse und den mikromorphologischen Untersuchungen ein Schichtwechsel identifiziert werden konnte. Hingegen weisen die mikromorphologischen Untersuchungen mit Rostflecken auf das Vorhandensein von Haft- bzw. Stauwasser, was auf die im Profil mit der Tiefe zunehmenden Tongehalte aufgrund der Lessivierung zurückgeführt wird. Bei den mikromorphologischen Untersuchungen wurden keine Pedorelikte in den Hauptlagen vorgefunden (Profil 190, 231 und 232), die Hauptlagen im Untersuchungsgebiet sind analog zu den Befunden aus Mitteleuropa (Raab et al., 2007) als periglaziales Sediment aus nicht pedogen vorgeprägten Substraten entwickelt. Dies steht im deutlichen Gegensatz zu den

mikromorphologischen Befunden aus den zu Profil 175 nur wenige Hundert Meter entfernten Profilen 173 und 174. Die hangparallele Einregelung des Grobbodens der hangenden Schicht in Profil 175 weist auf eine kollektive Bewegung des Sediments, die damit eher einer solifluidalen als einer kolluvialen Fazies zuzuordnen ist. Zu berücksichtigen ist, dass in Profil 173 die OSL-Datierungen 25 cm unter GOK ein Alter von 0,85 ka liefern und in Profil 174 26 cm und 36 cm unter GOK die OSL-Alter 7,3 ka bzw. 7,8 ka betragen. Die mikromorphologischen Untersuchungen belegen für das hangende Sediment sowohl in Profil 173 als auch in Profil 174 die Präsenz von Pedorelikten und weisen damit auf eine kleinräumige Geomorphodynamik während des Holozäns, die nicht zwingend mit anthropogenem Einfluss korreliert.

Aus den chronologischen und mikromorphologischen Befunden der Hauptlagen kann gefolgert werden, dass die Lessivierung auf den spätglazialen *tills* im Untersuchungsgebiet nicht vor Beginn der Hauptlagengenese begonnen hat. Das Sedimentationsalter der würmzeitlichen *tills* im Gállego- und Aragón-Tal mit  $36 \pm 2$  ka bis  $85 \pm 5$  ka (Peña et al., 2003; Lewis et al., 2009; García-Ruiz et al., 2012) und damit die zum gLGM asynchrone Vereisung der spanischen Zentralpyrenäen wird aufgrund der vorliegenden Befunde als deutlich zu alt eingestuft. Die von Peña et al. (2003) und Lewis et al. (2009) publizierten OSL-Alter weisen in den Doppelbestimmungen für die Endmoräne bei Aurín sowie den beiden direkt südlich von Sabiñánigo gelegenen 10–18-m- und 50-m-Terrassen massive Abweichungen auf (Beilage 1 und Abb. 19). Trotz dieser offenkundigen Probleme bei der Altersbestimmung postulieren die Autoren eine asynchrone würmzeitliche Vereisung in den spanischen Zentralpyrenäen. Die von Lewis et al. (2009) zur Absicherung der OSL-Alter anhand der Ausprägung der Bodenentwicklung entlang des Gállegos abgeleitete Pedochronologie an den glazialen und fluvialen Sedimenten berücksichtigt weder eine erosive Profilverkürzung noch die pedochemischen und morphologischen Eigenschaften der Sedimentkomplexe. Aufgrund der chronologischen und morphologischen Befunden zu den Hauptlagen aus der vorliegenden Arbeit und den in den anderen Studien publizierten Altern, die mittels ungeeigneter Datierungsmethoden bei ungenügender Belichtung zu hohe Werte liefern (Fuchs & Owen, 2008), aber dennoch zur Datierung der *tills* und fluvialen Sedimente verwendet wurden (García-Ruiz et al., 2003; Peña et al., 2003; Lewis et al., 2009; García-Ruiz et al., 2012), sind die bisher publizierten OSL-Alter der *tills* und der fluvialen Sedimente als nicht zutreffend einzuschätzen. Mithin fehlt auch der Beleg für die asynchrone Vereisung in den spanischen Zentralpyrenäen. Ebenso sind die Interpretationen bezüglich der asynchronen Vereisungen aus den diskontinuierlichen Seesedimenten im nördlichen Gállego-Tal (García-Ruiz et al., 2003; Gonzalez-Samperiz et al., 2006) aufgrund eines möglichen Überfahrens des Archivs durch einen gLGM-zeitlichen Gletschervorstoß als fraglich zu bewerten (Pallàs et al., 2006). Eine gLGM-synchrone Vereisung im Gállego- und Aragón-Tal, wie mehrfach entlang der

Pyrenäen mittels Oberflächendatierungen an glazialen Erratika festgestellt (Pallàs et al., 2006; Delmas et al., 2008; Pallàs et al., 2010; Delmas et al., 2011; Palacios et al., 2015b), wird gestützt von aktuellen Belegen zur Glazialdynamik um 17 ka im nördlichen Gállego-Tal (Palacios et al., 2015a) und bestätigt die Befunde der vorliegenden Arbeit zur periglazialen Landschaftsentwicklung um 14 ka.

### 7.3.2 Holozäne Landschaftsentwicklung

Durch Bodenerosion verkürzte Profile und hangabwärts befindliche korrelierte Sedimente der Bodenerosion weisen auf eine markante Umgestaltung der Landschaft im Holozän. Profil 174 fällt mit den sedimentären Umlagerungsphasen um  $7,3 \pm 0,5$  ka und  $7,8 \pm 0,7$  ka in den ab 7 ka nachgewiesenen Zeitraum zunehmender Aridität auf der Iberischen Halbinsel (Pérez-Obiol et al., 2011). Im Gállego-Tal nördlich von Biescas geht diese Phase einher mit einer kompletten Abnahme der seit Beginn des Holozäns bis 7,7 ka häufig auftretenden Waldbrände (Gil-Romera et al., 2014). Bemerkenswert ist, dass die Phase der frühholozänen Waldbrände im nördlichen Gállego-Tal um 7,7 ka mit der höchsten Frequenz der Waldbrände abrupt endet. Getreideanbau ist anhand palynologischer Untersuchungen bereits vor 7 ka in den östlichen Pyrenäen belegt (Caruso Ferme & Piqué i Huerta, 2014). Aufgrund der Position des Profils 174 am ostexponierten und  $20^\circ$  geneigten Mittelhang kann eine ackerbauliche Nutzung als Ursache für eine kolluviale Überprägung nicht ausgeschlossen werden. Seit dem Mittelalter wurden im Untersuchungsgebiet wegen des steigenden Bevölkerungsdrucks Terrassierungen an den Hängen angelegt (Nelson, 1978). Für die frühe Phase der Landnutzung sind aber für die Nutzung zugänglichere und für Ackerbau geeignetere Flächen wie die von Löss bedeckten flusssnahen Terrassen zu erwarten. Die Genese des Kolluviums in Profil 174 wird demnach eher auf die im Frühholozän häufig auftretenden Waldbrände als auf eine ackerbauliche Nutzung des Mittelhangs zurückgeführt.

Die Alter der Kolluvien in Profil 232 mit  $4,2 \pm 0,2$  ka und  $5,8 \pm 0,3$  ka und in den Profilen 117, 190 und 210 von 2,3 ka bis 3,0 ka deuten zeitlich auf eine ackerbauliche Ursache. Ab 6,5 ka bis 2,2 ka weisen in den westlichen Pyrenäen palynologische Untersuchungen mit der kontinuierlichen Abnahme der Baumpollen zugunsten der Zunahme von Getreidepollen auf eine Ausweitung des Ackerbaus (Pérez-Díaz et al., 2014). Ab 5,5 ka wird in den östlichen Pyrenäen Feuer zur Rodung und Freihaltung von Weideflächen großflächig eingesetzt (Ejarque et al., 2010; Bal et al., 2011; Kaal et al., 2013). Die Lage der Profil 117, 190 und 210 stützt die anthropogen induzierte Genese der Kolluvien. Profile 117 und Profil 210 befinden sich auf lössbedeckten Flussterrassen, Profil 190 befindet sich auf dem breiten und nach Süden exponierten Scheitel der Seitenmoräne oberhalb eines Bachlaufs. Für das Kolluvium in Profil 232 im  $22^\circ$  geneigten und ostexponierten Mittelhang ist aufgrund der Lage eine ackerbauliche Nutzung als Ursache eher zu vernachlässigen.

Die jüngsten Kolluvien in Profil 173 mit OSL-Altern von  $0,85 \pm 0,05$  ka und in Profil 188 mit  $0,31 \pm 0,03$  ka und einer parallel dazu datierten Holzkohle mit 257–31 cal BP werden mit der intensiven Landnutzung seit dem Beginn des Mittelalters assoziiert (Cunill et al., 2012). Das 2,2 m mächtige Kolluvium in Profil 188 weist in Verbindung mit Kolluvien in den Profilen 186 und 185 und zusammen mit dem oberflächlich anstehenden Kalksandstein oberhalb der Profile auf eine intensive Umgestaltung der Landschaft. Die im Mittelalter für den Getreideanbau angelegten Terrassierungen an den Steilhängen ermöglichen bei einer kontinuierlichen Instandhaltung einen Schutz vor Erosion. Bei Aufgabe der Flächen bzw. unzureichender Wartung der Mauern, wie dies in der Mitte des 20. Jahrhunderts aufgrund der Landflucht in den spanischen Zentralpyrenäen geschah, verursachen Erosionsereignisse eine markante Sedimentverlagerung. Die im Mittelalter für die spanischen Zentralpyrenäen beschriebenen Bevölkerungsrückgänge sind als mögliche Ursache für die kolluviale Gestaltung der Hänge wie in Profil 173 oder Profil 188 ebenfalls in Betracht zu ziehen. Die rezente Weidenutzung auf dem Schichtkamm bei Transekt 7 mit den Kolluvien in Profil 221 und Profil 222 am Hangfuß des nur spärlich bewachsenen und zerrunten Schichtkamms weist auf die erosive Wirkung der Weidenutzung auf dem Flysch. Die für das Gállego-Tal und Aragón-Tal beschriebene intensive Beweidung mittels Transhumanz seit dem 11. Jahrhundert, bei der auch die Hochlagen weidewirtschaftlich mittels Brandrodung erschlossen wurden (O’Flanagan et al., 2011), wird als Ursache für die jüngste Erosionsphase gewertet, die mit den in das Mittelalter datierten Profilen 173 und 188 zu finden ist. Die meist nur schwach ausgeprägte Bodenentwicklung auf den Moränen und den periglazial geprägten Hängen steht im deutlichen Kontrast zum pleistozänen Alter des Reliefs. Vor allem die bis in den Oberboden noch primärcarbonathaltigen Böden werden als Ergebnis der durch beweidungsinduzierte Erosion verursachten Profilverkürzung gewertet. Ebenso werden die mächtigen Kolluvien entlang von Transekt 1 mit Profil 194 und Profil 195 und die Profile 227, 229, 226 und 225 entlang Transekt 5 mit der jüngsten Erosionsphase assoziiert.

## 8 Schlussfolgerungen

Aus den sedimentologischen und bodenkundlichen Untersuchungen lassen sich für die spätquartäre Landschaftsentwicklung in den spanischen Zentralpyrenäen folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Solifluidal geprägte Sedimente und Löss weisen auf periglaziale Bedingungen während des Pleistozäns. Lössfreie Basislagen konnten nur im pleistozänen Extraglazialraum nachgewiesen werden, lösshaltige Hauptlagen sind auf den Ablagerungen des würmzeitlichen Gletschers vorhanden. Mittellagen finden sich über rißzeitlichen Glazialsedimenten (Profil 190) und im pleistozänen Extraglazialraum (Profile 110, 111, 206 und 224). Auf würmzeitlichem *till* wurden keine Mittellagen gefunden.
- Die Entstehung der parautochthonen schuttreichen Straten auf den Glacis wird auf solifluidale Prozesse im Sinne einer Basislagengenese zurückgeführt, was die Befunde von Luzón et al. (2012) hinsichtlich der Präsenz von Permafrost im Spätpleistozän im südlichen Pyrenäenvorland bestätigen. Die Südgrenze des Periglazialraums in Südwesteuropa reicht damit weiter nach Süden als angenommen (Vandenberghé et al., 2014).
- Die einzige datierte Mittellage hat ein OSL-Alter von  $55 \pm 5$  ka (Profil 190 III fBt, Risø-Nr. 105016). Mikromorphologische Untersuchungen belegen, dass die Mittellage Pedorelikte eines von Lessivierung und Verbraunung geprägten Bodens enthält (Profile 190 und 224). Die Genese der Mittellage wird auf Kryoturbation zurückgeführt, die Sedimentation von Löss über glazifluvialen Schottern um  $61 \pm 4$  ka (Risø-Nr. 105010, Profil 230) weist ebenfalls auf periglaziale Bedingungen.
- Hauptlagen auf den glazialen Sedimenten haben ein OSL-Alter von  $14,4 \pm 1,2$  ka (Profil 231, Risø-Nr. 105019),  $13 \pm 2$  ka (Profil 190, Risø-Nr. 105015),  $11,4 \pm 0,7$  (Profil 232, Risø-Nr. 105020) und  $10,6 \pm 0,8$  ka (Profil 231, Risø-Nr. 125027). Das Skelett der Hauptlage ist aufgrund von Solifluktion hangparallel eingeregelt, was ein differenzierendes Merkmal gegenüber dem liegenden *till* ist, in dem die Klasten parallel zur pleistozänen Gletscherfließrichtung, d. h. senkrecht zur Hangrichtung orientiert sind (Profil 175).

- Der Löss Im Untersuchungsgebiet hat, ähnlich wie am Unterlauf des Gállego (Luzón et al., 2012), einen hohen Anteil an Grobschluff und Feinsand. Die Verlagerung des Substrats mittels Ausblasung ist aufgrund der Textur nur lokal und auf die Täler mit Vergletscherungen im Oberlauf beschränkt. Die Transportreichweite des Lösses in den pleistozänen Extraglazialraum hinein beträgt innerhalb der vergletscherten Täler aufgrund der Textur des Lösses und des Reliefs der Täler von der Talmitte aus nur bis zu 500 m in horizontaler Richtung. Aufgrund des meist hohen Tongehalts in den Lössen ist eine Verlagerung des Tons als Pseudoschluff oder Pseudosand anzunehmen.
- In den Hauptlagen konnten mittels Mikromorphologie keine aufgearbeiteten oder vererbten Pedorelikte nachgewiesen werden. Die Bodenentwicklung hat in den Hauptlagen in pedogen nicht vorgeprägten Substraten stattgefunden. Aufgrund der o. g. geomorphologischen, sedimentologischen und pedologischen Befunde sowie unter Berücksichtigung des OSL-Alters der direkt über glazialen Sedimenten hangenden Hauptlagen von 14,4 ka bis 10,6 ka ist eine gLGM-asyncrone Vereisung (García-Ruiz et al., 2003) um 35 ka im Aragón-Tal und Gállego-Tal abzulehnen.
- Die Zuordnung der Endmoränen im Aragón- und Gállego-Tal zu Vergletscherungsphasen bleibt weiterhin unsicher. Aufgrund der massiven Bodenerosion auf den verschiedenen Endmoränen konnte der pedochronologische Ansatz nicht erfolgreich angewendet werden. Die inkonsistenten und widersprüchlichen OSL-Datierungen an den *tills* (Peña et al., 2003; Lewis et al., 2009; García-Ruiz et al., 2012) sollten aber nicht weiter als Beleg für eine asynchrone Vergletscherung verwendet werden. Zwar stellen die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten chronologischen und stratigraphischen Befunde der über den *tills* hangenden Hauptlagen nur einen indirekten Beleg für eine gLGM-synchrone Vereisung in den spanischen Zentralpyrenäen dar, die hier erarbeiteten Ergebnisse zur spätpleistozänen Glazialchronologie sind aber konsistent mit den Befunden aus den östlichen Pyrenäen (Calvet et al., 2011) oder Mitteleuropa (Raab et al., 2007). Eine abschließende Klärung der chronologischen Zuordnung der Moränen kann zukünftig, analog zu den östlichen Pyrenäen, durch die Datierung glazialer Erratika auf den Seitenmoränenzügen mittels Oberflächendatierungen erfolgen.
- Belege für historische und prähistorische Bodenerosion in Form von Kolluvien sind im Untersuchungsgebiet mit dem kleinräumigen Bodenmosaik, den tief entwickelten Parabraunerden (u. a. Profile 127, 224 und 231) und bis in den Oberboden primär-carbonathaltigen Pararendzinen (u. a. Profile 107, 108, 128 und 209) sowie dem meist mehrschichtigen Aufbau der mächtigen Sedimentkomplexe im Unterhang vielfach

vorhanden. Während die Erosionsphasen um  $7,8 \pm 0,7$  ka und  $7,3 \pm 0,5$  ka (Risø-Nr. 105012 und 105013, Profil 174) sowie um  $5,8 \pm 0,3$  ka und  $4,2 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 125028 und 125029, Profil 232) auf natürliche Prozesse zurückgeführt werden, fallen die Kolluvien um  $3,0 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 105017, Profil 210),  $2,82 \pm 0,18$  ka (Risø-Nr. 105010, Profil 117) und  $2,3 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 125026, Profil 190) in die für die Pyrenäen beschriebene Zeit der frühen ackerbaulichen Nutzung. Eine junge Erosionsphase um  $0,85 \pm 0,05$  ka (Risø-Nr. 105011, Profil 173) und  $0,31 \pm 0,03$  ka (Risø-Nr. 95001, Profil 188) wird mit der seit dem Mittelalter bis Anfang des 20. Jahrhunderts betriebenen intensiven Beweidung im Rahmen der Transhumanz assoziiert.

- In den carbonatfreien Böden auf den rißzeitlichen und wärmzeitlichen Sedimenten dominieren Lessivierung und Verbraunung bzw. Rubefizierung. Letztere ist im Untersuchungsgebiet auf den Terrassen am deutlichsten ausgeprägt (Profile 117, 127 und 224) und nimmt mit der zunehmenden Höhenlage der Standorte ab. Eine präferenzielle Verlagerung von silikatisch gebundenem Eisen oder Goethit/Hämatit bei der Lessivierung konnte nicht festgestellt werden, vielmehr laufen Verbraunung und Verlehmung nebeneinander ab.
- Die in der Deutschen Bodensystematik auf den Untersuchungen von Kubiëna (1956) basierenden Interpretationen der mit tropischen oder mediterranen Klimabedingungen in Verbindung gebrachten Rubefizierung und Genese der Terra Rossa bedürfen einer Überprüfung bzw. Anpassung an die aktuellen Befunde. Aufgrund des Vorkommens ähnlich rubefizierter Böden auf spätpleistozänen Sedimenten in den spanischen Zentralpyrenäen und im nordeuropäischen Tiefland ist eine holozäne Rubefizierung zwar bekannt, bleibt aber bisher in der Deutschen Bodensystematik unberücksichtigt.
- Die mit dem kombinierten Verfahren aus Nasssiebung und Röntgenabsorption textuelle Differenzierung der Tonfraktion erlaubt eine genauere Kennzeichnung der Tonverlagerung in den Profilen. In den Parabraunerden werden bei der Lessivierung hauptsächlich Feinton und bedingt Mittelton verlagert (Profile 117, 127, 174, 175, 211, 220 und 231). Der Grobton wird bei der Lessivierung kaum verlagert. Die mikromorphologisch vorgefundenen Schluffcutane können durch sehr lokale Verlagerungsvorgänge innerhalb der Horizonte erklärt werden.
- Die Illuvialhorizonte im Löss und den lösshaltigen Sedimenten greifen über die Schichtgrenzen in die liegenden und zumindest fleckenhaft primärcarbonathaltigen Sedimente. In der primärcarbonathaltigen Matrix kleiden Toncutane die Poren aus.

- Die pallisadenartig nebeneinander auskristallisierten sparitischen Calcitkristalle in den Calcitkrusten an der Unterseite der Steine (Profile 117 und 224) weisen auf die kryogene Bildung von Calcit aus calciumhydrogencarbonathaltigen Lösungen und sind damit ein Hinweis auf periglaziale Bedingungen.
- In den carbonathaltigen Böden ist der dominierende pedogene Prozess die Entcarbonatisierung, die Carbonatverlagerung ist deszendente. Sekundärcarbonat konnte mikromorphologisch sowohl in den carbonathaltigen Böden als auch in den carbonatfreien bzw. -armen Böden in Form von Rhizolithen und *calcified root cells* vorgefunden werden. Das Sekundärcarbonat in den carbonatfreien bzw. -armen Horizonten wird auf eine biogen verursachte aszendente Carbonatverlagerung zurückgeführt. Kristalle aus Calciumoxalat in lebenden und abgestorbenen Feinwurzeln belegen die biotische Komponente und nadelförmiger Calcit weist auf die Calcit ausfällung durch Pilze.
- In den carbonathaltigen Böden deuten Illite und Vermikulite auf eine Tonmineralneu- bzw. -umbildung, die mit Wechselwirkungen des Systems Pflanze-Boden assoziiert wird. Die Calcium(carbonat)dynamik in carbonatreichen und den vermeintlich entcarbonatisierten Böden sowie die Wechselwirkungen zwischen den Mineralen, Pflanzen(wurzeln), Pilzen und Bakterien sind bisher nur teilweise geklärt. Dieser Aspekt birgt zur Klärung paläopedologischer, pedogenetischer und ökologischer Fragestellungen vor allem mit Blick auf Isotopenanalysen von Kohlenstoff und Sauerstoff weiteres Forschungspotenzial.

## 9 Kurzfassung

Obwohl die pleistozänen Vereisungen bereits lange Gegenstand geowissenschaftlicher Forschung und die terrestrischen Archive für jüngere Glaziale besser erhalten sind als für ältere Glaziale, wird das jüngste Glazial bezüglich Ausmaß und Chronologie kontrovers diskutiert. Für die spanischen Zentralpyrenäen wird derzeit, wie auch für andere Vergletscherungsgebiete während des Spätpleistozäns, eine zum globalen letzten glazialen Maximum (gLGM) frühere und damit asynchrone Vereisung angenommen. Bemerkenswerterweise sind die Gletschervorstöße in den östlichen Pyrenäen ebenso wie die Vergletscherung der Alpen, der Britische Eisschild und der Skandinavische Eisschild synchron zum gLGM. Aufgrund der zeitlichen Differenz von 10 ka bis 30 ka vor dem gLGM ist in den spanischen Zentralpyrenäen eine im Vergleich zu den gLGM-zeitlich geprägten Vergletscherungsgebieten differenzierte Geomorphodynamik und Bodenbildung zu erwarten. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Darstellung der spätquartären Bodenentwicklung und Geomorphodynamik in zwei benachbarten Tälern der spanischen Zentralpyrenäen, die beide von gLGM-asynchronen Gletschervorstößen geprägt wurden. Die Untersuchungen wurden mittels einer Kombination sedimentologischer und bodenkundlicher Methoden durchgeführt, um neben der Identifikation der Sedimentfazies die pedogene Entwicklung darzustellen. Die chronologische Einordnung der Befunde erfolgte mittels 15 optisch stimulierter Lumineszenzdatierungen (OSL-Datierungen) und einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung.

Die Ergebnisse belegen eine prozessual sehr ähnliche Landschaftsentwicklung wie in den mitteleuropäischen Glazial- und Periglazialgebieten. Zwar konnten in der vorliegenden Arbeit keine rißzeitlichen Sedimente datiert werden, die intensive Lessivierung auf den als rißzeitlich beschriebenen lössbedeckten Terrassen wird aber auf die Entwicklung einer Parabraunerde während des letzten Interglazials zurückgeführt. Mit dem Würm beginnt sowohl im Glazialraum als auch im Extraglazialraum eine Phase aktiver Geomorphodynamik. Für den Periglazialbereich können Lössanwehung um  $61 \pm 4$  ka (Risø-Nr. 105018) und Solifluktion um  $55 \pm 5$  ka (Risø-Nr. 105016) nachgewiesen werden. Die über glazialen Sedimenten hangenden und von Solifluktion und Lösseintrag geprägten Hauptlagen wurden zwischen  $14,4 \pm 1,2$  ka (Risø-Nr. 105019) bis  $10,6 \pm 0,8$  ka (Risø-Nr. 125027) gebildet. In den rezent von Lessivierung gekennzeichneten Hauptlagen wurden bei den mikromorphologischen Untersuchungen keine Pedorelikte einer früheren Bodenbildung gefunden. Dies

weist unter Berücksichtigung der Altersdifferenz von etwa 20 ka zwischen den hier datierten Hauptlagen und dem bisher angenommenen Alter des letzten Gletschervorstoßes um 35 ka entweder auf eine markante Stabilität der Landschaft ohne jegliche Bodenentwicklung über einen Zeitraum von 20 ka oder auf eine massive Erosion vor 14,4 ka. Zwar konnte in der vorliegenden Arbeit der Zeitpunkt des lokalen letzten glazialen Maximums (ILGM) nicht direkt mittels Datierungen belegt bzw. widerlegt werden, da die mit dem ILGM assoziierten Sedimente und Reliefformen kein geeignetes Material zur Datierung enthielten. Aufgrund der methodisch problematischen OSL-Datierungen, auf denen die Asynchronitätstheorie basiert, muss die gLGM-asynchrone Chronologie der spanischen Zentralpyrenäen stark angezweifelt werden. Diese Schlussfolgerung wird untermauert durch die in der jüngsten Literatur mehrfach beschriebenen maximalen Gletschervorstöße in den östlichen Pyrenäen, die zum gLGM-synchrone Alter aufweisen, und in Anbetracht der Befunde aus der vorliegenden Arbeit.

Mit Ausnahme einzelner Erosionsereignisse um  $7,8 \pm 0,7$  ka (Risø-Nr. 105013) und  $5,8 \pm 0,3$  ka (Risø-Nr. 125029) sind aufgrund der mit dem Holozän abnehmenden Geomorphodynamik der Löss und die Hauptlagen von Lessivierung und Verbraunung bzw. Rubefizierung geprägt. Die ersten anthropogenen Eingriffe in die Bodenlandschaft sind ab  $3,0 \pm 0,2$  ka (Risø-Nr. 105017) erkennbar, diese Veränderungen sind aber auf Gunststandorte wie die mit Löss bedeckten Terrassen beschränkt. Ab  $0,85 \pm 0,05$  ka (Risø-Nr. 105011) erfolgt eine intensivere und großflächigere Reliefveränderung, die mit der mittelalterlichen Transhumanz assoziiert wird. Initiale Böden in oberflächlich anstehenden primärcarbonathaltigen Substraten und verkürzte Bodenprofile sowie korrele Sedimente der Bodenerosion belegen die weit verbreitete anthropogen verursachte Landschaftsentwicklung.

Die rezente Pedogenese ist in den teilweise carbonatfreien Substraten von Lessivierung und Verbraunung bzw. Rubefizierung gekennzeichnet. Die mikromorphologischen Untersuchungen und die Korngrößenanalysen belegen, dass bei der Lessivierung vor allem Feinton und zweitrangig Mittelton verlagert wird. Die Tonverlagerung greift in den Profilen über die Schichtgrenze in die liegenden primärcarbonathaltigen Substrate über. Die Tonverlagerung konnte mit dem hier verwendeten kombinierten Verfahren aus Nasssiebung und Röntgenabsorption, bei dem die Subfraktionen des Tons quantitativ erfasst werden, innerhalb der Profile dargestellt werden.

Die rötliche Bodenfarbe (2,5 YR und 5 YR) und die mikromorphologisch vorgefundenen kirschroten und rhomboedrischen oder traubigen Kristalle weisen auf die Präsenz von Hämatit. Vor allem in den über den fluvialen Sedimenten hangenden Lössen sind rubefizierte Böden entwickelt, die Rubefizierung ist im Untersuchungsgebiet auf den Terrassen am ausgeprägtesten und nimmt mit zunehmender Höhe der Standorte ab. Die Rubefizierung

findet auf den spätpleistozänen Sedimenten, ähnlich wie in Mitteleuropa, im Holozän statt. Die vorliegenden Befunde stellen die Aktualität der Deutschen Bodensystematik hinsichtlich der Rubefizierung und der Genese der Terra Rossa infrage.

Aufgrund primärcarbonathaltiger Ausgangssubstrate sind die Böden im Untersuchungsgebiet meist nur in den obersten Dezimetern entcarbonatisiert oder enthalten trotz der fortgeschrittenen Verbraunung oder Rubefizierung verschiedenartige Calcitkristalle. Während die Calcitkrusten an der Unterseite von Steinen wegen der pallisadenartigen Anordnung und der Morphologie der Calcitkristalle mit einer kryogen induzierten Ausfällung von Calcit aus calciumhydrogencarbonathaltigen Lösungen assoziiert werden, weisen Rhizolithe, *calcified root cells* und nadelförmiger Calcit auf eine biogene Carbonatdynamik. Kristalle aus Calciumoxalat in lebenden und abgestorbenen Feinwurzeln belegen ebenfalls die biotische Komponente und deuten mit den röntgendiffraktometrisch vorgefundenen Illiten und Vermikuliten auf die oft vernachlässigten Wechselwirkungen des Systems Pflanze-Boden. Der abiogenen und deszendente Carbonatverlagerung wirkt in den Böden im Untersuchungsgebiet eine biogene ascendente Carbonatverlagerung entgegen.

# Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 438 pp
- Adamson, K.R., Woodward, J.C., Hughes, P.D., 2014. Glacial crushing of limestone and the production of carbonate-rich silts in a Pleistocene glaciofluvial system: a potential source of loess in Southern Europe. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 96(3), 339-356.
- Adolphe, J.-P., 1972. Obtention d'encroûtements carbonatés par gel expérimental. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie D*, 274, 1139-1142.
- Aguilar, C., Liesa, M., Castineiras, P., Navidad, M., 2014. Late Variscan metamorphic and magmatic evolution in the eastern Pyrenees revealed by U-Pb age zircon dating. *Journal of the Geological Society*, 171(2), 181-192.
- Aguilar, J., Guardiola, J.L., Barahona, E., Dorronsoro, C., Santos, F., 1983. Clay illuviation in calcareous soils. In: P. Bullock, C.P. Murphy (Eds.), *Soil Micromorphology*. A B Academic Publisher, Rothamsted, pp. 541-550.
- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Reber, R., Kubik, P.W., Zahno, C., Schlüchter, C., 2014. Glacier response to the change in atmospheric circulation in the eastern Mediterranean during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Geochronology*, 19, 27-41.
- Alberti, A.P., Díaz, M.V., Martini, I.P., Pascucci, V., Andreucci, S., 2011. Upper Pleistocene glacial valley-junction sediments at Pias, Trevinca Mountains, NW Spain. *Geological Society, London, Special Publications*, 354(1), 93-110.
- Allison, M.J., Daniel, S.L., Cornick, N.A., 1995. Oxalate-degrading bacteria. In: S.R. Khan (Ed.), *Calcium oxalate in biological systems*. CRC, Boca Raton, pp. 131-168.
- Alonso, P., Sierra, C., Ortega, E., Dorronsoro, C., 1994. Soil development indices of soils developed on fluvial terraces (Penaranda de Bracamonte, Salamanca, Spain). *Catena*, 23(3-4), 295-308.
- Altemüller, H.J., Bailly, F., 1976. Mikromorphologische Untersuchungen an einer nordwestdeutschen Parabraunerde-Pseudogley-Sequenz aus Löss. *Geoderma*, 16, 327-343.
- Amundson, R., Graham, R.C., Franco-Vizcaino, E., 1997. Orientation of carbonate laminations in gravelly soils along a winter/summer precipitation gradient in Baja California, Mexico. *Soil Science*, 162(12), 940-952.

- Anderson, J.B., Shipp, S.S., Lowe, A.L., Wellner, J.S., Mosola, A.B., 2002. The Antarctic Ice Sheet during the Last Glacial Maximum and its subsequent retreat history: a review. *Quaternary Science Reviews*, 21(1-3), 49-70.
- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S., 2014. Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change*, 114, 50-65.
- Arenillas, M., Martínez, R., Martínez de Pison, E., Navarro, J., 1997. Los glaciares actuales y la nieve en el pirineo español. In: A. Gomez Ortiz, A. Perez Alberti (Eds.), *Las Huellas glaciares de las montañas españolas*. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, pp. 329-346.
- Armenteros, I., 2010. Diagenesis of carbonates in continental settings. In: A.M. Alonso-Zarza, L.H. Tanner (Eds.), *Carbonates in continental settings: geomchemistry, diagenesis and applications*. Developments in Sedimentology. Elsevier, Amsterdam, pp. 61-151.
- Arnott, H.J., Pautard, F.G.E., 1970. Calcification in plants. In: H. Schraer (Ed.), *Biological calcification; cellular and molecular aspects*. Appleton-Century-Crofts, New York, pp. 375-446.
- Arnott, H.J., 1982. Calcium Oxalate Weddellite Crystals in Forest Litter. *Scanning Electron Microscopy*(3), 1141-1150.
- Arnott, H.J., 1995. Calcium oxalate in fungi. In: S.R. Khan (Ed.), *Calcium oxalate in biological systems*. CRC, Boca Raton, pp. 73-111.
- Augustin, L., Barbante, C., Barnes, P.R.F., Barnola, J.M., Bigler, M., Castellano, E., Cattani, O., Chappellaz, J., Dahl Jensen, D., Delmonte, B., Dreyfus, G., Durand, G., Falourd, S., Fischer, H., Fluckiger, J., Hansson, M.E., Huybrechts, P., Jugie, R., Johnsen, S.J., Jouzel, J., Kaufmann, P., Kipfstuhl, J., Lambert, F., Lipenkov, V.Y., Littot, G.V.C., Longinelli, A., Lorrain, R., Maggi, V., Masson-Delmotte, V., Miller, H., Mulvaney, R., Oerlemans, J., Oerter, H., Orombelli, G., Parrenin, F., Peel, D.A., Petit, J.R., Raynaud, D., Ritz, C., Ruth, U., Schwander, J., Siegenthaler, U., Souchez, R., Stauffer, B., Steffensen, J.P., Stenni, B., Stocker, T.F., Tabacco, I.E., Udisti, R., van de Wal, R.S.W., van den Broeke, M., Weiss, J., Wilhelms, F., Winther, J.G., Wolff, E.W., Zucchelli, M., 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429(6992), 623-628.
- Badía, D., Martí, C., 1999. *Suelos del Pirineo Central: Fragen*. INIA, Huesca, 190 pp.
- Badía, D., Martí, C., Palacio, E., Sancho, C., Poch, R.M., 2009. Soil evolution over the Quaternary period in a semiarid climate (Segre river terraces, northeast Spain). *Catena*, 77(3), 165-174.

- Badorreck, A., Gerke, H.H., Hüttl, R.F., 2013. Morphology of physical soil crusts and infiltration patterns in an artificial catchment. *Soil and Tillage Research*, 129, 1-8.
- Bajnóczi, B., Kovacs-Kis, V., 2006. Origin of pedogenic needle-fiber calcite revealed by micromorphology and stable isotope composition - A case study of a Quaternary paleosol from Hungary. *Chemie der Erde - Geochemistry*, 66(3), 203-212.
- Bal, M.-C., Pelachs, A., Perez-Obiol, R., Julia, R., Cunill, R., 2011. Fire history and human activities during the last 3000 cal yr BP in Spain's Central Pyrenees: The case of the Estany de Burg. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 300(1-4), 179-190.
- Ballantyne, C.K., 2010. Extent and deglacial chronology of the last British-Irish Ice Sheet: implications of exposure dating using cosmogenic isotopes. *Journal of Quaternary Science*, 25(4), 515-534.
- Ballantyne, C.K., Benn, D.I., 1994. Paraglacial slope adjustment and re-sedimentation following recent glacier retreat, Fabergstolsdalen, Norway. *Arctic and Alpine Research*, 26(3), 255-269.
- Banfield, J.F., Eggleton, R.A., 1988. Transmission electron-microscope study of biotite weathering. *Clays and Clay Minerals*, 36(1), 47-60.
- Barré, P., Berger, G., Velde, B., 2009. How element translocation by plants may stabilize illitic clays in the surface of temperate soils. *Geoderma*, 151(1-2), 22-30.
- Barré, P., Velde, B., Catel, N., Abbadie, L., 2007. Soil-plant potassium transfer: impact of plant activity on clay minerals as seen from X-ray diffraction. *Plant and Soil*, 292(1-2), 137-146.
- Barrere, P., 1963. La periode glaciaire dans l'Ouest des Pyrenees centrales franco-espagnoles. *Bulletin De La Societe Geologique De France*, 5(4), 516-526.
- Barrere, P., 1966. La morphologie quaternaire dans la région de Biescas et de Sabinañigo (Haut - Aragon). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 3(2), 83-93.
- Barrere, P., 1975. Terrasses et glacis d'érosion en roches tendres dans les montagnes du Haut-Aragon. *Etudes Geographiques*, 1, 29-43.
- Barrio, G.D., Creus, J., Puigdefabregas, J., 1990. Thermal Seasonality of the High Mountain Belts of the Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10(3), 227-233.
- Barta, G., 2011. The Structure And Origin Of Loess Dolls - A Case Study From The Loess-Paleosol Sequence of Süttö, Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 4(1-4), 1-10.
- Bastida, J., Osácar, M.C., Sancho, C., Muñoz, A., 2013. Environmental changes during the Upper Pleistocene-Holocene in Mediterranean NE Spain as recorded by the mineralogy and geochemistry of alluvial records. *Quaternary International*, 302, 3-19.
- Bavec, M., Verbič, T., 2011. Glacial History of Slovenia. In: J. Ehlers, P.L. Gibbard, P.D. Hughes (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 385-392.

- Beckmann, T., 1997. Präparation bodenkundlicher Dünnschliffe für mikromorphologische Untersuchungen. In: K. Stahr (Ed.), *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* Stuttgart, pp. 89-105.
- Becze-Deák, J., Langohr, R., Verrecchia, E.P., 1997. Small scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma*, 76(3-4), 221-252.
- Ben Israel, M., Enzel, Y., Amit, R., Erel, Y., 2015. Provenance of the various grain-size fractions in the Negev loess and potential changes in major dust sources to the Eastern Mediterranean. *Quaternary Research*, 83(1), 105-115.
- Benedict, J.B., 1976. Frost Creep and Gelifluction Features - Review. *Quaternary Research*, 6(1), 55-76.
- Benito, G., Gutierrez, F., Perez-Gonzalez, A., Machado, M.J., 2000. Geomorphological and sedimentological features in Quaternary fluvial systems affected by solution-induced subsidence (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology*, 33(3-4), 209-224.
- Benito, G., Perez-Gonzalez, A., Gutierrez, F., Machado, M.J., 1998. River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution (Gallego River, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22(3-4), 243-263.
- Benito, G., Sancho, C., Pena, J.L., Machado, M.J., Rhodes, E.J., 2010. Large-scale karst subsidence and accelerated fluvial aggradation during MIS6 in NE Spain: climatic and paleohydrological implications. *Quaternary Science Reviews*, 29(19-20), 2694-2704.
- Benn, D.I., 2004. Macrofabric. In: D.J.A. Evans, D.I. Benn (Eds.), *A practical guide to the study of glacial sediments*. Hodder Education, London, pp. 93-114.
- Benn, D.I., Ballantyne, C.K., 1993. The description and representation of particle shape. *Earth Surface Processes & Landforms*, 18(7), 665.
- Benn, D.I., Ballantyne, C.K., 1994. Reconstructing the transport history of glacial sediments: a new approach based on the co-variance of clast form indices. *Sedimentary Geology*, 91(1-4), 215-227.
- Bennett, M.R., Waller, R.I., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Huddart, D., 1999. Glacial clast fabrics: genetic fingerprint or wishful thinking? *Journal of Quaternary Science*, 14(2), 125-135.
- Bertran, P., Allenet, G., Ge, T., Naughton, F., Poirier, P., Goni, M.F.S., 2009. Coversand and Pleistocene palaeosols in the Landes region, southwestern France. *Journal of Quaternary Science*, 24(3), 259-269.
- Bertran, P., Andrieux, E., Antoine, P., Coutard, S., Deschodt, L., Gardère, P., Hernandez, M., Legentil, C., Lenoble, A., Liard, M., Mercier, N., Moine, O., Sitzia, L., Van Vliet-Lanoë, B.,

2014. Distribution and chronology of Pleistocene permafrost features in France: Database and first results. *Boreas*, 43(3), 699-711.
- Bertran, P., Bateman, M.D., Hernandez, M., Mercier, N., Millet, D., Sitzia, L., Tastet, J.-P., 2011. Inland aeolian deposits of south-west France: facies, stratigraphy and chronology. *Journal of Quaternary Science*, 26(4), 374-388.
- Bertran, P., Hétu, B., Texier, J.-P., Van Steijn, H., 1997. Fabric characteristics of subaerial slope deposits. *Sedimentology*, 44(1), 1-16.
- Bertran, P., Sitzia, L., Banks, W.E., Bateman, M.D., Demars, P.Y., Hernandez, M., Lenoir, M., Mercier, N., Prodeo, F., 2013. The Landes de Gascogne (southwest France): periglacial desert and cultural frontier during the Palaeolithic. *Journal of Archaeological Science*, 40(5), 2274-2285.
- Bertran, P., Texier, J.-P., 1999. Facies and microfacies of slope deposits. *Catena*, 35(2-4), 99-121.
- Blume, H.P., 1964. Zum Mechanismus der Tonverlagerung, 8th International Congress of Soil Science, Bucharest, Romania, Bucharest, Romania, pp. 715-722.
- Blume, H.P., Schwertmann, U., 1969. Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. *Soil Science Society of America Journal*, 33(3), 438-444.
- Blume, H.P., Stahr, K., Leinweber, P., 2011. *Bodenkundliches Praktikum*. Springer, Heidelberg, 255 pp.
- Bockheim, J.G., 2010. Evolution of desert pavements and the vesicular layer in soils of the Transantarctic Mountains. *Geomorphology*, 118(3-4), 433-443.
- Boero, V., Premoli, A., Melis, P., Barberis, E., Arduino, E., 1992. Influence of Climate on the Iron-Oxide Mineralogy of Terra-Rossa. *Clays and Clay Minerals*, 40(1), 8-13.
- Boike, J., 1997. Thermal, hydrological and geochemical dynamics of the active layer at a continuous permafrost site, Taymyr Peninsula, Siberia. *Berichte zur Polarforschung*. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 104 pp.
- Boldt-Burisch, K., 2012. Einfluss des Wurzelwachstums dominanter Pionierpflanzenarten auf die Bodenentwicklung in der initialen Phase der Ökosystemgenese. *Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung*, 42, Cottbus, 128 pp.
- Bordonau, J., Vilaplana, J.M., Fontugne, M., 1993. The glaciolacustrine complex of Llestui (Central Southern Pyrenees): A key-locality for the chronology of the last glacial cycle in the Pyrenees *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii*, 316, 807-814.
- Borsato, A., Frisia, S., Jones, B., Van Der Borg, K., 2000. Calcite Moonmilk: Crystal Morphology and Environment of Formation in Caves in the Italian Alps. *Journal of Sedimentary Research*, 70(5), 1171-1182.

- Böse, M., Lüthgens, C., Lee, J.R., Rose, J., 2012. Quaternary glaciations of northern Europe. *Quaternary Science Reviews*, 44, 1-25.
- Braissant, O., Verrecchia, E.P., Aragno, M., 2002. Is the contribution of bacteria to terrestrial carbon budget greatly underestimated? *Naturwissenschaften*, 89(8), 366-370.
- Brauer, A., Haug, G.H., Dulski, P., Sigman, D.M., Negendank, J.F.W., 2008. An abrupt wind shift in western Europe at the onset of the Younger Dryas cold period. *Nature Geosci*, 1(8), 520-523.
- Bravo, D., Martin, G., David, M.M., Cailleau, G., Verrecchia, E., Junier, P., 2013. Identification of active oxalotrophic bacteria by Bromodeoxyuridine DNA labeling in a microcosm soil experiments. *Fems Microbiology Letters*, 348(2), 103-111.
- Bresson, L.M., 1974. A study of integrated microscopy: rubefaction under wet temperate climate in comparison with Mediterranean rubefaction. In: G.K. Rutherford (Ed.), *Soil Microscopy*. The Limestone Press, Kingston, pp. 526-541.
- Breuer, T., 1995. Spanien und Portugal auf dem Weg von der Agrar- zur Industriegesellschaft. *Geographische Rundschau*, 47(5), 266-276.
- Brewer, R., Haldane, A.D., 1957. Preliminary Experiments in the Development of Clay Orientation in Soils. *Soil Science*, 84(4), 301-310.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Mineralogical Society, London, 495 pp.
- Bronger, A., Bruhn-Lobin, N., 1997. Paleopedology of Terrae rossae Rhodoxerals from Quaternary calcarenites in NW Morocco. *Catena*, 28(3-4), 279-295.
- Bronger, A., Enslin, J., Kalk, E., 1984. Mineral Weathering, Clay Mineral Formation and Rubefication of Terrae Calcis in Slovakia - a Contribution to Paleoclimatic Evidence of Limestone Rotlehm (Terra Rossa) in Central-Europe. *Catena*, 11(2-3), 115-132.
- Bronger, A., Kalk, E., Schroeder, D., 1976. Über Glimmer- und Feldspatverwitterung sowie Entstehung und Umwandlung von Tonmineralen in rezenten und fossilen Lössböden. *Geoderma*, 16(1), 21-54.
- Bronk Ramsey, C., 2009. Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.
- Brookins, D.G., 1988. *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 176 pp.
- Brosche, K.-U., 1971. Neue Beobachtungen zu vorzeitlichen Periglazialerscheinungen im Ebrobecken. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 15, 107-114.
- Brosche, K.-U., 1978a. Beiträge zum rezenten und vorzeitlichen periglazialen Fromenschatz auf der Iberischen Halbinsel, 1. Selbstverlag des Geographischen Institutes der Freien Universität Berlin, Berlin, 287 pp.

- Brosche, K.-U., 1978b. Ergebnisse einer vergleichenden Studie zum rezenten und vorzeitlichen periglazialen Formenschatz auf der Iberischen Halbinsel. *Biuletyn peryglacialny*, 27, 53-103.
- Brümmer, G., 1973. Redoxreaktionen als merkmalsprägende Prozesse hydromorpher Böden. In: E. Schlichting, U. Schwertmann (Eds.), *Pseudogley & Gley*. Verlag Chemie, Weinheim, pp. 17-27.
- Bunting, B.T., 1977. The occurrence of vesicular structures in arctic and subarctic soils. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 21(1), 87-95.
- Burke, M.K., Raynal, D.J., 1994. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil*, 162(1), 135-146.
- Busche, D., 1973. Die Entstehung von Pedimenten und ihre Überformung, untersucht an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge, Republique du Tchad, Freie Universität Berlin, Berlin, 110 pp.
- Cailleau, G., Braissant, O., Dupraz, C., Aragno, M., Verrecchia, E.P., 2005. Biologically induced accumulations of CaCO<sub>3</sub> in orthox soils of Biga, Ivory Coast. *Catena*, 59(1), 1-17.
- Cailleau, G., Verrecchia, E.P., Braissant, O., Emmanuel, L., 2009. The biogenic origin of needle fibre calcite. *Sedimentology*, 56(6), 1858-1875.
- Calvet, M., Delmas, M., Gunnell, Y., Braucher, R., Bourle, D., 2011. Recent advances in research on quaternary glaciations in the Pyrenees. In: J. Ehlers, P.L. Gibbard, P.D. Hughes (Eds.), *Developments in Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam, pp. 127-139.
- Canti, M.G., 2003. Aspects of the chemical and microscopic characteristics of plant ashes found in archaeological soils. *Catena*, 54(3), 339-361.
- Carr, S.J., Holmes, R., van der Meer, J.J.M., Rose, J., 2006. The Last Glacial Maximum in the North Sea Basin: micromorphological evidence of extensive glaciation. *Journal of Quaternary Science*, 21(2), 131-153.
- Caruso Ferme, L., Piqué i Huerta, R., 2014. Landscape and forest exploitation at the ancient Neolithic site of La Draga (Banyoles, Spain). *The Holocene*, 24(3), 266-273.
- Chadwick, O.A., Sowers, J.M., Amundson, R.G., 1989. Morphology of Calcite Crystals in Clast Coatings from 4 Soils in the Mojave Desert Region. *Soil Science Society of America Journal*, 53(1), 211-219.
- Chocarro, C., Fanlo, R., Fillat, F., Marin, P., 1990. Historical Evolution of Natural Resource Use in the Central Pyrenees of Spain. *Mountain Research and Development*, 10(3), 257-265.
- Cilek, V., 2001. The loess deposits of the Bohemian Massif: silt provenance, palaeometeorology and loessification processes. *Quaternary International*, 76-77, 123-128.

- Çiner, A., Sarıkaya, M.A., Yıldırım, C., 2015. Late Pleistocene piedmont glaciations in the Eastern Mediterranean; insights from cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  dating of hummocky moraines in southern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 116, 44-56.
- Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A.M., 2009. The Last Glacial Maximum. *Science*, 325(5941), 710-714.
- Colesie, C., Gommeaux, M., Green, T.G.A., Büdel, B., 2014. Biological soil crusts in continental Antarctica: Garwood Valley, southern Victoria Land, and Diamond Hill, Darwin Mountains region. *Antarctic Science*, 26(02), 115-123.
- Corella, J., Moreno, A., Morellón, M., Rull, V., Giralt, S., Rico, M., Pérez-Sanz, A., Valero-Garcés, B., 2011. Climate and human impact on a meromictic lake during the last 6,000 years (Montcortès Lake, Central Pyrenees, Spain). *Journal of Paleolimnology*, 46(3), 351-367.
- Corella, J.P., Brauer, A., Mangili, C., Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Morellón, M., Valero-Garcés, B.L., 2012. The 1.5-ka varved record of Lake Montcortès (southern Pyrenees, NE Spain). *Quaternary Research*, 78(2), 323-332.
- Corte, A.E., 1966. Particle sorting by repeated freezing and thawing. *Biuletyn peryglacjalny*, 15, 175-240.
- Costantini, E.A.C., Priori, S., Urban, B., Hilgers, A., Sauer, D., Protano, G., Trombino, L., Hülle, D., Nannoni, F., 2009. Multidisciplinary characterization of the middle Holocene eolian deposits of the Elsa River basin (central Italy). *Quaternary International*, 209(1-2), 107-130.
- Courty, M.A., Marlin, C., Dever, L., Tremblay, P., Vachier, P., 1994. The Properties, Genesis And Environmental Significance Of Calcitic Pendants From The High Arctic (Spitsbergen). *Geoderma*, 61(1-2), 71-102.
- Coutard, J.P., Mùcher, H.J., 1985. Deformation of laminated silt loam due to repeated freezing and thawing cycles. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10(4), 309-319.
- Cromack, K., Sollins, P., Todd, R.L., Fogel, R., Todd, A.W., Fender, W.M., Crossley, M.E., Crossley, D.A., 1977. The Role of Oxalic Acid and Bicarbonate in Calcium Cycling by Fungi and Bacteria: Some Possible Implications for Soil Animals. *Ecological Bulletins*, 25, 246-252.
- Cuadrat, J.M., 2004. El Clima de Aragón. In: J.L. Pena, L.A. Longares, M. Sánchez (Eds.), *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 15-26.
- Cunill, R., Soriano, J.-M., Bal, M.-C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., 2012. Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: a pedoanthracological analysis. *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(4-5), 373-384.

- Cunill, R., Soriano, J.M., Bal, M.C., Pèlachs, A., Rodriguez, J.M., Pérez-Obiol, R., 2013. Holocene high-altitude vegetation dynamics in the Pyrenees: A pedoanthracology contribution to an interdisciplinary approach. *Quaternary International*, 289, 60-70.
- Czerzatzki, W., 1956. Zur Wirkung des Frostes auf die Struktur des Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 72(1), 15-32.
- Dahl-Jensen, D., Albert, M.R., Aldahan, A., Azuma, N., Balslev-Clausen, D., Baumgartner, M., Berggren, A.M., Bigler, M., Binder, T., Blunier, T., Bourgeois, J.C., Brook, E.J., Buchardt, S.L., Buizert, C., Capron, E., Chappellaz, J., Chung, J., Clausen, H.B., Cvijanovic, I., Davies, S.M., Ditlevsen, P., Eicher, O., Fischer, H., Fisher, D.A., Fleet, L.G., Gfeller, G., Gkinis, V., Gogineni, S., Goto-Azuma, K., Grinsted, A., Gudlaugsdottir, H., Guillevic, M., Hansen, S.B., Hansson, M., Hirabayashi, M., Hong, S., Hur, S.D., Huybrechts, P., Hvidberg, C.S., Izuka, Y., Jenk, T., Johnsen, S.J., Jones, T.R., Jouzel, J., Karlsson, N.B., Kawamura, K., Keegan, K., Kettner, E., Kipfstuhl, S., Kjaer, H.A., Koutnik, M., Kuramoto, T., Kohler, P., Laepple, T., Landais, A., Langen, P.L., Larsen, L.B., Leuenberger, D., Leuenberger, M., Leuschen, C., Li, J., Lipenkov, V., Martinerie, P., Maselli, O.J., Masson-Delmotte, V., McConnell, J.R., Miller, H., Mini, O., Miyamoto, A., Montagnat-Rentier, M., Mulvaney, R., Muscheler, R., Orsi, A.J., Paden, J., Panton, C., Pattyn, F., Petit, J.R., Pol, K., Popp, T., Possnert, G., Prie, F., Prokopiou, M., Quiquet, A., Rasmussen, S.O., Raynaud, D., Ren, J., Reutenauer, C., Ritz, C., Rockmann, T., Rosen, J.L., Rubino, M., Rybak, O., Samyn, D., Sapart, C.J., Schilt, A., Schmidt, A.M.Z., Schwander, J., Schupbach, S., Seierstad, I., Severinghaus, J.P., Sheldon, S., Simonsen, S.B., Sjolte, J., Solgaard, A.M., Sowers, T., Sperlich, P., Steen-Larsen, H.C., Steffen, K., Steffensen, J.P., Steinhage, D., Stocker, T.F., Stowasser, C., Sturevik, A.S., Sturges, W.T., Sveinbjornsdottir, A., Svensson, A., Tison, J.L., Uetake, J., Vallelonga, P., van de Wal, R.S.W., van der Wel, G., Vaughn, B.H., Vinther, B., Waddington, E., Wegner, A., Weikusat, I., White, J.W.C., Wilhelms, F., Winstrup, M., Witrant, E., Wolff, E.W., Xiao, C., Zheng, J., Community, N., 2013. Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. *Nature*, 493(7433), 489-494.
- Dare-Edwards, A.J., 1984. Aeolian Clay Deposits of South-Eastern Australia: Parna or Loessic Clay? *Transactions of the Institute of British Geographers*, 9(3), 337-344.
- Davies, B.J., Bridgland, D.R., Roberts, D.H., Cofaigh, C.O., Pawley, S.M., Candy, I., Demarichi, B., Penkman, K.E.H., Austin, W.E.N., 2009. The age and stratigraphic context of the Easington Raised Beach, County Durham, UK. *Proceedings of the Geologists Association*, 120, 183-198.
- Delmas, M., Calvet, M., Gunnell, Y., 2009. Variability of Quaternary glacial erosion rates - A global perspective with special reference to the Eastern Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*, 28(5-6), 484-498.
- Delmas, M., Calvet, M., Gunnell, Y., Braucher, R., Bourlès, D., 2011. Palaeogeography and

- <sup>10</sup>Be exposure-age chronology of Middle and Late Pleistocene glacier systems in the northern Pyrenees: Implications for reconstructing regional palaeoclimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 305(1-4), 109-122.
- Delmas, M., Gunnell, Y., Braucher, R., Calvet, M., Bourlès, D., 2008. Exposure age chronology of the last glaciation in the eastern Pyrenees. *Quaternary Research*, 69(2), 231-241.
- Desir, G., Marín, C., 2007. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena*, 71(1), 31-40.
- Desir, G., Marín, C., Guerrero, J., 2005. Badlands and Talus Flatirons in the Bardenas Reales Region Sixth International Conference on Geomorphology, B3, Zaragoza.
- Deutsches Institut für Normung e.V., 1996. DIN ISO 10694 Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse), Bodenbeschaffenheit. Beuth Verlag, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e.V., 1997. DIN ISO 10693 Bestimmung des Carbonatgehaltes, Bodenbeschaffenheit. Beuth Verlag, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e.V., 1998. DIN ISO 13878 Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse), Bodenbeschaffenheit. Beuth Verlag, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e.V., 2002. ISO 11277: Verfahren mittels Siebung und Sedimentation Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden ISO 11277.
- Dietze, M., Bartel, S., Lindner, M., Kleber, A., 2012. Formation mechanisms and control factors of vesicular soil structure. *Catena*, 99, 83-96.
- Djurović, P.V., 2012. Comment on: "The glacial history of the Dinaric Alps, Montenegro" by P.D. Hughes, J.C. Woodward, P.C. van Calsteren, L.E. Thomas [*Quaternary Science Reviews* 30 (2011), 3393-3412]. *Quaternary Science Reviews*, 49, 109-110.
- Dominguez-Villar, D., Carrasco, R.M., Pedraza, J., Cheng, H., Edwards, R.L., Willenbring, J.K., 2013. Early maximum extent of paleoglaciers from Mediterranean mountains during the last glaciation. *Sci. Rep.*, 3, 1-6.
- Douglas, L.A., 1967. Sodium-Citrate-Dithionite-Induced Alteration of Biotite. *Soil Science*, 103(3), 191-195.
- Dreibrodt, S., Wiethold, J., 2015. Lake Belau and its catchment (northern Germany): A key archive of environmental history in northern central Europe since the onset of agriculture. *The Holocene*, 25(2), 296-322.
- Dreimanis, A., 1989. Tills: Their genetic terminology and classification In: R.P. Goldthwait, C.L. Matsch (Eds.), *Genetic Classification of Glacigenic Deposits*. Balkema, Rotterdam/Brookfield, pp. 17-88.

- Ducloux, J., Laouina, A., 1989. The pendent calcretes in semi-arid climates: An example located near Taforalt, NW Morocco. *Catena*, 16(3), 237-249.
- Duffin, K.I., Gillson, L., Willis, K.J., 2008. Testing the sensitivity of charcoal as an indicator of fire events in savanna environments: quantitative predictions of fire proximity, area and intensity. *The Holocene*, 18(2), 279-291.
- Dyke, A.S., Andrews, J.T., Clark, P.U., England, J.H., Miller, G.H., Shaw, J., Veillette, J.J., 2002. The Laurentide and Innuitian ice sheets during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21(1-3), 9-31.
- Eckhardt, F.E.W., 1979. Über die Einwirkung heterotropher Mikroorganismen auf die Zersetzung silikatischer Minerale. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 142(3), 434-445.
- Ehlers, J., Grube, A., Stephan, H.-J., Wansa, S., 2011. Pleistocene Glaciations of North Germany - New Results. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 149-162.
- Ejarque, A., Julià, R., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., Miras, Y., Gascón, C., 2009. Tracing the history of highland human management in the eastern Pre-Pyrenees: an interdisciplinary palaeoenvironmental study at the Pradell fen, Spain. *The Holocene*, 19(8), 1241-1255.
- Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., 2010. Testing micro-regional variability in the Holocene shaping of high mountain cultural landscapes: a palaeoenvironmental case-study in the eastern Pyrenees. *Journal of Archaeological Science*, 37(7), 1468-1479.
- Etienne, S., Dupont, J., 2002. Fungal weathering of basaltic rocks in a cold oceanic environment (Iceland): comparison between experimental and field observations. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(7), 737-748.
- Etlicher, B., De Goer De Herve, A., 1988. La Deglaciation Wurmienne Dans Le Massiv Central Francais: Le Point Des Travaux Recents. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 25(2/3), 103-110.
- Evans, D.M., Hartemink, A.E., 2014. Terra Rossa catenas in Wisconsin, USA. *Catena*, 123, 148-152.
- Everest, J.D., Bradwell, T., Stoker, M., Dewey, S., 2013. New age constraints for the maximum extent of the last British-Irish Ice Sheet (NW sector). *Journal of Quaternary Science*, 28(1), 2-7.
- Faust, D., 1995. Reliefgenese, Böden und Bodenerosion im südwestlichen Mediterranraum und deren Bedeutung für Fragen der Landnutzung und des Ressourcenschutzes. Beispiele aus Südspanien und Nordtunesien., Technische Universität Dresden, Dresden, 209 pp.
- Faust, D., Schmidt, M., 2009. Soil erosion processes and sediment fluxes in a Mediterranean marl landscape, Campiña de Cádiz, SW Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 52(2), 247-265.

- Fedoroff, N., 1997. Clay illuviation in Red Mediterranean soils. *Catena*, 28(3-4), 171-189.
- Fedoroff, N., Courty, M.A., 2013. Revisiting the genesis of red Mediterranean soils. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 1-17.
- Felix-Henningsen, P., Spies, E.-D., Zakosek, H., 1991. Genese und Stratigraphie periglazialer Deckschichten auf der Hochfläche des Ost-Hunsrücks (Rheinisches Schiefergebirge). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 41(1), 56-69.
- Fiebig, M., Ellwanger, D., Doppler, G., 2011. Pleistocene glaciations of southern Germany. In: J. Ehlers, P.L. Gibbard, P.D. Hughes (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 163-173.
- Fink, J., 1973. Internationale Lössforschung. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 23/24, 415-426.
- Fischer, T., Yair, A., Veste, M., Geppert, H., 2013. Hydraulic properties of biological soil crusts on sand dunes studied by  $^{13}\text{C}$ -CP/MAS-NMR: A comparison between an arid and a temperate site. *Catena*, 110, 155-160.
- Fischer, W.R., Ottow, J.C.G., 1972. Abbau von Eisen(III)-citrat in durchlüfteter wäßriger Lösung durch Bodenbakterien. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 131(3), 243-253.
- Flagellot, J.-C., 1988. Quartäre Vereisungen in den lothringischen Vogesen. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 38, 17-36.
- Foley, K.K., Lyons, W.B., Barrett, J.E., Virginia, R.A., 2006. Pedogenic carbonate distribution within glacial till in Taylo Valley, Southern Victoria Land, Antarctica. In: A.M. Alonso-Zarza, L.H. Tanner (Eds.), *Paleoenvironmental record and application of calcretes and palustrines carbonates*. Geological Society of America, pp. 89-103.
- Folk, R.L., 1974. The natural history of crystalline calcium carbonate; effect of magnesium content and salinity. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1), 40-53.
- Ford, D.C., Fuller, P.G., Drake, J.J., 1970. Calcite Precipitates at the Soles of Temperate Glaciers. *Nature*, 226(5244), 441-442.
- Forman, S.L., Miller, G.H., 1984. Time-Dependent Soil Morphologies and Pedogenic Processes on Raised Beaches, Broggerhalvoya, Spitsbergen, Svalbard Archipelago. *Arctic and Alpine Research*, 16(4), 381-394.
- Fox, C.A., Protz, R., 1981. Definition of Fabric Distributions to Characterize the Rarrangement of Soil Particles in the Turbic Cryosols. *Canadian Journal of Soil Science*, 61(1), 29-38.
- Franceschi, V.R., Horner, H.T., 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46(4), 361-427.
- Franceschi, V.R., Loewus, F.A., 1995. Oxalate biosynthesis and function in plants and fungi. In: S.R. Khan (Ed.), *Calcium oxalate in biological systems*. CRC, Boca Raton, pp. 113-130.

- Fränze, O., 1959. Glaziale und periglaziale Formbildung im östlichen Kastilischen Scheidegebirge. *Bonner Geographische Abhandlungen*, 26. Ferdinand Dümmler Verlag, Bonn, 80 pp.
- French, H.M., 2000. Does Lozinski's periglacial realm exist today? A discussion relevant to modern usage of the term 'periglacial'. *Permafrost and Periglacial Processes*, 11(1), 35-42.
- Frenot, Y., van Vliet-Lanoë, B., Gloaguen, J.-C., 1995. Particle Translocation and Initial Soil Development on a Glacier Foreland, Kerguelen Islands, Subantarctic. *Arctic and Alpine Research*, 27(2), 107-115.
- Froyd, C.A., 2005. Fossil stomata, reveal early pine presence in Scotland: implications for postglacial colonization analyses. *Ecology*, 86(3), 579-586.
- Fuchs, M., Fischer, M., Reverman, R., 2010. Colluvial and alluvial sediment archives temporally resolved by OSL dating: Implications for reconstructing soil erosion. *Quaternary Geochronology*, 5(2-3), 269-273.
- Fuchs, M., Owen, L.A., 2008. Luminescence dating of glacial and associated sediments: review, recommendations and future directions. *Boreas*, 37(4), 636-659.
- Funder, S., Kjeldsen, K.K., Kjær, K.H., Ó Cofaigh, C., 2011. The Greenland Ice Sheet During the Past 300,000 Years: A Review. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 699-713.
- Furrer, G., 1972. Bewegungsmessungen auf Solifluktsdecken. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, 13, 87-101.
- Furrer, G., Bachmann, F., 1968. Die Situmetrie (Einregelungsmessung) als morphologische Untersuchungsmethode. *Geographica Helvetica*, 23(1), 1-15.
- Furrer, G., Bachmann, F., 1972. Solifluktsdecken im schweizerischen Hochgebirge als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, 92, 163-172.
- Gadd, G.M., 1999. Fungal Production of Citric and Oxalic Acid: Importance in Metal Speciation, Physiology and Biogeochemical Processes. In: R.K. Poole (Ed.), *Advances in Microbial Physiology*. Academic Press, pp. 47-92.
- Gallart, F., Llorens, P., Latron, J., 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159(1-4), 291-303.
- García-Ruiz, J.M., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81(1), 1-11.
- García-Ruiz, J.M., Alvera, B., Barrio, G.D., Puigdefabregas, J., 1990. Geomorphic Processes above Timberline in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10(3), 201-214.

- García-Ruiz, J.M., Arnaez, J., Beguería, S., Seeger, M., Martí-Bono, C., Regues, D., Lana-Renault, N., White, S., 2005. Runoff generation in an intensively disturbed, abandoned farmland catchment, Central Spanish Pyrenees. *Catena*, 59(1), 79-92.
- García-Ruiz, J.M., Gomez-Villar, A., Ortigosa, L., Martí-Bono, C., 2000. Morphometry of glacial cirques in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler Series a - Physical Geography*, 82A(4), 433-442.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Errea, M.P., Ortigosa, L., White, S., Martí, C., González, C., Ruiz Flaño, P., 1997a. Land use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11(5), 267-277.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., González, C., Martí, C., White, S., Ortigosa, L., 1997b. Sediment sources during the traditional land-use system in the Spanish Pyrenees. *Physics and Chemistry of The Earth*, 22(3-4), 351-354.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L., Ruizflano, P., Martí, C., Gonzalez, C., 1995. Sediment Yield under Different Land Uses in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 15(3), 229-240.
- García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Lorente, A., Beguería, S., 2002. Geomorphological consequences of frequent and infrequent rainfall and hydrological events in Pyrenees Mountains of Spain. *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change*, 7, 303-320.
- García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Peña-Monné, J.L., Sancho, C., Rhodes, E.J., Valero-Garcés, B., González-Sampériz, P., Moreno, A., 2012. Glacial and Fluvial Deposits in the Aragón Valley, Central-Western Pyrenees: Chronology of the Pyrenean Late Pleistocene Glaciers. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95(1), 15-32.
- García-Ruiz, J.M., Palacios, D., de Andrés, N., Valero-Garcés, B.L., López-Moreno, J.I., Sanjuán, Y., 2014. Holocene and 'Little Ice Age' glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene*, 24(11), 1439-1452.
- García-Ruiz, J.M., Pena, J.L., Martí Bono, C., Gómez Villar, A., Constante, A., Espinalt Brillas, M., 2011. El relieve del alto aragón occidental. *Serie Investigacion*, Zaragoza, 91 pp.
- García-Ruiz, J.M., Valero-Garcés, B., González-Sampériz, P., Lorente, A., Martí-Bono, C., Beguería, S., Edwards, L., 2001. Stratified scree in the Central Spanish Pyrenees: palaeoenvironmental implications. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12(3), 233-242.
- García-Ruiz, J.M., Valero-Garcés, B.L., Martí-Bono, C., González-Sampériz, P., 2003. Asynchronicity of maximum glacier advances in the central Spanish Pyrenees. *Journal of Quaternary Science*, 18(1), 61-72.
- García Marcos, J.M., Santos Frances, F., 1997. Relationship between the characteristics of Mediterranean red soils and the age of the geomorphological surfaces in central-western Spain. *Catena*, 28(3-4), 231-245.

- Gellatly, A.F., Grove, J.M., Switsur, V.R., 1992. Mid-Holocene glacial activity in the Pyrenees. *The Holocene*, 2(3), 266-270.
- Gibbard, P.L., Clark, C.D., 2011. Pleistocene Glaciation Limits in Great Britain. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 75-93.
- Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J.S., Pérez Sanz, A., Aranbarri, J., García-Prieto Fronce, E., 2014. Biomass-modulated fire dynamics during the last glacial - interglacial transition at the Central Pyrenees (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 402, 113-124.
- Gil García, M.J., Valiño, M.D., Rodríguez, A.V., Zapata, M.B.R., 2002. Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International*, 93-94, 13-18.
- Gile, L.H., Peterson, F.F., Grossman, R.B., 1966. Morphological and Genetic Sequences of Carbonate Accumulation in Desert Soils. *Soil Science*, 101(5), 347-360.
- Gillespie, A., Molnar, P., 1995. Asynchronous maximum advances of mountain and continental glaciers. *Reviews of Geophysics*, 33(3), 311-364.
- Giraudi, C., 2012. The Campo Felice late Pleistocene Glaciation (Apennines, central Italy). *Journal of Quaternary Science*, 27(4), 432-440.
- Gómez-Ortiz, A., Palacios, D., Palade, B., Vázquez-Selem, L., Salvador-Franch, F., 2012. The deglaciation of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 159-160(0), 93-105.
- Gómez-Villar, A., García-Ruiz, J.M., 1997. The role of human activities in the development of alluvial fans. *Physics and Chemistry of The Earth*, 22(3-4), 345-349.
- Gómez-Villar, A., García-Ruiz, J.M., 2000. Surface sediment characteristics and present dynamics in alluvial fans of the central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 34(3-4), 127-144.
- González-Sampériz, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 427-457.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Carrión, J.S., Peña-Monné, J.L., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., 2005. Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: New data and a review. *Quaternary International*, 140-141, 4-20.
- Gonzalez-Samperiz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., Garcia-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research*, 66(1), 38-52.

- Goss, D.W., Smith, S.J., Stewart, B.A., 1973. Movement of added clay through calcareous materials. *Geoderma*, 9(2), 97-103.
- Goudie, A.S., 1996. Organic agency in calcrete development. *Journal of Arid Environments*, 32(2), 103-110.
- Graham, A.G.C., Stoker, M.S., Lonergan, L., Bradwell, T., Stewart, M.A., 2011. The Pleistocene Glaciations of the North Sea Basin. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 261-278.
- Graustein, W.C., Cromack, K., Sollins, P., 1977. Calcium Oxalate: Occurrence in Soils and Effect on Nutrient and Geochemical Cycles. *Science*, 198(4323), 1252-1254.
- Green, A., Broady, P., 2003. Biological soil crusts of Antarctica. In: J. Belnap, O. Lange (Eds.), *Biological soil crusts: structure, function and management*. Springer, Berlin, pp. 133-139.
- Guerra Delgado, D.A., Monturiol Rodríguez, D.F., 1970. Mapas de suelos de las provincias de Zaragoza, Huesca y Logrono. Instituto de Edafología y Biología Vegetal Madrid, 68 pp.
- Guggenheim, S., Adams, J.M., Bain, D.C., Bergaya, F., Brigatti, M.F., Drits, V.A., Formoso, M.L.L., Galan, E., Kogure, T., Stanjek, H., 2006. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006. *Clay Minerals*, 41(4), 863-877.
- Guggiari, M., Bloque, R., Aragno, M., Verrecchia, E., Job, D., Junier, P., 2011. Experimental calcium-oxalate crystal production and dissolution by selected wood-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(6), 803-809.
- Haase, D., Fink, J., Haase, G., Ruske, R., Pécsi, M., Richter, H., Altermann, M., Jäger, K.D., 2007. Loess in Europe - its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2,500,000. *Quaternary Science Reviews*, 26(9-10), 1301-1312.
- Habbe, K.B., Ellwanger, D., Becker-Haumann, R., 2007. Stratigraphische Begriffe für das Quartär des süddeutschen Alpenvorlandes. *Quaternary Science Journal*, 56(1-2), 66-83.
- Häffner, H., 1963. Der eiszeitliche Formenschatz des Längstales von Jaca (Canal de Berdún), 113 pp.
- Hallet, B., 1976. Deposits Formed by Subglacial Precipitation of CaCO<sub>3</sub>. *Geological Society of America Bulletin*, 87(7), 1003-1015.
- Hallet, B., 2006. Why Do Freezing Rocks Break? *Science*, 314(5802), 1092-1093.
- Hallet, B., Walder, J.S., Stubbs, C.W., 1991. Weathering by segregation ice growth in micro-cracks at sustained subzero temperatures: Verification from an experimental study using acoustic emissions. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2(4), 283-300.
- Harris, C., Davies, M.C.R., Rea, B.R., 2003. Gelifluction: Viscous flow or plastic creep? *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(12), 1289-1301.

- Harris, C., Ellis, S., 1980. Micromorphology of soils in soliflucted materials, Okstindan, Northern Norway. *Geoderma*, 23(1), 11-29.
- Harris, C., Murton, J., Davies, M.C.R., 2000. Soft-sediment deformation during thawing of ice-rich frozen soils: results of scaled centrifuge modelling experiments. *Sedimentology*, 47(3), 687-700.
- Hasinger, O., Spangenberg, J.E., Millière, L., Bindschedler, S., Cailleau, G., Verrecchia, E.P., 2015. Carbon dioxide in scree slope deposits: A pathway from atmosphere to pedogenic carbonate. *Geoderma*, 247-248, 129-139.
- He, H.H., Bleby, T.M., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Kuo, J., 2012. Morphologies and elemental compositions of calcium crystals in phyllodes and branchlets of *Acacia robeorum* (Leguminosae: Mimosoideae). *Annals of Botany*, 109(5), 887-896.
- Hebenstreit, R., Ivy-Ochs, S., Kubik, P.W., Schlüchter, C., Böse, M., 2011. Lateglacial and early Holocene surface exposure ages of glacial boulders in the Taiwanese high mountain range. *Quaternary Science Reviews*, 30(3-4), 298-311.
- Heine, K., Reuther, A., Thieke, H., Ulrich Schulz, R., Schlaak, N., Kubik, P.W., 2009. Timing of Weichselian ice marginal positions in Brandenburg (northeastern Germany) using cosmogenic in situ  $^{10}\text{Be}$ . *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 53(4), 433-454.
- Helbig, H., de Klerk, P., Kühn, P., Kwasniowski, J., 2002. Colluvial sequences on till plains in Vorpommern (NE Germany). *Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge, Supplement Band 128*, 81-100.
- Henderson, M.E.K., Duff, R.B., 1963. The release of metallic and silicate ions from minerals, rocks, and soil by fungal activity. *Journal of Soil Science*, 14(2), 236-246.
- Hering, J., Bauriegel, A., 2005. „Fuchserden“ in Brandenburg - eine anthropogene Bildung?, Jahrestagung der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft, Marburg, pp. 339-340.
- Hesse, P.P., McTainsh, G.H., 2003. Australian dust deposits: modern processes and the Quaternary record. *Quaternary Science Reviews*, 22(18-19), 2007-2035.
- Hetu, B., Gangloff, P., 1989. Depots glaciaires du Pleistocene inferieur sur le piemont nord des Pyrenees Atlantiques. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 33(4), 385-403.
- Hinsinger, P., Jaillard, B., 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *Journal of Soil Science*, 44(3), 525-534
- Hirsch, F., Raab, T., 2014. Geophysical prospection on Late Quaternary sediments in the Gállego Valley, Central Spanish Pyrenees. In: J. Wunderlich, P. Houben (Eds.), *Past to Present Quaternary Landform Change: Natural and Anthropogenic Drivers* *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd. E*. Schweizerbart Science Publishers, pp. 47-62.

- Hirsch, F., Schneider, A., Nicolay, A., Błaszczewicz, M., Kordowski, J., Noryskiewicz, A.M., Tyszkowski, S., Raab, A., Raab, T., 2015. Late Quaternary landscape development at the margin of the Pomeranian phase (MIS 2) near Lake Wygonin (Northern Poland). *Catena*, 124, 28-44.
- Hoffmann, R., Blume, H.P., 1977. Holocene clay migrations as a soil forming process of loamy soils of the moraine landscapes of North Germany. *Catena*, 4(4), 359-368.
- Hooyer, T.S., Iverson, N.R., 2000. Clast-fabric development in a shearing granular material: Implications for subglacial till and fault gouge. *Geological Society of America Bulletin*, 112(5), 683-692.
- Horner, H.T., Wagner, B.L., 1995. Calcium oxalate formation in higher plants. In: S.R. Khan (Ed.), *Calcium oxalate in biological systems*. CRC, Boca Raton, pp. 53-72.
- Houmark - Nielsen, M., 2011. Pleistocene Glaciations in Denmark: A Closer Look at Chronology, Ice Dynamics and Landforms. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 47-58.
- Houmark-Nielsen, M., Linge, H., Fabel, D., Schnabel, C., Xu, S., Wilcken, K.M., Binnie, S., 2012. Cosmogenic surface exposure dating the last deglaciation in Denmark: Discrepancies with independent age constraints suggest delayed periglacial landform stabilisation. *Quaternary Geochronology*, 13, 1-17.
- Hövermann, J., 1987. Neues zur pleistozänen Harzvergletscherung. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 37(1), 99-107.
- Huber, J., 2014. Hangsedimente und Saprolithe als grundlegende Bestandteile der Critical Zone - Beispiele aus dem Bayerischen Wald und der Colorado Front Range, Technische Universität München, Freising, 245 pp.
- Hubschman, J., 1975. Modelés et formations quaternaires du terrefort molassique, au Sud de Toulouse. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 12(3/4), 125-136.
- Hughes, P.D., Fenton, C.R., Gibbard, P.L., 2011a. Quaternary Glaciations of the Atlas Mountains, North Africa. In: J. Ehlers, P.L. Gibbard, P. Hughes, D. (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 1065-1074.
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L., Ehlers, J., 2013. Timing of glaciation during the last glacial cycle: Evaluating the concept of a global 'Last Glacial Maximum' (LGM). *Earth-Science Reviews*, 125, 171-198.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. *Journal of Quaternary Science*, 23(6-7), 575-588.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., van Calsteren, P.C., Thomas, L.E., 2011b. The glacial history of the Dinaric Alps, Montenegro. *Quaternary Science Reviews*, 30(23-24), 3393-3412.
- Hughes, P.D., Woodward, J.C., van Calsteren, P.C., Thomas, L.E., 2012. Reply: the glacial history of the Dinaric Alps, Montenegro. *Quaternary Science Reviews*, 49, 111-112.

- Huijzer, A.S., 1993. Cryogenic Microfabrics and Macrostructures: Interrelations, Processes, and Palaeoenvironmental Significance, 245 pp.
- Hülle, D., Hilgers, A., Kühn, P., Radtke, U., 2009. The potential of optically stimulated luminescence for dating periglacial slope deposits - A case study from the Taunus area, Germany. *Geomorphology*, 109(1-2), 66-78.
- Huybrechts, P., 2002. Sea-level changes at the LGM from ice-dynamic reconstructions of the Greenland and Antarctic ice sheets during the glacial cycles. *Quaternary Science Reviews*, 21(1-3), 203-231.
- Ildefonse, B., Launeau, P., Bouchez, J.-L., Fernandez, A., 1992. Effect of mechanical interactions on the development of shape preferred orientations: a two-dimensional experimental approach. *Journal of Structural Geology*, 14(1), 73-83.
- Isarin, R.F.B., 1997. Permafrost Distribution and Temperatures in Europe During the Younger Dryas. *Permafrost and Periglacial Processes*, 8(3), 313-333.
- IUSS Working Group WRB, 2014. World reference base for soil resources 2014. *World Soil Resources Reports*, 106. FAO, Rome, 181 pp.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Reuther, A., Preusser, F., Heine, K., Maisch, M., Kubik, P.W., Schlüchter, C., 2008. Chronology of the last glacial cycle in the European Alps. *Journal of Quaternary Science*, 23(6-7), 559-573.
- Jaesche, P., 1999. Bodenfrost und Solifluktdynamik in einem alpinen Periglazialgebiet (Hohe Tauern, Osttirol). *Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten*, 20. Naturwissenschaftliche Gesellschaft Bayreuth e.V., Bayreuth, 136 pp.
- Jaesche, P., Veit, H., Huwe, B., 2003. Snow cover and soil moisture controls on solifluction in an area of seasonal frost, eastern Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14(4), 399-410.
- Jäger, K.-D., Kopp, D., 2004. Über Entstehungszeit und Bildungsmilieu lessivierter Böden in Mitteleuropa. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 5, 103-115.
- Jaillard, B., Guyon, A., Maurin, A.F., 1991. Structure and composition of calcified roots, and their identification in calcareous soils. *Geoderma*, 50(3), 197-210.
- Jalut, G., Andrieu, V., Delibrias, G., Fontugne, M., Pages, P., 1988. Palaeoenvironment of the valley of Ossau (Western French Pyrenees) during the last 27,000 years. *Pollen et Spores*, XXX(3-4), 357-394.
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International*, 200(1-2), 4-18.
- Jalut, G., Marti, J.M., Fontugne, M., Delibrias, G., Vilaplana, J.M., Julia, R., 1992. Glacial to Interglacial Vegetation Changes in the Northern and Southern Pyrenees - Deglaciation, Vegetation Cover and Chronology. *Quaternary Science Reviews*, 11(4), 449-480.

- Jalut, G., Michels, V.T.I., Dedoubat, J.J., Otto, T., Ezquerro, J., Fontugne, M., Belet, J.M., Bonnet, L., de Celis, A.G., Redondo-Vega, J.M., Vidal-Romani, J.R., Santos, L., 2010. Palaeoenvironmental studies in NW Iberia (Cantabrian range): Vegetation history and synthetic approach of the last deglaciation phases in the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297(2), 330-350.
- Jankowski, M., 2012. Lateglacial soil paleocatena in inland-dune area of the Toruń Basin, Northern Poland. *Quaternary International*, 265(0), 116-125.
- Jankowski, M., Kittel, P., 2012. Evidences of soil-forming processes in red coloured Ochre soils (Rubic Arenosols) at the Szykielew archaeological site, Central Poland. In: R.M. Poch, M. Casamitjana, M.L. Francis (Eds.), *Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology*, Lleida, pp. 40-42.
- Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Hernández-Corbalán, M.D., Anderson, R.S., Delgado-Huertas, A., 2013. Vegetation, fire, climate and human disturbance history in the southwestern Mediterranean area during the late Holocene. *Quaternary Research*, 79(2), 110-122.
- Jiménez-Sánchez, M., Rodríguez-Rodríguez, L., García-Ruiz, J.M., Domínguez-Cuesta, M.J., Fariás, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Rico, M., Valcárcel, M., 2013. A review of glacial geomorphology and chronology in northern Spain: Timing and regional variability during the last glacial cycle. *Geomorphology*, 196, 50-64.
- Johnsson, G., 1960. Cryoturbation at Zaragoza, Northern Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 4, 74-80.
- Jongerijs, A., Rutherford, G.K., 1979. *Glossary of soil micromorphology*. Pudoc, 138 pp.
- Kaal, J., Criado-Boado, F., Costa-Casais, M., López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Mighall, T., Carrión, Y., Silva Sánchez, N., Martínez Cortizas, A., 2013. Prehistoric land use at an archaeological hot-spot (the rock art park of Campo Lameiro, NW Spain) inferred from charcoal, synanthropic pollen and non-pollen palynomorph proxies. *Journal of Archaeological Science*, 40(3), 1518-1527.
- Kämpf, N., Schwertmann, U., 1983. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29(1), 27-39.
- Kaplar, C.W., 1965. Stone Migration by Freezing of Soil. *Science*, 149(3691), 1520-1521.
- Kasse, C., 2002. Sandy aeolian deposits and environments and their relation to climate during the Last Glacial Maximum and Lateglacial in northwest and central Europe. *Progress in Physical Geography*, 26(4), 507-532.
- Kasse, C., Vandenberghe, D., De Corte, F., Van Den Haute, P., 2007. Late Weichselian fluvio-aeolian sands and coversands of the type locality Grubbenvorst (southern Netherlands): sedimentary environments, climate record and age. *Journal of Quaternary Science*, 22(7), 695-708.

- Kautz, K., 1969. Laborversuche zum Abbau von Biotit. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 24(3), 208-218.
- Keren, R., Sparks, D.L., 1995. The Role of Edge Surfaces in Flocculation of 2-1 Clay-Minerals. *Soil Science Society of America Journal*, 59(2), 430-435.
- Kern-Luetsch, M., Harris, C., 2008. Centrifuge modelling of solifluction processes: displacement profiles associated with one-sided and two-sided active layer freezing. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19(4), 379-392.
- King, G.E., Robinson, R.A.J., Finch, A.A., 2013. Apparent OSL ages of modern deposits from Fåbergstølsdalen, Norway: implications for sampling glacial sediments. *Journal of Quaternary Science*, 28(7), 673-682.
- Kittrick, J.A., 1973. Mica-Derived Vermiculites as Unstable Intermediates. *Clays and Clay Minerals*, 21(6), 479-488.
- Kleber, A., Leopold, M., Vonlanthen, C., Völkel, J., 2013a. Transferring the Concept of Cover Beds. In: K. Arno, T. Birgit (Eds.), *Developments in Sedimentology*. Elsevier, pp. 171-228.
- Kleber, A., Terhorst, B., 2013. Mid-Latitude Slope Deposits (Cover Beds). *Developments in Sedimentology*. Elsevier Science, Oxford, 302 pp.
- Kleber, A., Terhorst, B., Bullmann, H., Hülle, D., Leopold, M., Müller, S., Raab, T., Sauer, D., Scholten, T., Dietze, M., Felix-Henningsen, P., Heinrich, J., Spies, E.D., Thiemeyer, H., 2013b. Subdued mountains of Central Europe. In: A. Kleber, B. Terhorst (Eds.), *Mid - Latitude Slope Deposits (Cover Beds)*. *Developments in Sedimentology*, Amsterdam, pp. 9-93.
- Kleber, A., Völkel, J., 2006. Hangsedimente und ihre Folgen. In: R. Dikau, K.-M. Moldenhauer, J. Bedehäsing (Eds.), *Die Erdoberfläche - Lebens- und Gestaltungsraum des Menschen*. *Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge Supplement Volume*. Gebrüder Bornträger, Berlin - Stuttgart, pp. 20-23.
- Klein, A.G., Seltzer, G.O., Isacks, B.L., 1999. Modern and last local glacial maximum snowlines in the Central Andes of Peru, Bolivia, and Northern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 18(1), 63-84.
- Klinge, H., 1958. Eine Stellungnahme zur Altersfrage von Terra-rossa-Vorkommen (Unter besonderer Berücksichtigung der Iberischen Halbinsel, der Balearischen Inseln und Marokkos). *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 81(1), 56-63.
- Koniscev, V.N., Faustova, M.A., Rogov, V.V., 1973. Cryogenic Processes as Reflected in Ground Microstructure Biuletyn peryglacialny, 22, 213-219.
- Kopp, D., Kowalkowski, A., 1990. Cryogenic and pedogenic perstruction in Tertiary and Quaternary deposits. *Quaternary studies in Poland*, 9, 51-71.

- Kramer, A., Bittmann, F., 2015. Revised human impact in north-western Germany during the Neolithic: methodological limits and challenges. *Journal of Quaternary Science*, 30(4), 434-451.
- Kubiëna, W., 1950. *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. Enke, Stuttgart, 392 pp.
- Kubiëna, W., 1956. Zur Mikromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lössböden. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 7(1), 102-112.
- Kubiëna, W., 1970. Micromorphology of polygenetic soils and paleosoils in polar regions. *Anales de edafologia y agrobiologia*, 30, 845-856.
- Kubiëna, W., 1986. *Grundzüge der Geopedologie und der Formenwandel der Böden*. Verlagsunion Agrar, Wien, 128 pp.
- Kühn, P., 2003a. Micromorphology and Late Glacial/Holocene genesis of Luvisols in Mecklenburg - Vorpommern (NE-Germany). *Catena*, 54(3), 537-555.
- Kühn, P., 2003b. Spätglaziale und holozäne Lessivégenese auf jungweichselzeitlichen Sedimenten Deutschlands. *Greifswalder Geographische Arbeiten*, 28. Geographisches Institut der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Greifswald, 167 pp.
- Kühn, P., Techmer, A., Weidenfeller, M., 2013. Lower to middle Weichselian pedogenesis and palaeoclimate in Central Europe using combined micromorphology and geochemistry: the loess-paleosol sequence of Alsheim (Mainz Basin, Germany). *Quaternary Science Reviews*, 75(0), 43-58.
- Kußmaul, H., Niederbudde, E.A., 1979. Bilanzierung der Tonbildung und -verlagerung sowie der Tonmineralumwandlung in Löß-Parabraunerden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 142(4), 586-600.
- Lagaly, G., Ziesmer, S., 2003. Colloid chemistry of clay minerals: the coagulation of montmorillonite dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100-102, 105-128.
- Landuydt, C.J., 1990. Micromorphology of Iron Minerals from Bog Ores of the Belgian Campine Area. In: L.A. Douglas (Ed.), *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science*. Developments in Soil Science. Elsevier, Amsterdam, pp. 289-294.
- Langlais, M., 2011. Processes of change in Magdalenian societies in the Pyrenean isthmus (20-16 ky cal BP). *Antiquity*, 85(329), 715-728.
- Langroudi, A.A., Jefferson, I., O'hara-Dhand, K., Smalley, I., 2014. Micromechanics of Quartz Sand Breakage in a Fractal Context. *Geomorphology*, 211, 1-10.
- Larsen, N.K., Piotrowski, J.A., 2003. Fabric Pattern in a Basal Till Succession and Its Significance for Reconstructing Subglacial Processes. *Journal of Sedimentary Research*, 73(5), 725-734.

- Le Roy, M., Nicolussi, K., Deline, P., Astrade, L., Edouard, J.-L., Miramont, C., Arnaud, F., 2015. Calendar-dated glacier variations in the western European Alps during the Neoglacial: the Mer de Glace record, Mont Blanc massif. *Quaternary Science Reviews*, 108(0), 1-22.
- Lee, J.R., Rose, J., Hamblin, R.J.O., Moorlock, B.S.P., Riding, J.B., Phillips, E., Barendregt, R.W., Candy, I., 2011. Chapter 6 - The Glacial History of the British Isles during the Early and Middle Pleistocene: Implications for the long-term development of the British Ice Sheet. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 59-74.
- Leopold, M., Dethier, D., Völkel, J., Raab, T., 2008. Combining sediment analysis and seismic refraction to describe the structure, thickness and distribution of periglacial slope deposits at Niwot Ridge, Rocky Mountains Front Range, Colorado, USA. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 52, 77-94.
- Leopold, M., Hürkamp, K., Völkel, J., Schmotz, K., 2011. Black soils, sediments and brown calcic luvisols: A pedological description of a newly discovered neolithic ring ditch system at Stephansposching, Eastern Bavaria, Germany. *Quaternary International*, 243(2), 293-304.
- Lessing, R., 1989. *Der Einfluß des hydraulischen Gradienten auf die Verlagerung von Ton*, Universität Hannover, Hannover, 101 pp.
- Lewis, C.J., McDonald, E.V., Sancho, C., Peña, J.L., Rhodes, E.J., 2009. Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy. *Global and Planetary Change*, 67(3-4), 141-152.
- Lewkowicz, A.G., 1998. Aeolian sediment transport during winter, Black Top Creek, Fosheim Peninsula, Ellesmere Island, Canadian Arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 9(1), 35-46.
- Li, Z., Velde, B., Li, D., 2003. Loss of K-bearing clay minerals in flood-irrigated, rice-growing soils in Jiangxi province, China. *Clays and Clay Minerals*, 51(1), 75-82.
- Lisiecki, L.E., Raymo, M.E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic delta O-18 records. *Paleoceanography*, 20(2), 1-17.
- Litt, T., 2007. Das Quartär als chronostratigraphische Einheit. *Quaternary Science Journal*, 56(1-2), 3-6.
- Litt, T., Behre, K.E., Meyer, K.-D., Stephan, H.-J., Wansa, S., 2007. Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. *Quaternary Science Journal*, 56(1/2), 7-65.
- Locke, W., 1986. Fine particle translocation in soils developed on glacial deposits, Southern Baffin Island, N.W.T., Canada. *Arctic and Alpine Research*, 18(1), 33-43.

- Loisy, C., Verrecchia, E.P., Dufour, P., 1999. Microbial origin for pedogenic micrite associated with a carbonate paleosol (Champagne, France). *Sedimentary Geology*, 126(1-4), 193-204.
- Longares, L.A., 2004. Variedad biogeografica del territorio Aragonés. In: J.L. Pena, L.A. Longares, M. Sánchez (Eds.), *Geografía Fisica de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 27-40.
- López-Recio, M., Silva, P.G., Tapias, F., Roquero, E., Baena, J., Carrancho, A., Arteaga, C., Morín, J., Rus, I., Villalaín, J.J., 2014. Geochronology and geoarchaeology of Pleistocene fluvial deposits in the Prados-Guatén Depression (Madrid Basin, Central Spain). *Quaternary International*, 328-329, 120-135.
- López, F., Cabrera, M., Cuadrat, J.M., 2007. *Atlas climático de Aragón*. Gobierno de Aragón, 291 pp.
- Lorz, C., Frühauf, M., Mailänder, R., Phillips, J.D., Kleber, A., 2013. Influence of Cover Beds on Soils. In: K. Arno, T. Birgit (Eds.), *Developments in Sedimentology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 95-125.
- Lovley, D.R., 1995. Microbial Reduction of Iron, Manganese, and Other Metals. In: L.S. Donald (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 175-231.
- Lucha, P., Gutiérrez, F., Galve, J.P., Guerrero, J., 2012. Geomorphic and stratigraphic evidence of incision-induced halokinetic uplift and dissolution subsidence in transverse drainages crossing the evaporite-cored Barbastro-Balaguer Anticline (Ebro Basin, NE Spain). *Geomorphology*, 171-172, 154-172.
- Lucke, B., Kemnitz, H., Bäuml, R., Schmidt, M., 2014. Red Mediterranean Soils in Jordan: New insights in their origin, genesis, and role as environmental archives. *Catena*, 112, 4-24.
- Lukas, S., Benn, D.I., Boston, C.M., Brook, M., Coray, S., Evans, D.J.A., Graf, A., Kellerer-Pirklbauer, A., Kirkbride, M.P., Krabbendam, M., Lovell, H., Machiedo, M., Mills, S.C., Nye, K., Reinardy, B.T.I., Ross, F.H., Signer, M., 2013. Clast shape analysis and clast transport paths in glacial environments: A critical review of methods and the role of lithology. *Earth-Science Reviews*, 121, 96-116.
- Luzón, A., Rodríguez-López, J.P., Pérez, A., Soriano, M.A., Gil, H., Pocoví, A., 2012. Karst subsidence as a control on the accumulation and preservation of aeolian deposits: A Pleistocene example from a proglacial outwash setting, Ebro Basin, Spain. *Sedimentology*, 59(7), 2199-2225.
- Mahr, A., 1998. Lockerbraunerden und periglaziale Hangsedimente im Bayerischen Wald. In: T. Breuer, K. Heine, K. Hermes, J. Obst, G. Rinschede (Eds.), *Untersuchungen zu Paläoumwelt und Geomorphodynamik im Spätglazial und ihrem Einfluß auf die Pedogenese*. Regensburger Geographische Schriften. Institut für Geographie, Regensburg, pp. 326.

- Mailänder, R., Veit, H., 2001. Periglacial cover-beds on the Swiss Plateau: indicators of soil, climate and landscape evolution during the Late Quaternary. *Catena*, 45(4), 251-272.
- Major, J.J., 1998. Pebble orientation on large, experimental debris-flow deposits. *Sedimentary Geology*, 117(3-4), 151-164.
- Mardones, M., Jalut, G., 1983. La tourbière de Biscaye (alt. 409m, Hautes Pyrénées): approche paléocologique des 45.000 dernières années. *Pollen et Spores*, XXV(2), 163-212.
- Mark, D.M., 1973. Analysis of Axial Orientation Data, Including Till Fabrics. *Geological Society of America Bulletin*, 84(4), 1369-1374.
- Mark, D.M., 1974. On the Interpretation of Till Fabrics. *Geology*, 2(2), 101-104.
- Martí Bono, C., Plana, F., 1996. Concreciones carbonatadas en margas des Eoceno. Consecuencias geomorfológicas. In: A. Grandal d'Anglade, J. Pagés Valcarlos (Eds.), Reunión de Geomorfología. Sociedad Española de Geomorfología, O Castro, pp. 605-615.
- Martí, C., Valero, B., García-Ruiz, J.M., 1997. Large historical debris flows in the central Spanish Pyrenees. *Physics and Chemistry of The Earth*, 22(3-4), 381-385.
- Matsuoka, N., 2001. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 107-134.
- Matsuoka, N., Hirakawa, K., 2000. Solifluction resulting from one-sided and two-sided freezing: Field data from Svalbard. *Polar geoscience*, 13, 187-201.
- Maus, H., Stahr, K., 1977. Auftreten und Verbreitung von Lösslehmbeimengungen in periglazialen Schuttdecken des Schwarzwaldwestabfalls. *Catena*, 3(3-4), 369-386.
- McCarthy, A., Mackintosh, A., Rieser, U., Fink, D., 2008. Mountain Glacier Chronology from Boulder Lake, New Zealand, Indicates MIS 4 and MIS 2 Ice Advances of Similar Extent. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(4), 695-708.
- McColl, S.T., 2012. Paraglacial rock-slope stability. *Geomorphology*, 153-154(0), 1-16.
- McConnaughey, T.A., Whelan, J.F., 1997. Calcification generates protons for nutrient and bicarbonate uptake. *Earth-Science Reviews*, 42(1-2), 95-117.
- McMillan, S.G., Schwertmann, U., 1998. Morphological and genetic relations between siderite, calcite and goethite in a Low Moor Peat from southern Germany. *European Journal of Soil Science*, 49(2), 283-293.
- Mehra, O.P., Jackson, M.L., 1958. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7(1), 317-327.
- Mensching, H., 1958. Glacis - Fußfläche - Pediment. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 2(3), 165-186.
- Mensching, H., 1973. Pedimente und Glacis. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, 17, 133-155.

- Mensching, H., Raynal, R., 1954. Fußflächen in Marokko. Petermanns Geographische Mitteilungen, 98, 171-176.
- Menzies, J., van der Meer, J.J.M., Rose, J., 2006. Till-as a glacial “tectomict”, its internal architecture, and the development of a “typing” method for till differentiation. *Geomorphology*, 75(1-2), 172-200.
- Michalet, R., Souchier, B., Guillet, B., 1993. Hematite Identification in Pseudo-Particles of Moroccan Rubified Soils. *Clay Minerals*, 28(2), 233-242.
- Millan, H., Aurell, M., Melendez, A., 1994. Synchronous detachment folds and coeval sedimentation in the Prepyrenean External Sierras (Spain): a case study for a tectonic origin of sequences and systems tracts. *Sedimentology*, 41(5), 1001-1024.
- Millar, S.W.S., 2006. Processes dominating macro-fabric generation in periglacial colluvium. *Catena*, 67(1), 79-87.
- Millar, S.W.S., Nelson, F.E., 2001a. Clast fabric in relict periglacial colluvium, Salamanca Re-Entrant, southwestern New York, USA. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, 83A(3), 145-156.
- Millar, S.W.S., Nelson, F.E., 2001b. Sampling-surface orientation and clast macrofabric in periglacial colluvium. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(5), 523-529.
- Milliere, L., Hasinger, O., Bindschedler, S., Cailleau, G., Spangenberg, J.E., Verrecchia, E.P., 2011. Stable carbon and oxygen isotope signatures of pedogenic needle fibre calcite. *Geoderma*, 161(1-2), 74-87.
- Mills, H.H., 1977. Differentiation of glacier environments by sediment characteristics; Athabasca Glacier, Alberta, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, 47(2), 728-737.
- Mills, H.H., 1983. Clast-Fabric Strength in Hillslope Colluvium as a Function of Slope Angle. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, 65(3-4), 255-261.
- Mix, A.C., Bard, E., Schneider, R., 2001. Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Reviews*, 20(4), 627-657.
- Moll, W., 1970. Beiträge zur Genese und systematischen Stellung rubefizierter Parabraunerden aus alpinen Schottern und Geschieben. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Freiburg.
- Monger, H.C., 2002. Pedogenic carbonate: links between biotic and abiotic CaCO<sub>3</sub>, World congress of Soil Science, Thailand, pp. 897(891)- 897(899).
- Monger, H.C., Daugherty, L.A., Lindemann, W.C., Liddell, C.M., 1991. Microbial Precipitation of Pedogenic Calcite. *Geology*, 19(10), 997-1000.
- Montserrat, J., 1992. Evolucion glacial y postglacial del clima y la vegetacion en la vertiente sur del Pirineo: Estudio palinologico. Instituto Pirenaico de Ecologia, Zaragoza, 147 pp.

- Moore, D.M., Reynolds, R.C., 1997. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford Univ. Press, Oxford, 378 pp.
- Mora, R., Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., Marcen, P.G., De La Torre, I., 2011. Chronostratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (south-eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula). *Journal of Quaternary Science*, 26(6), 635-644.
- Morales-Molino, C., Vescovi, E., Krebs, P., Carlevaro, E., Kaltenrieder, P., Conedera, M., Tinner, W., Colombaroli, D., 2015. The role of human-induced fire and sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivation on the long-term landscape dynamics of the southern Swiss Alps. *The Holocene*, 25(3), 482-494.
- Morsilli, M., Bosellini, F.R., Pomar, L., Hallock, P., Aurell, M., Papazzoni, C.A., 2012. Mesophotic coral buildups in a prodelta setting (Late Eocene, southern Pyrenees, Spain): a mixed carbonate-siliciclastic system. *Sedimentology*, 59(3), 766-794.
- Mosser-Ruck, R., Devineau, K., Charpentier, D., Cathelineau, M., 2005. Effects of Ethylene Glycol Saturation Protocols on XRD Patterns: A Critical Review and Discussion. *Clays and Clay Minerals*, 53(6), 631-638.
- Mücher, H.J., De Ploey, J., 1984. Formation of afterflow silt loam deposits and structural modification due to drying under warm conditions: An experimental and micromorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9(6), 523-531.
- Mückenhausen, E., 1970. Fortschritte in der Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft, 10, 246-279.
- Muhs, D.R., Budahn, J., Avila, A., Skipp, G., Freeman, J., Patterson, D., 2010. The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. *Quaternary Science Reviews*, 29(19-20), 2518-2543.
- Müller, H.-W., Dohrmann, R., Klosa, D., Rehder, S., Eckelmann, W., 2009. Comparison of two procedures for particle-size analysis: Köhn pipette and X-ray granulometry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(2), 172-179.
- Müller, S., Thiemeyer, H., 2012. Impact of sedimentary processes and paleopedogenesis on Holocene Luvisol formation. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 56(4), 147-162.
- Munch, J., 2011. Mikrobiologie und Ökophysiologie des Mangan- und Eisenkreislaufs. In: J.C.G. Ottow (Ed.), *Mikrobiologie von Böden*. Springer, Berlin, pp. 367-401.
- Muñoz Sobrino, C., Heiri, O., Hazekamp, M., van der Velden, D., Kirilova, E.P., García - Moireiras, I., Lotter, A.F., 2013. New data on the Lateglacial period of SW Europe: a high resolution multiproxy record from Laguna de la Roya (NW Iberia). *Quaternary Science Reviews*, 80, 58-77.

- Munsell, 2009. Munsell Soil-Color Charts, Grand Rapids.
- Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32(1), 57-73.
- Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements*, 37(4-5), 377-381.
- Murton, J.B., Peterson, R., Ozouf, J.-C., 2006. Bedrock Fracture by Ice Segregation in Cold Regions. *Science*, 314(5802), 1127-1129.
- Mutti, E., Tinterri, R., Benevelli, G., Biase, D.d., Cavanna, G., 2003. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8), 733-755.
- Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Cortesi, N., Desir, G., Gómez, J.A., Lasanta, T., Lucía, A., Marín, C., Martínez-Murillo, J.F., Pacheco, E., Rodríguez-Blanco, M.L., Romero Díaz, A., Ruiz-Sinoga, J.D., Taguas, E.V., Taboada-Castro, M.M., Taboada-Castro, M.T., Úbeda, X., Zabaleta, A., 2015. Relationship of runoff, erosion and sediment yield to weather types in the Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 228, 372-381.
- Nadal-Romero, E., Petric, K., Verachtert, E., Bochet, E., Poesen, J., 2014. Effects of slope angle and aspect on plant cover and species richness in a humid Mediterranean badland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(13), 1705-1716.
- Nadal-Romero, E., Regúés, D., 2010. Geomorphological dynamics of subhumid mountain badland areas - weathering, hydrological and suspended sediment transport processes: A case study in the Araguás catchment (Central Pyrenees) and implications for altered hydroclimatic regimes. *Progress in Physical Geography*, 34(2), 123-150.
- Nadal-Romero, E., Vicente-Serrano, S.M., Jiménez, I., 2012. Assessment of badland dynamics using multi-temporal Landsat imagery: An example from the Spanish Pre-Pyrenees. *Catena*, 96, 1-11.
- Nahon, D., Trompette, R., 1982. Origin of Siltstones - Glacial Grinding Versus Weathering. *Sedimentology*, 29(1), 25-35.
- Nakata, P.A., 2003. Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. *Plant Science*, 164(6), 901-909.
- Nelson, F.E., 1985. A preliminary investigation of solifluction macrofabrics. *Catena*, 12(1), 23-33.
- Nelson, L.H., 1978. Foundation of Jaca (1076) - Urban-Growth in Early Aragon. *Speculum - a Journal of Medieval Studies*, 53(4), 688-708.
- Niederbudde, E.A., Fischer, W.R., 1980. Clay Mineral Transformations in Soils as Influenced by Potassium Release from Biotite. *Soil Science*, 130(4), 225-231.

- Nornberg, P., Schwertmann, U., Stanjek, H., Andersen, T., Gunnlaugsson, H.P., 2004. Mineralogy of a burned soil compared with four anomalously red Quaternary deposits in Denmark. *Clay Minerals*, 39(1), 85-98.
- Nornberg, P., Vendelboe, A.L., Gunnlaugsson, H.P., Merrison, J.P., Finster, K., Jensen, S.K., 2009. Comparison of the mineralogical effects of an experimental forest fire on a goethite/ferrihydrite soil with a topsoil that contains hematite, maghemite and goethite. *Clay Minerals*, 44(2), 239-247.
- O'Flanagan, P., Martinez, T.L., Errea Abad, M.P.A.Z., 2011. Restoration of sheep transhumance in the Ebro Valley, Aragon, Spain. *Geographical Review*, 101(4), 556-575.
- Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Salvador-Franch, F., Salvà-Catarineu, M., 2014. Environmental evolution in Sierra Nevada (South Spain) since the Last Glaciation, based on multi-proxy records. *Quaternary International*, 353, 195-209.
- Ono, Y., Shulmeister, J., Lehmkuhl, F., Asahi, K., Aoki, T., 2004. Timings and causes of glacial advances across the PEP-II transect (East-Asia to Antarctica) during the last glaciation cycle. *Quaternary International*, 118-119, 55-68.
- Ortigosa, L.M., Garcia-Ruiz, J.M., Gil, E., 1990. Land Reclamation by Reforestation in the Central Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10(3), 281-288.
- Osborn, G., 1978. Fabric and Origin Of Lateral Moraines, Bethartolo Glacier, Garhwal Himalaya, India. *Journal of Glaciology*, 20(84), 547-553.
- Ottow, J.C.G., 1970. Bacterial Mechanism of Gley Formation in Artificially Submerged Soil. *Nature*, 225(5227), 103-103.
- Ottow, J.C.G., 1973. Bacterial mechanism of iron reduction and gley formation. In: E. Schlichting, U. Schwertmann (Eds.), *Pseudogley & Gley*. Verlag Chemie, Weinheim, pp. 29-36.
- Page, N.R., 1971. Subglacial Limestone Deposits in the Canadian Rocky Mountains. *Nature*, 229(5279), 42-43.
- Paillard, D., 2015. Quaternary glaciations: from observations to theories. *Quaternary Science Reviews*, 107, 11-24.
- Palacios, D., de Andrés, N., de Marcos, J., Vázquez-Selem, L., 2012. Glacial landforms and their paleoclimatic significance in Sierra de Guadarrama, Central Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 139-140, 67-78.
- Palacios, D., de Andrés, N., López-Moreno, J.I., García-Ruiz, J.M., 2015a. Late Pleistocene deglaciation in the upper Gállego Valley, central Pyrenees. *Quaternary Research*, 83(3), 391-414.
- Palacios, D., de Marcos, J., Vázquez-Selem, L., 2011. Last Glacial Maximum and deglaciation of Sierra de Gredos, central Iberian Peninsula. *Quaternary International*, 233(1), 16-26.

- Palacios, D., Gómez-Ortiz, A., Andrés, N., Vázquez-Selem, L., Salvador-Franch, F., Oliva, M., 2015b. Maximum extent of Late Pleistocene glaciers and last deglaciation of La Cerdanya mountains, Southeastern Pyrenees. *Geomorphology*, 231, 116-129.
- Pallàs, R., Rodés, A., Braucher, R., Bourles, D., Delmas, M., Calvet, M., Gunnell, Y., 2010. Small, isolated glacial catchments as priority targets for cosmogenic surface exposure dating of Pleistocene climate fluctuations, southeastern Pyrenees. *Geology*, 38(10), 891-894.
- Pallàs, R., Rodés, Á., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Bourlès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P., 2006. Late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence from  $^{10}\text{Be}$  exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*, 25(21-22), 2937-2963.
- Panzer, W., 1925. Talentwicklung und Eiszeitklima im nordöstlichen Spanien. *Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft*, 39(2), 142-182.
- Pardini, G., Aringhieri, R., Plana, F., Gallart, F., 1991. Soil properties relevant to land degradation in abandoned sloping fields in Aisa Valley, Central Pyrenees (Spain). *Pirineos*, 79-93.
- Pawluk, S., 1988. Freeze-Thaw Effects on Granular Structure Reorganization for Soil Materials of Varying Texture and Moisture-Content. *Canadian Journal of Soil Science*, 68(3), 485-494.
- Pécsi, M., 1990. Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International*, 7-8(0), 1-21.
- Pécsi, M., Richter, G., 1996. Löß Herkunft - Gliederung - Landschaften ; gewidmet dem 14. INQUA-Kongreß in Berlin. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*. Borntraeger, Berlin [u.a.], 391 pp.
- Pedraza, J., Carrasco, R.M., Domínguez-Villar, D., Villa, J., 2013. Late Pleistocene glacial evolutionary stages in the Gredos Mountains (Iberian Central System). *Quaternary International*, 302, 88-100.
- Pèlach, A., Nadal, J., Soriano, J., Molina, D., Cunill, R., 2009. Changes in Pyrenean woodlands as a result of the intensity of human exploitation: 2,000 years of metallurgy in Vallferera, northeast Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 18(5), 403-416.
- Peltier, W.R., Fairbanks, R.G., 2006. Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record. *Quaternary Science Reviews*, 25(23-24), 3322-3337.
- Peña-Monné, J.L., Rubio-Fernández, V., Longares-Aladrén, L.A., Gutiérrez-González, F.J., Pérez-Lambán, F., Laliena-Corbera, C., 2014. The Geomorphological Context of Medieval Juslibol Castle in the Middle Reaches of the River Ebro, Spain. *Geoarchaeology-an International Journal*, 29(6), 448-461.

- Peña, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E., 2004. Datos cronológicos de las morrenas terminales del glaciar del Gallego y su relación con las terrazas fluvio-glaciares (Pirineo de Huesca). In: J.L. Peña, L.A. Longares, M. Sanchez (Eds.), Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 71-84.
- Peña, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E.J., 2003. Las morrenas terminales de los valles glaciares del Gállego y Cinca (Pirineo de Huesca). Datos cronológicos. Boletín Glaciológico Aragonés, 4, 91-109.
- Penck, A., 1884. Die Eiszeit in den Pyrenäen. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde zu Leipzig 1883, 163-231.
- Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J.A., Galop, D., 2014. Vegetation dynamics and human activity in the Western Pyrenean Region during the Holocene. Quaternary International, 364, 65-77.
- Pérez-Lambán, F., Peña-Monné, J.L., Fanlo-Loras, J., Picazo-Millán, J.V., Badia-Villas, D., Rubio-Fernández, V., García-Giménez, R., Sampietro-Vattuone, M.M., 2014. Paleoenvironmental and geoarchaeological reconstruction from late Holocene slope records (Lower Huerba Valley, Ebro Basin, NE Spain). Quaternary Research, 81(1), 1-14.
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pélachs, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. The Holocene, 21(1), 75-93.
- Pétillon, J.-M., Langlais, M., Kuntz, D., Normand, C., Barshay-Szmidt, C., Costamagno, S., Delmas, M., Laroulandie, V., Marsan, G., 2014. The human occupation of the northwestern Pyrenees in the Late Glacial: New data from the Arudy basin, lower Ossau valley. Quaternary International, 364, 126-143.
- Phillips, S.E., Milnes, A.R., Foster, R.C., 1987. Calcified Filaments - an Example of Biological Influences in the Formation of Calcrete in South-Australia. Australian Journal of Soil Research, 25(4), 405-428.
- Piotrowski, J.A., 1992. Was ist ein *Till*? Die Geowissenschaften, 10(4), 100-107. Postma, D., 1983. Pyrite and siderite oxidation in swamp sediments. Journal of Soil Science, 34(1), 163-182.
- Priori, S., Costantini, E.A.C., Capezzuoli, E., Protano, G., Hilgers, A., Sauer, D., Sandrelli, F., 2008. Pedostratigraphy of Terra Rossa and Quaternary geological evolution of a lacustrine limestone plateau in central Italy. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 171(4), 509-523.
- Puigdefabregas, C., Muñoz, J.A., Verges, J., 1992. Thrusting and foreland basin evolution in the Southern Pyrenees. In: K. McClay (Ed.), Thrust tectonics. Chapman & Hall, London, pp. 247-254.

- Pustovoytov, K., 2003. Growth rates of pedogenic carbonate coatings on coarse clasts. *Quaternary International*, 106, 131-140.
- Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London, 334 pp.
- Pye, K., 1995. The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Reviews*, 14(7-8), 653-667.
- Raab, T., Leopold, M., Völkel, J., 2007. Character, age, and ecological significance of Pleistocene periglacial slope deposits in Germany. *Physical Geography*, 28(6), 451-473.
- Raab, T., Völkel, J., 2003. Late Pleistocene glaciation of the Kleiner Arbersee area in the Bavarian forest, south Germany. *Quaternary Science Reviews*, 22(5-7), 581-593.
- Ragg, J.M., Bibby, J.S., 1966. Frost Weathering and Solifluction Products in Southern Scotland. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 48(1), 12-23.
- Rahm, G., 1987. Die Vergletscherung des Belchengebietes (Südschwarzwald) zur Würmeiszeit. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 45, 62-74.
- Rausell-Colom, J.A., Sweatman, T.R., Wells, C.B., Norrish, K., 1965. Studies In The Artificial Weathering Of Mica. In: E.G. Hallsworth, D.V. Crawford (Eds.), *Experimental Pedology*. Butterworths, London, pp. 40-72.
- Ravikovitch, S., 1966. Soils of the mediterranean zone of Israel and their formation. In: S.E.-d.C.d. Suelo (Ed.), *Conference on mediterranean soils*. Sociedad Espanola de Ciencia del Suelo, Madrid, pp. 163-171.
- Reichelt, G., 1961. Über Schotterformen und Rundungsgradanalyse als Feldmethode. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 105(1), 15-25.
- Reille, M., Andrieu, V., 1995. The Late Pleistocene and Holocene in the Lourdes Basin, Western Pyrenees, France - New Pollen Analytical and Chronological Data. *Vegetation History and Archaeobotany*, 4(1), 1-21.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.
- Reiß, S., Dreibrodt, S., Lubos, C.C.M., Bork, H.-R., 2009. Land use history and historical soil erosion at Albersdorf (northern Germany) - Ceased agricultural land use after the pre-historical period. *Catena*, 77(2), 107-118.
- Remmelzwaal, A., 1979. Translocation and transformation of clay in alfisols in early, middle and late Pleistocene coastal sands of southern Italy. *Catena*, 6(3-4), 379.

- Reynolds, R.C., 1980. Interstratified Clay Minerals. In: G.W. Brindley, G. Brown (Eds.), *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification*. Mineralogical Society, London, pp. 249-303.
- Rinterknecht, V., Braucher, R., Böse, M., Bourlès, D., Mercier, J.L., 2012. Late Quaternary ice sheet extents in northeastern Germany inferred from surface exposure dating. *Quaternary Science Reviews*, 44, 89-95.
- Rius, D., Vannière, B., Galop, D., 2012. Holocene history of fire, vegetation and land use from the central Pyrenees (France). *Quaternary Research*, 77(1), 54-64.
- Roads, E., Longton, R.E., Convey, P., 2014. Millennial timescale regeneration in a moss from Antarctica. *Current Biology*, 24(6), R222-R223.
- Rodine, J.D., Johnson, A.M., 1976. The ability of debris, heavily freighted with coarse clastic materials, to flow on gentle slopes. *Sedimentology*, 23(2), 213-234.
- Rodrigues, N., Cobbold, P.R., Loseth, H., Ruffet, G., 2009. Widespread bedding-parallel veins of fibrous calcite ('beef') in a mature source rock (Vaca Muerta Fm, Neuquén Basin, Argentina): evidence for overpressure and horizontal compression. *Journal of the Geological Society*, 166(4), 695-709.
- Rodríguez-Rodríguez, L., Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M.J., Rinterknecht, V., Pallàs, R., Bourlès, D., Valero-Garcés, B., 2014. A multiple dating-method approach applied to the Sanabria Lake moraine complex (NW Iberian Peninsula, SW Europe). *Quaternary Science Reviews*, 83, 1-10.
- Rofes, J., Murelaga, X., Martínez-García, B., Bailon, S., López-Quintana, J.C., Guenaga-Lizaso, A., Ortega, L.Á., Zuluaga, M.C., Alonso-Olazabal, A., Castaños, J., Castaños, P., 2014. The long paleoenvironmental sequence of Santimamiñe (Bizkaia, Spain): 20,000 years of small mammal record from the latest Late Pleistocene to the middle Holocene. *Quaternary International*, 339-340, 62-75.
- Rohdenburg, H., 1971. Einführung in die klimagenetische Geomorphologie anhand eines Systems von Modellvorstellungen; am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs. Lenz, Giessen, 348 pp.
- Roskosch, J., Winsemann, J., Polom, U., Brandes, C., Tsukamoto, S., Weitkamp, A., Bartholomäus, W.A., Henningsen, D., Frechen, M., 2015. Luminescence dating of ice-marginal deposits in northern Germany: evidence for repeated glaciations during the Middle Pleistocene (MIS 12 to MIS 6). *Boreas*, 44(1), 103-126.
- Rother, H., Lehmkuhl, F., Fink, D., Nottebaum, V., 2014. Surface exposure dating reveals MIS-3 glacial maximum in the Khangai Mountains of Mongolia. *Quaternary Research*, 82(2), 297-308.

- Rowell, D.L., Dillon, P.J., 1972. Migration and Aggregation of Na and Ca Clays by the Freezing of Dispersed and Flocculated Suspensions. *Journal of Soil Science*, 23(4), 442-447.
- Ruiz, M., Ruiz, J.P., 1986. Ecological history of transhumance in Spain. *Biological Conservation*, 37(1), 73-86.
- Ruiz Sinoga, J.D., Pariente, S., Diaz, A.R., Martinez Murillo, J.F., 2012. Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). *Catena*, 94, 17-25.
- Rull, V., González-Sampériz, P., Corella, J., Morellón, M., Giralt, S., 2011. Vegetation changes in the southern Pyrenean flank during the last millennium in relation to climate and human activities: the Montcortès lacustrine record. *Journal of Paleolimnology*, 46(3), 387-404.
- Rusakov, A., Sedov, S., 2012. Late Quaternary pedogenesis in periglacial zone of northeastern Europe near ice margins since MIS 3: Timing, processes, and linkages to landscape evolution. *Quaternary International*, 265, 126-141.
- Rusakov, A.V., Korkka, M.A., Kerzum, P.P., Simakova, A.N., 2007. Paleosols in the moraine-mantle loam sequence of northeastern Europe: The memory of pedogenesis rates and evolution of the environment during OIS3. *Catena*, 71(3), 456-466.
- Sahin, N., 2003. Oxalotrophic bacteria. *Research in Microbiology*, 154(6), 399-407. Sandler, A., Meunier, A., Velde, B., 2015. Mineralogical and chemical variability of mountain red-brown Mediterranean soils. *Geoderma*, 239-240, 156-167.
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Haybat, H., Zreda, M., 2014. An early advance of glaciers on Mount Akdağ, SW Turkey, before the global Last Glacial Maximum; insights from cosmogenic nuclides and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 88, 96-109.
- Sauer, D., Felix-Henningsen, P., 2006. Saprolite, soils, and sediments in the Rhenish Massif as records of climate and landscape history. *Quaternary International*, 156-157, 4-12.
- Sawagaki, T., Aoki, T., 2011. Late Quaternary Glaciations in Japan. In: P.L.G. Jürgen Ehlers, D.H. Philip (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 1013-1021.
- Scarciglia, F., Pulice, I., Robustelli, G., Vecchio, G., 2006. Soil chronosequences on Quaternary marine terraces along the northwestern coast of Calabria (Southern Italy). *Quaternary International*, 156, 133-155.
- Schilling, B., 1990. Die Böden im Keuper-Lias-Land Frankens: ihr Aufbau, ihre Deckschichten und ihre Umwelteigenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 204 pp.
- Schilling, W., Wiefel, H., 1962. Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierungen in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. *Geologie*, 11, 428-460.

- Schultze-Lam, S., Fortin, D., Davis, B.S., Beveridge, T.J., 1996. Mineralization of bacterial surfaces. *Chemical Geology*, 132(1-4), 171-181.
- Schunke, E., 1988. Die Fußflächen- und Schichtkammlandschaften der Richardson Mountains (NW-Kanada). Ein Beitrag zur periglazialen Reliefformung. *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften zu Goettingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 5, 79-110.
- Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 105(3), 194-202.
- Schwertmann, U., 1970. Der Einfluss einfacher organischer Anionen auf die Bildung von Goethit und Hämatit aus amorphen Fe(III) - hydroxid. *Geoderma*, 3(3), 207-214.
- Schwertmann, U., Fischer, W.R., Taylor, R.M., 1974. New aspects of iron oxide formation in soils, 10th International Congress of Soil Science, Moscow, pp. 237-249.
- Schwertmann, U., Friedl, J., Stanjek, H., 1999. From Fe(III) ions to ferrihydrite and then to hematite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 209(1), 215-223.
- Schwertmann, U., Friedl, J., Stanjek, H., Schulze, D.G., 2000a. The effect of Al on Fe oxides. XIX. Formation of Al-substituted hematite from ferrihydrite at 25 degrees C and pH 4 to 7. *Clays and Clay Minerals*, 48(2), 159-172.
- Schwertmann, U., Friedl, J., Stanjek, H., Schulze, D.G., 2000b. The effect of clay minerals on the formation of goethite and hematite from ferrihydrite after 16 years' ageing at 25 degrees C and pH 4-7. *Clay Minerals*, 35(4), 613-623.
- Schwertmann, U., Murad, E., Schulze, D.G., 1982. Is there holocene reddening (hematite formation) in soils of axeric temperate areas? *Geoderma*, 27(3), 209-223.
- Seeger, M., 2001. Boden und Bodenwasserhaushalt als Indikatoren der Landdegradierung auf extensivierten Nutzflächen in Aragón/Spanien. *Freiburger Geographische Hefte*, 63. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Freiburg i. Br., 184 pp.
- Seeger, M., Ries, J.B., 2008. Soil degradation and soil surface process intensities on abandoned fields in Mediterranean mountain environments. *Land Degradation & Development*, 19(5), 488-501.
- Sejrup, H.P., Larsen, E., Landvik, J., King, E.L., Haflidason, H., Nesje, A., 2000. Quaternary glaciations in southern Fennoscandia: evidence from southwestern Norway and the northern North Sea region. *Quaternary Science Reviews*, 19(7), 667-685.
- Semmel, A., 1964. Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. *Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden*, 92, 275-285.
- Semmel, A., 1985. Periglazialmorphologie. *Erträge der Forschung. Wiss. Buchges., Darmstadt*, 116 pp.

- Semmel, A., 2001. In memoriam: die Phäno-Parabraunerde. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft*, 96(2), 561-562.
- Semmel, A., Terhorst, B., 2010. The concept of the Pleistocene periglacial cover beds in central Europe: A review. *Quaternary International*, 222(1-2), 120-128.
- Serrano, E., 1998. *Geomorfología del Alto Gállego*, Zaragoza, 504 pp.
- Serrano, E., González-Trueba, J.J., González-García, M., 2012. Mountain glaciation and paleoclimate reconstruction in the Picos de Europa (Iberian Peninsula, SW Europe). *Quaternary Research*, 78(2), 303-314.
- Serrano, E., González-Trueba, J.J., Pellitero, R., González-García, M., Gómez-Lende, M., 2013. Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (Northern Spain). *Geomorphology*, 196, 65-82.
- Serrano, E., San José, J.J., Agudo, C., 2006. Rock glacier dynamics in a marginal periglacial high mountain environment: Flow, movement (1991-2000) and structure of the Argualas rock glacier, the Pyrenees. *Geomorphology*, 74(1-4), 285-296.
- Sheinkman, V.S., 2011. Glaciation in the High Mountains of Siberia. In: J. Ehlers, P.L. Gibbard, P. Hughes, D. (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 883-907.
- Shur, Y., Hinkel, K.M., Nelson, F.E., 2005. The transient layer: implications for geocryology and climate-change science. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(1), 5-17.
- Singer, A., 2007. *The Soils of Israel*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 306 pp.
- Skowronek, A., 1978. Untersuchungen zur Terra rossa in E- und S-Spanien - ein regionalpedologischer Vergleich. *Würzburger Geographische Arbeiten*, 47, Würzburg. Skowronek, A., 1979. Die Terra rossa in Spanien und ihre Bedeutung für klimageomorphologische Fragestellungen *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, 33, 135-142.
- Slaymaker, O., 2011. Criteria to distinguish between periglacial, proglacial and paraglacial environments. *Quaestiones Geographicae*, 30(1), 85-94.
- Small, R.J., 1983. Lateral Moraines Of Glacier De Tsidjiore Nouve: Form, Development, And Implications. *Journal of Glaciology*, 29(102), 250-259.
- Smalley, I., Markovi?, S.B., Svir?ev, Z., 2011. Loess is [almost totally formed by] the accumulation of dust. *Quaternary International*, 240(1-2), 4-11.
- Smalley, I., O'Hara-Dhand, K., Kwong, J., 2014. China: Materials for a loess landscape. *Catena*, 117, 100-107.
- Smith, C.A.S., Fox, C.A., Hargrave, A.E., 1991. Development of soil structure in some turbic cryosols in the Canadian low Arctic. *Canadian Journal of Soil Science*, 71(1), 11-29.
- Smith, J., 1956. Some Moving Soils in Spitsbergen. *Journal of Soil Science*, 7(1), 11-21.

- Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Department of Agriculture Handbook, 436.
- Solé Sabaris, L., 1942. La Cannal de Berdún. *Estudios Geograficos*, 3(7), 271-318.
- Spörlein, P., Dilling, J., Joneck, M., 2004. Pilotstudie zur Gleichwertigkeit oder Vergleichbarkeit der Korngrößenbestimmung von Bodenproben nach E DIN ISO 11277:06.94 (Pipettmethode) und mit dem Sedigraphen. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5), 649-656.
- Stäblein, G., 1970. Grobsediment-Analyse. *Würzburger Geographische Arbeiten*, 27, Würzburg.
- Stange, K.M., van Balen, R., Carcaillet, J., Vandenberghe, J., 2013. Terrace staircase development in the Southern Pyrenees Foreland: Inferences from  $^{10}\text{Be}$  terrace exposure ages at the Segre River. *Global and Planetary Change*, 101(0), 97-112.
- Stange, K.M., van Balen, R.T., Kasse, C., Vandenberghe, J., Carcaillet, J., 2014. Linking morphology across the glaciofluvial interface: a  $^{10}\text{Be}$  supported chronology of glacier advances and terrace formation in the Garonne River, northern Pyrenees, France. *Geomorphology*, 207, 71-95.
- Stephan, S., 1996. Substratschichtung und finale Bodenerosion in Westdeutschland. In: L.f.N.-u.U.d.L. Schleswig-Holstein (Ed.), *Beiträge aus dem Arbeitskreis "Paläopedologie"* der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Kiel, pp. 29-36.
- Stevens, R.E., Hermoso-Buxán, X.L., Marín-Arroyo, A.B., González-Morales, M.R., Straus, L.G., 2014. Investigation of Late Pleistocene and Early Holocene palaeoenvironmental change at El Mirón cave (Cantabria, Spain): Insights from carbon and nitrogen isotope analyses of red deer. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 414, 46-60.
- Stober, C., George, E., Persson, H., 2000. Root growth and response to nitrogen. In: E.-D. Schulze (Ed.), *Carbon and Nitrogen cycling in European Forest Ecosystems*. Ecological Studies. Springer, Berlin, pp. 99-121.
- Stokes, C.R., Tarasov, L., Dyke, A.S., 2012. Dynamics of the North American Ice Sheet Complex during its inception and build-up to the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 50, 86-104.
- Stolz, C., Grunert, J., 2012. Observation on the inclination of clasts in periglacial cover-beds in the Rhenish Massiv (Germany). In: B. Damm, B. Terhorst, H. Thiemeyer (Eds.), *Hillslope processes in geomorphic systems on varying temporal and spatial scales*. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*. Gebrüder Bornträger, Berlin, pp. 55-76.
- Stoops, G., 1983. Sem and light microscopic observations of minerals in bog-ores of the belgian campine. *Geoderma*, 30(1-4), 179-186.

- Stoops, G., 2003. Guidelines for analysis and description of soils and regolith thin sections. Soil Science Society of America, Madison, 184 pp.
- Strasser, H., Burgstaller, W., Schinner, F., 1994. High-yield production of oxalic acid for metal leaching processes by *Aspergillus niger*. *Fems Microbiology Letters*, 119(3), 365-370.
- Straus, L.G., González Morales, M.R., 2012. The Magdalenian settlement of the Cantabrian region (Northern Spain): The view from El Miron Cave. *Quaternary International*, 272-273, 111-124.
- Swanson, S., Gilroy, S., 2013. Calcium: From root macronutrient to mechanical signal. In: A. Eshel, T. Beeckman (Eds.), *Plant roots the hidden half*. Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 1-13.
- Swett, K., 1974. Calcrete Crusts in an Arctic Permafrost Environment. *American Journal of Science*, 274(9), 1059-1063.
- Tan, W.-F., Zhang, R., Cao, H., Huang, C.-Q., Yang, Q.-K., Wang, M.-k., Koopal, L.K., 2014. Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China. *Catena*, 121(0), 22-30.
- Taylor, R.M., 1980. Formation and Properties of Fe(II) Fe(III) Hydroxy-Carbonate and Its Possible Significance in Soil Formation. *Clay Minerals*, 15(4), 369-382.
- Teixell, A., 1996. The Ansó transect of the southern Pyrenees: basement and cover thrust geometries. *Journal of the Geological Society*, 153(2), 301-310.
- Teixell, A., 1998. Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees. *Tectonics*, 17(3), 395-406.
- Terhorst, B., Ottner, F., 2003. Polycyclic luvisols in Northern Italy: palaeopedological and clay mineralogical characteristics. *Quaternary International*, 106-107, 215-231.
- Ternet, Y., Majeste-Mienjoulas, C., Canerot, J., Baudin, T., Cocherie, A., Guerrot, C., Rossi, P., 2004. Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Laruns-Somport (1069). BRGM, Orléans.
- Thackray, G.D., Owen, L.A., Yi, C., 2008. Timing and nature of late Quaternary mountain glaciation. *Journal of Quaternary Science*, 23(6-7), 503-508.
- Thiébaud, C., Mourre, V., Chalard, P., Colonge, D., Coudenneau, A., Deschamps, M., Sacco-Sonador, A., 2012. Lithic technology of the final Mousterian on both sides of the Pyrenees. *Quaternary International*, 247, 182-198.
- Thorn, C.E., Hall, K., 2002. Nivation and cryoplanation: the case for scrutiny and integration. *Progress in Physical Geography*, 26(4), 533-550.
- Torrent, J., 1976. Soil development in a sequence of river terraces in northern Spain. *Catena*, 3(1), 137-151.

- Torrent, J., Cabedo, A., 1986. Sources of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in Southern Spain. *Geoderma*, 37(1), 57-66.
- Torrent, J., Guzman, R., Parra, M.A., 1982. Influence of relative humidity on the crystallization of Fe(III) oxides from ferrihydrite. *Clays and Clay Minerals*, 30(5), 337-340.
- Torrent, J., Schwertmann, U., Fechter, H., Alferez, F., 1983. Quantitative Relationships Between Soil Color And Hematite Content. *Soil Science*, 136(6), 354-358.
- Treadwell-Steitz, C., McFadden, L.D., 2000. Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils, Pale Duro Wash, New Mexico. *Geoderma*, 94(1), 1-22.
- Tributh, H., 1976. Die Umwandlung der glimmerartigen Schichtsilikate zu aufweitbaren Dreischicht-Tonmineralen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 139(1), 7-25.
- Tributh, H., 1991. Qualitative und „quantitative“ Bestimmung der Tonminerale in Bodentonen. In: H. Tributh, G. Lagaly (Eds.), *Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen* Offset Köhler, Giessen, pp. 37-85.
- Trueba, J.J.G., Moreno, R.M., de Pison, E.M., Serrano, E., 2008. 'Little Ice Age' glaciation and current glaciers in the Iberian Peninsula. *Holocene*, 18(4), 551-568.
- Tsoar, H., Pye, K., 1987. Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology*, 34(1), 139-153.
- Tugend, J., Manatschal, G., Kuszniir, N.J., Masini, E., Mohn, G., Thinon, I., 2014. Formation and deformation of hyperextended rift systems: Insights from rift domain mapping in the Bay of Biscay-Pyrenees. *Tectonics*, 33(7), 1239-1276.
- Turner, C., Hannon, G.E., 1988. Vegetational evidence for late Quaternary climatic changes in southwest Europe in relation to the influence of the North Atlantic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 318, 451-485.
- Turu, V., Boulton, G.S., Visus, X.R.I., Ibern, J.B., Serrano-Canadas, E., Sancho-Marcen, C., Constante-Orrios, A., 2007. Structure of the large glacial basins in the Northern Iberian Peninsula, a comparison study: Andorra (Eastern Pyrenees), Gallego (Central Pyrenees) and Trueba valley (Cantabric range). *Quaternaire*, 18(4), 309-325.
- Valero-Garces, B.L., Gonzalez-Samperiz, P., Navas, A., Machin, J., Delgado-Huertas, A., Penamonne, J.L., Sancho-Marcen, C., Stevenson, T., Davis, B., 2004. Paleohydrological fluctuations and steppe vegetation during the last glacial maximum in the central Ebro valley (NE Spain). *Quaternary International*, 122, 43-55.
- van Breemen, N., Lundström, U.S., Jongmans, A.G., 2000. Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? *Geoderma*, 94(2-4), 163-171.
- van der Meer, J.J.M., 1997. Particle and aggregate mobility in till: Microscopic evidence of subglacial processes. *Quaternary Science Reviews*, 16(8), 827-831.
- van der Meer, J.J.M., Menzies, J., 2011. The Micromorphology of Unconsolidated Sediments. *Sedimentary Geology*, 238, 213-232.

- van der Meer, J.J.M., Menzies, J., Rose, J., 2003. Subglacial till: the deforming glacier bed. *Quaternary Science Reviews*, 22(15-17), 1659-1685.
- van der Meer, J.J.M., Mûcher, H.J., Höfle, H.C., 1993. Micromorphological Observations on Till Samples from the Shackleton Range and North Victoria Land, Antarctica. *Polarforschung*, 62(1), 57-65.
- van Loon, A.J., 2006. Lost loesses. *Earth-Science Reviews*, 74(3-4), 309-316.
- van Schuylenborgh, J., 1973. Sesquioxide formation and -transformation. In: E. Schlichting, U. Schwertmann (Eds.), *Pseudogley & Gley*. Verlag Chemie, Weinheim, pp. 93-102.
- van Steijn, H., Boelhouwers, J., Harris, S.A., Héту, B., 2002. Recent research on the nature, origin and climatic relations of blocky and stratified slope deposits. *Progress in Physical Geography*, 26(4), 551-575.
- van Vliet-Lanoë, B., 1982. Structures et microstructures associées à la formation de glace de ségrégation: leurs conséquences, *Comptes rendus de la 4ème conférence canadienne sur le pergélisol*, pp. 116-122.
- van Vliet-Lanoë, B., 1985. Frost effects in soils. In: J. Boardman (Ed.), *Soils and Quaternary Landscape evolution*. Wiley, Chichester, pp. 117-158.
- van Vliet-Lanoë, B., 1990. The genesis and age of the argillic horizon in Weichselian loess of northwestern Europe. *Quaternary International*, 5, 49-56.
- van Vliet-Lanoë, B., 1991. Chronostratigraphy and paleoclimatic meaning of cryogenic deformations in the Central European loess. *GeoJournal*, 24(2), 157-163.
- van Vliet-Lanoë, B., Lisitsyna, O., 2001. Permafrost extent at the Last Glacial Maximum and at the Holocene optimum. *The Climex Map In: R. Paepe, A. Melnikov (Eds.), Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources* Kluwer, Bordrecht, pp. 215-225.
- Van Zuidam, R.A., 1976a. *Geomorphological Development of the Zaragoza Region*, Enschede, 211 pp.
- Van Zuidam, R.A., 1976b. Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 20, 227-234.
- Vandenberghe, J., Czudek, T., 2008. Pleistocene cryopediments on variable terrain. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19(1), 71-83.
- Vandenberghe, J., French, H.M., Gorbunov, A., Marchenko, S., Velichko, A.A., Jin, H., Cui, Z., Zhang, T., Wan, X., 2014. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP. *Boreas*, 43(3), 652-666.
- Velde, B., Meunier, A., 2010. *The origin of clay minerals in soils and weathered rocks*. Springer, Berlin-Heidelberg, 406 pp.

- Veneman, P.L.M., Vepraskas, M.J., Bouma, J., 1976. The physical significance of soil mottling in a Wisconsin toposequence. *Geoderma*, 15(2), 103-118.
- Verecchia, E., Braissant, O., Cailleau, G., 2006. The oxalate-carbonate pathway in soil carbon storage: the role of fungi and oxalotrophic bacteria. In: G.M. Gadd (Ed.), *Fungi in Biogeochemical Cycles*, pp. 289-310.
- Verecchia, E.P., Verecchia, K.E., 1994. Needle-Fiber Calcite - a Critical-Review and a Proposed Classification. *Journal of Sedimentary Research Section a-Sedimentary Petrology and Processes*, 64(3), 650-664.
- Villagran, X.S., Poch, R.M., 2014. A new form of needle-fiber calcite produced by physical weathering of shells. *Geoderma*, 213(0), 173-177.
- Vogt, T., Corte, A.E., 1996. Secondary precipitates in Pleistocene and present cryogenic environments (Mendoza Precordillera, Argentina, Transbaikalia, Siberia, and Seymour Island, Antarctica). *Sedimentology*, 43(1), 53-64.
- Vogt, T., Larqué, P., 2002. Clays and secondary minerals as permafrost indicators: examples from the circum-Baikal region. *Quaternary International*, 95-96, 175-187.
- Völkel, J., 1994. Zur Frage der Merkmalcharakteristik und Gliederung periglazialer Deckschichten am Beispiel des Bayerischen Waldes. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 138(4), 207-217.
- Völkel, J., 1995a. Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte, 96. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 301 pp.
- Völkel, J., 1995b. Zur Darstellung von Schichtwechseln in periglazialen Decklagen des Bayerischen Waldes unter besonderer Berücksichtigung der Mittellage und ihrer Eigenschaften. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 158, 177-186.
- Völkel, J., Leopold, M., 2001. Zur zeitlichen Einordnung der jüngsten periglazialen Aktivitätsphase im Hangrelief zentraleuropäischer Mittelgebirge *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 45(3), 273-294.
- Völkel, J., Mahr, A., 2001. Die IRSL-Datierung von periglazialen Hangsedimenten - Ergebnisse aus dem Bayerischen Wald. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 45(3), 295-305.
- von Buch, M.W., 1969. Konkretionen und Pseudokonkretionen als Reliktformen in Sandstein-Periglazialschuttböden der Provinz Vizcaya, Nordspanien. In: S. Kowalinski, J. Drozd, S. Licznar (Eds.), *Soil Micromorphology - Proceedings of the Third International Working-Meeting on Soil Micromorphology*. Polska Akademia Nauk, Wroclaw, pp. 169-181.
- von Zetzschwitz, E., Schwertmann, U., Ulrich, B., 1973. Die Podsolierungsstadien von Braunerden aus Schieferschutt. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 136(1), 40-52.

- Wagner, S., Costantini, E.A.C., Sauer, D., Stahr, K., 2007. Soil genesis in a marine terrace sequence of Sicily, Italy. *Revista Mexicana De Ciencias Geologicas*, 24(2), 247-260.
- Wagner, S., Günster, N., Skowronek, A., 2012. Genesis and climatic interpretation of paleosols and calcretes in a plio-pleistocene alluvial fan of the costa blanca (SE Spain). *Quaternary International*, 265, 170-178.
- Walker, G.F., 1957. On the differentiation of vermiculites and smectites in clays. *Clay Mineral Bulletin*, 3, 154-163.
- Walker, G.F., 1958. Reactions of expanding lattice minerals with glycerol and ethylene glycol. *Clay Mineral Bulletin*, 3, 302-313.
- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S.O., Popp, T., Steffensen, J.-P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L.C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D.J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24(1), 3-17.
- Wenzens, G., 1992. Mittelquartäre Klimaverhältnisse und Reliefentwicklung im semiariden Becken von Vere (Südostspanien). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 42, 121-133.
- White, S., García-Ruiz, J.M., Martí, C., Alvera, B., Del Barrio, G., 1997a. Sediment transport in a high mountain catchment in the central Spanish Pyrenees. *Physics and Chemistry of The Earth*, 22(3-4), 377-380.
- White, S., GarciaRuiz, J.M., Marti, C., Valero, B., Errea, M.P., GomezVillar, A., 1997b. The 1996 Biescas Campsite Disaster in the central Spanish Pyrenees, and its temporal and spatial context. *Hydrological Processes*, 11(14), 1797-1812.
- Wieder, M., Yaalon, D.H., 1974. Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallization. *Geoderma*, 11(2), 95-121.
- Wieder, M., Yaalon, D.H., 1982. Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nobular forms related to soil characteristics. *Geoderma*, 28(3-4), 203-220.
- Williams, P.J., Smith, M.W., 1991. *The frozen earth fundamentals of geocryology*. Studies in polar research. Cambridge Univ. Press, Cambridge [u.a.], 306 pp.
- Wilson, M.J., 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34(1), 7-25.
- Woodcock, N.H., 1977. Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1231-1236.
- Woodward, J.C., Hamlin, R.H.B., Macklin, M.G., Hughes, P.D., Lewin, J., 2008. Glacial activity and catchment dynamics in northwest Greece: Long-term river behaviour and the

- slackwater sediment record for the last glacial to interglacial transition. *Geomorphology*, 101(1-2), 44-67.
- Wright, W.R., Foss, J.E., 1968. Movement of Silt-Sized Particles in Sand Columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 32(3), 446-448.
- Xiao, B., Zhao, Y., Wang, H., Wu, J., 2014. Natural recovery of moss-dominated biological soil crusts after surface soil removal and their long-term effects on soil water conditions in a semi-arid environment. *Catena*, 120, 1-11.
- Yaalon, D.H., 1997. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, 28(3-4), 157-169.
- Yonovitz, M., Drohan, P.J., 2009. Pore morphology characteristics of vesicular horizons in undisturbed and disturbed arid soils; implications for arid land management. *Soil Use and Management*, 25(3), 293-302.
- Zech, R., May, J.-H., Kull, C., Ilgner, J., Kubik, P.W., Veit, H., 2008. Timing of the late Quaternary glaciation in the Andes from  $\approx 15$  to  $40^\circ$  S. *Journal of Quaternary Science*, 23(6-7), 635-647.
- Zhou, J., Chafetz, H.S., 2009. Biogenic caliches in Texas: The role of organisms and effect of climate. *Sedimentary Geology*, 222(3-4), 207-225.
- Zhou, X., Buchli, T., Kinzelbach, W., Stauffer, F., Springman, S.M., 2014. Analysis of Thermal Behaviour in the Active Layer of Degrading Mountain Permafrost. *Permafrost and Periglacial Processes*, 26(1), 39-56.
- Zielhofer, C., Recio Espejo, J.M., Núñez Granados, M.À., Faust, D., 2009. Durations of soil formation and soil development indices in a Holocene Mediterranean floodplain. *Quaternary International*, 209(1-2), 44-65.
- Zindler-Frank, E., 1976. Oxalate Biosynthesis in Relation to Photosynthetic Pathway and Plant Productivity - a Survey. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 80(1), 1-13.
- Zorita, E., 1990. Hacia una nueva estrategia de la ganadería ovina en España, armonizando recursos alimenticios y objetivos medioambientales. *Ovis*, 11, 9-42.
- Zucca, C., Sechi, D., Andreucci, S., Shaddad, S.M., Deroma, M., Madrau, S., Previtali, F., Pascucci, V., Kapur, S., 2014. Pedogenic and palaeoclimatic evidence from an Eemian calcrete in north-western Sardinia (Italy). *European Journal of Soil Science*, 65(4), 420-435.

# Anhang

1	Profilbeschreibung Profil 100 . . . . .	384
2	Profilbeschreibung Profil 101 bis 104 . . . . .	385
3	Profilbeschreibung Profil 106 . . . . .	386
4	Profilbeschreibung Profil 107 . . . . .	387
5	Profilbeschreibung Profil 108 . . . . .	388
6	Profilbeschreibung Profil 110 . . . . .	389
7	Profilbeschreibung Profil 111 . . . . .	390
8	Profilbeschreibung Profil 112 . . . . .	391
9	Profilbeschreibung Profil 113 . . . . .	392
10	Profilbeschreibung Profil 114 . . . . .	393
11	Profilbeschreibung Profil 115 . . . . .	394
12	Profilbeschreibung Profil 116 . . . . .	395
13	Profilbeschreibung Profil 117 . . . . .	396
14	Profilbeschreibung Profil 118 . . . . .	397
15	Profilbeschreibung Profil 119 . . . . .	398
16	Profilbeschreibung Profil 120 . . . . .	399
17	Profilbeschreibung Profil 121 . . . . .	400
18	Profilbeschreibung Profil 122 . . . . .	401
19	Profilbeschreibung Profil 123 . . . . .	402
20	Profilbeschreibung Profil 124 . . . . .	403
21	Profilbeschreibung Profil 125 . . . . .	404
22	Profilbeschreibung Profil 126 . . . . .	405
23	Profilbeschreibung Profil 127 . . . . .	406
24	Profilbeschreibung Profil 128 . . . . .	407
25	Profilbeschreibung Profil 129 . . . . .	408
26	Profilbeschreibung Profil 130 . . . . .	409
27	Profilbeschreibung Profil 131 . . . . .	410
28	Profilbeschreibung Profil 132 . . . . .	411
29	Profilbeschreibung Profil 133 . . . . .	412
30	Profilbeschreibung Profil 134 . . . . .	413
31	Profilbeschreibung Profil 135 . . . . .	414
32	Profilbeschreibung Profil 136 . . . . .	415
33	Profilbeschreibung Profil 137 . . . . .	416

34	Profilbeschreibung Profil 138 . . . . .	417
35	Profilbeschreibung Profil 139 . . . . .	418
36	Profilbeschreibung Profil 140 . . . . .	419
37	Profilbeschreibung Profil 141 . . . . .	420
38	Profilbeschreibung Profil 142 . . . . .	421
39	Profilbeschreibung Profil 143 . . . . .	422
40	Profilbeschreibung Profil 144 . . . . .	423
41	Profilbeschreibung Profil 145 . . . . .	424
42	Profilbeschreibung Profil 146 . . . . .	425
43	Profilbeschreibung Profil 147 . . . . .	426
44	Profilbeschreibung Profil 148 . . . . .	427
45	Profilbeschreibung Profil 149 . . . . .	428
46	Profilbeschreibung Profil 150 . . . . .	429
47	Profilbeschreibung Profil 151 . . . . .	430
48	Profilbeschreibung Profil 152 . . . . .	431
49	Profilbeschreibung Profil 153 . . . . .	432
50	Profilbeschreibung Profil 154 . . . . .	433
51	Profilbeschreibung Profil 155 . . . . .	434
52	Profilbeschreibung Profil 156 . . . . .	435
53	Profilbeschreibung Profil 157 . . . . .	436
54	Profilbeschreibung Profil 158 . . . . .	437
55	Profilbeschreibung Profil 159 . . . . .	438
56	Profilbeschreibung Profil 160 . . . . .	439
57	Profilbeschreibung Profil 161 . . . . .	440
58	Profilbeschreibung Profil 162 . . . . .	441
59	Profilbeschreibung Profil 163 . . . . .	442
60	Profilbeschreibung Profil 164 . . . . .	443
61	Profilbeschreibung Profil 165 . . . . .	444
62	Profilbeschreibung Profil 166 . . . . .	445
63	Profilbeschreibung Profil 167 . . . . .	446
64	Profilbeschreibung Profil 168 . . . . .	447
65	Profilbeschreibung Profil 169 . . . . .	448
66	Profilbeschreibung Profil 170 . . . . .	449
67	Profilbeschreibung Profil 171 . . . . .	450
68	Profilbeschreibung Profil 172 . . . . .	451
69	Profilbeschreibung Profil 173 . . . . .	452
70	Profilbeschreibung Profil 174 . . . . .	453

71	Profilbeschreibung Profil 175 . . . . .	454
72	Profilbeschreibung Profil 176 . . . . .	455
73	Profilbeschreibung Profil 177 . . . . .	456
74	Profilbeschreibung Profil 178 . . . . .	457
75	Profilbeschreibung Profil 179 . . . . .	458
76	Profilbeschreibung Profil 180 . . . . .	459
77	Profilbeschreibung Profil 181 . . . . .	460
78	Profilbeschreibung Profil 182 . . . . .	461
79	Profilbeschreibung Profil 183 . . . . .	462
80	Profilbeschreibung Profil 184 . . . . .	463
81	Profilbeschreibung Profil 185 . . . . .	464
82	Profilbeschreibung Profil 186 . . . . .	465
83	Profilbeschreibung Profil 187 . . . . .	466
84	Profilbeschreibung Profil 188 . . . . .	467
85	Profilbeschreibung Profil 189 . . . . .	468
86	Profilbeschreibung Profil 190 . . . . .	469
87	Profilbeschreibung Profil 191 . . . . .	470
88	Profilbeschreibung Profil 192 . . . . .	471
89	Profilbeschreibung Profil 193 . . . . .	472
90	Profilbeschreibung Profil 194 . . . . .	473
91	Profilbeschreibung Profil 195 . . . . .	474
92	Profilbeschreibung Profil 196 . . . . .	475
93	Profilbeschreibung Profil 197 . . . . .	476
94	Profilbeschreibung Profil 198 . . . . .	477
95	Profilbeschreibung Profil 199 . . . . .	478
96	Profilbeschreibung Profil 200 . . . . .	479
97	Profilbeschreibung Profil 201 . . . . .	480
98	Profilbeschreibung Profil 202 . . . . .	481
99	Profilbeschreibung Profil 203 . . . . .	482
100	Profilbeschreibung Profil 204 . . . . .	483
101	Profilbeschreibung Profil 205 . . . . .	484
102	Profilbeschreibung Profil 206 . . . . .	485
103	Profilbeschreibung Profil 207 . . . . .	486
104	Profilbeschreibung Profil 208 . . . . .	487
105	Profilbeschreibung Profil 209 . . . . .	488
106	Profilbeschreibung Profil 210 . . . . .	489
107	Profilbeschreibung Profil 211 . . . . .	490

108 Profilbeschreibung Profil 212 . . . . .	491
109 Profilbeschreibung Profil 213 . . . . .	492
110 Profilbeschreibung Profil 214 . . . . .	493
111 Profilbeschreibung Profil 215 . . . . .	494
112 Profilbeschreibung Profil 216 . . . . .	495
113 Profilbeschreibung Profil 217 . . . . .	496
114 Profilbeschreibung Profil 218 . . . . .	497
115 Profilbeschreibung Profil 219 . . . . .	498
116 Profilbeschreibung Profil 220 . . . . .	499
117 Profilbeschreibung Profil 221 . . . . .	500
118 Profilbeschreibung Profil 222 . . . . .	501
119 Profilbeschreibung Profil 223 . . . . .	502
120 Profilbeschreibung Profil 224 . . . . .	503
121 Profilbeschreibung Profil 225 . . . . .	504
122 Profilbeschreibung Profil 226 . . . . .	505
123 Profilbeschreibung Profil 227 . . . . .	506
124 Profilbeschreibung Profil 228 . . . . .	507
125 Profilbeschreibung Profil 229 . . . . .	508
126 Profilbeschreibung Profil 230 . . . . .	509
127 Profilbeschreibung Profil 231 . . . . .	510
128 Profilbeschreibung Profil 232 . . . . .	511
129 Profilbeschreibung Profil 232 . . . . .	512
130 Laborwerte Profil 100 . . . . .	513
131 Laborwerte Profil 101 . . . . .	513
132 Laborwerte Profil 107 . . . . .	514
133 Laborwerte Profil 108 . . . . .	514
134 Laborwerte Profil 110 . . . . .	514
135 Laborwerte Profil 111 . . . . .	515
136 Laborwerte Profil 117 . . . . .	515
137 Laborwerte Profil 123 . . . . .	515
138 Laborwerte Profil 127 . . . . .	516
139 Laborwerte Profile 140, 141, 142 . . . . .	516
140 Laborwerte Profile 146 und 147 . . . . .	516
141 Laborwerte Profil 149 . . . . .	516
142 Laborwerte Profil 155 . . . . .	517
143 Laborwerte Profil 158 . . . . .	517
144 Laborwerte Profil 159 . . . . .	517

145 Laborwerte Profil 162 . . . . .	517
146 Laborwerte Profil 163 . . . . .	517
147 Laborwerte Profil 164 . . . . .	518
148 Laborwerte Profil 166 . . . . .	518
149 Laborwerte Profil 167 . . . . .	519
150 Laborwerte Profil 170 . . . . .	519
151 Laborwerte Profil 171 . . . . .	519
152 Laborwerte Profil 172 . . . . .	520
153 Laborwerte Profil 173 . . . . .	520
154 Laborwerte Profil 174 . . . . .	521
155 Laborwerte Profil 175 . . . . .	521
156 Laborwerte Profil 176 . . . . .	522
157 Laborwerte Profil 177 . . . . .	522
158 Laborwerte Profil 181 . . . . .	522
159 Laborwerte Profile 185 und 188 . . . . .	522
160 Laborwerte Profil 186 . . . . .	522
161 Laborwerte Profil 190 . . . . .	523
162 Laborwerte Profile 192 und 193 . . . . .	523
163 Laborwerte Profil 194 . . . . .	524
164 Laborwerte Profil 195 . . . . .	524
165 Laborwerte Profil 198 . . . . .	524
166 Laborwerte Profil 199 . . . . .	525
167 Laborwerte Profil 202 . . . . .	525
168 Laborwerte Profil 204 . . . . .	525
169 Laborwerte Profil 205 . . . . .	526
170 Laborwerte Profil 206 . . . . .	526
171 Laborwerte Profil 210 . . . . .	527
172 Laborwerte Profil 211 . . . . .	527
173 Laborwerte Profil 212 . . . . .	528
174 Laborwerte Profil 213 . . . . .	528
175 Laborwerte Profil 214 . . . . .	529
176 Laborwerte Profil 215 . . . . .	529
177 Laborwerte Profil 216 . . . . .	529
178 Laborwerte Profil 217 . . . . .	530
179 Laborwerte Profil 219/223/224 . . . . .	530
180 Laborwerte Profil 220 . . . . .	531
181 Laborwerte Profil 221 . . . . .	531

182 Laborwerte Profil 222 . . . . .	531
183 Laborwerte Profil 225 . . . . .	531
184 Laborwerte Profil 226 . . . . .	532
185 Laborwerte Profil 227 . . . . .	532
186 Laborwerte Profil 229 . . . . .	532
187 Laborwerte Profil 230 . . . . .	533
188 Laborwerte Profil 231 . . . . .	533
189 Laborwerte Profil 232 . . . . .	533
190 Auswertung der Situmetrie mittels Eigenwerten nach Benn (2004) . . . . .	534
191 Morphometrie des Grobbodens . . . . .	534
192 Rohdaten Situmetrie Profile 110, 119, 135, 136, 140, 142, 148, 149 und 150 . . . . .	535
193 Rohdaten Situmetrie Profile 152, 153, 164, 166, 167, 169 und 171 . . . . .	536
194 Rohdaten Situmetrie Profile 175, 180, 195, 197, 198 und 204 . . . . .	537
195 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 13-26 cm unter GOK . . . . .	538
196 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 63-75 cm unter GOK . . . . .	538
197 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 68-110 cm unter GOK . . . . .	538
198 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 222, 18-36 cm unter GOK . . . . .	539
199 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 51-67 cm unter GOK . . . . .	539
200 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 224, 0-26 cm unter GOK . . . . .	540
201 Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 224, 26-52 cm unter GOK . . . . .	540

# Anhang 1: Profilbeschreibung Profil 100

<b>Profil: 29/9/100</b>				
<b>Datum:</b> 29.09.2006		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Sabiñángo		<b>Aufschluß:</b> Flussterrassen-Kante		
<b>Lage:</b> Flussterrasse östlich von Cartirana, Südost-Hang Richtung Sabiñángo, 30 m SÖ des Trinkwasserspeichers, 30 T 715490 4712303, 890 m		<b>Profilübersicht:</b> Straßenanschnitt an Flussterrasse, zweiteiliges Profil, Distanz zwischen den beiden Anschnitten etwa 10 m, erstes Profil bis 160 cm Tiefe, zweites Profil bis 240 cm, rotbraune Terrassenschotter über anstehendem graugelben Mergel, Schotter aus kantengerundeten Steinen und Blöcken, Feinmatrix eingebettet, schwer grabbar, Sekundärkarbonat, anstehender Mergel etwa 220 cm unter GOF		
<b>Relief:</b> Flach gestreckte Terrassenfläche				
<b>Vegetation:</b> Brache/Grünland und Hartlaubgewächse, Vegetationsbedeckung 80% (Gräser)				
				
Aufschluss I: 0 bis 160 cm unter GOF		Aufschluss II: 160 bis 240 cm unter GOF		
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde aus Schotter über verbrauntem Schotter über anstehendem Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-6	Ach	Farbe: 7,5 YR 4/4; Durchwurzelung w3, schwach verfestigt, rotbraun dunkel, Horizontgrenze eben-wellig, Skelettanteil ca. 15 %, Sekundärkarbonat an US von Grobboden; weiße Konkretionen (< 1 mm Durchmesser); Feinboden c3 bis c4; Krümel- bis Subpolyedergefüge; wenig Mittelporen; Trockenrisse.	1	0-6
6-18	Bv-elCv	Farbe: 7,5 YR 4/4; Wurzeln von der Seite, schwach verfestigt, rotbraun (etwas heller als darüber), Horizontgrenze eben-wellig, Skelettanteil ca. 25 % (Kies, Grus, Steine; Lithologie: KS SA, K), viel Fein- bis Mittelgrus, extrem carbonathaltig (wie darüber), Sekundärkarbonat; weiße Kalkkonkretionen im Feinboden; Grobboden teilweise mit Kalkkrusten: US und HS; Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; wenig Poren.	2	6-18
18-60	II Bv-elCv	Farbe: 5 YR 3/6, rotbraun hell, schwach verfestigt, Horizontgrenze eben-wellig, Skelettanteil > 50 %, Fein- bis Mittelgrus, extrem carbonathaltig, Sekundärkarbonat im Feinboden und an der Unterseite von Grobboden, tw. mit Toncutanen bedeckt; Polyeder- bis Subpolyedergefüge (Aggregate bis 5 mm Durchmesser).	3	18-30
60-200	II elCkc	Flussschotter (Kies, Steine und Blöcke), Farbe: 7,5 YR 5/6 graubraun, Skelettanteil > 75 %, stark carbonathaltig; Feinboden braun: ganzseitige Carbonatisierung, v. a. US; beginnende Verkittung des Feinbodens; ganzseitige pockenartige bis dicke Krusten an Grobboden; Grus, Kies und Steine (viel Feingrus und Kies).	4	30-40
			5	40-50
			6	50-60
			7	60-70
			8	70-80
			9	80-90
			10	90-100
			11	100-110
			12	110-120
			13	120-130
14	130-140			
15	140-150			
16	150-160			
17	160-180			
18	180-200			
19	200-220			
200-220	III feICv	angewitterter Mergel, 2,5 Y 6/4 grau-gelb, extrem carbonathaltig	19	200-220
220-240+	III emCn	Mergel, 10 YR 7/4 grau-gelb, extrem carbonathaltig	20	220-240

**Anhang 2:** Profilbeschreibung Profil 101 bis 104

<b>Profil: 29/9/101 bis 104</b>				
<b>Datum:</b> 12.09.2006		<b>Bearbeiter:</b> T. Raab, A. Schneider, S. Dötterl		
<b>Ort:</b> Larrés		<b>Aufschluß:</b> Glacis-Kante		
<p><b>Lage:</b> 30 T 715151 4713384, 880 m Glacis südlich von Larrés nahe dem Strommast an der Glaciskante</p>				
<p><b>Relief:</b> schwach geneigte Glacisfläche, gestreckt konvex</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Brache/Grünland, Vegetationsbedeckung 100% (Gräser)</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Vierteiliges Profil in Nord-Süd Richtung, verteilt auf 31 Metern an der Glacis Kante, Profil 101 im Norden, acht Schichten aufgeschlossen, anstehender Mergel fällt nach Süden, Mergel bei Profil 101 180 cm unter GOF, Profil 102 Mergel bei 330 cm unter GOF, Profil 104 Mergel 380 cm unter GOF</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde in Schotter über Kolluvium über gekapptem Bt über Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-28	Bv-Ah	Rötlich-braunes Sediment Lu, mäßig durchwurzelt, subpolyeder-polyeder Gefüge, skelettfrei, Feinboden c0, Grobbodenanteil ca. 2 %.	1 2	0-14 14-28
28-58	II Bv-elCv	Feinboden wie I , aber sehr skelettreich, mäßig durchwurzelt; Skelett= Schotter, nur an US carbonatisiert, Kalkkrusten schmutzig, in Auflösung begriffen, bzw. keine rezente Bildung; Carbonatkrusten ca. 1 mm mächtig und flächig ausgebildet; Toncutane an Grobboden	3 4	28-43 43-58
58-88	III fM°Cc	Ton, marmoriert (rötlich-braun wie Schicht I/5 und oliv), polyeder, porenreich, Kalkpseudomycel, skelettfrei, Toncutane, c5	5 6 7	58-68 68-78 78-88
88-128	IV feICv°Cc	Lu, marmoriert (oliv, braun), sehr skelettreich, Polyeder; sehr kompakt, c5	8 9 10 11	88-98 98-108 108-118 118-128
128-140	V fBt+elCv°Cc	Lsu, marmoriert (oliv, braun), skelettfrei, grobpolyeder, c5	12	128-140
140-168	VI elCc	Lsu, braun skelettreich c5	13 14 15	140-148 148-158 158-168
168-180	VII elCc	Lsu, braun skelettreich c5	16	168-180
180+	VIII emCn	Mergel grau Us, c5	n. b.	n. b.
220-260	VII elCc	29-9-102/1 siehe VII elCc	17	220-260
260-300	VII elCc	29-9-102/2 siehe VII elCc	18	260-300
250-270	VII elCc	29-9-103/1 siehe VII elCc	19	250-270
270-290	VII elCc	29-9-103/2 siehe VII elCc	20	270-290
320-340	VII elCc	29-9-104/1 siehe VII elCc	21	320-340
340-380	VII elCc	29-9-104/2 siehe VII elCc	22	340-380

**Anhang 3: Profilbeschreibung Profil 106**

<b>Profil: 29/9/106</b>				
<b>Datum:</b> 7.6.06 / 7.9.09		<b>Bearbeiter:</b> V. Ebe, A. Heini, F. Hirsch, G. Singer		
<b>Ort:</b> Senegüé		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<p><b>Lage:</b> 30 T 718706 4713314, 793 m Feldrand an der Terrassenkante südöstlich der Senegüé Endmoräne</p> <p><b>Relief:</b> Profil auf älterer schotterbedeckten Terrasse - gestreckt, Neigung 2°, Neigung des Hanges 31°, im Unterhang befindliche Terrasse geneigt, im anstehendem Mergel, ohne Schotterabdeckung</p> <p><b>Vegetation:</b> Brache/Grünland, Hartlaubgewächse am Feldrand, Vegetationsbedeckung 100%</p> <p><b>Profilübersicht:</b> Blöcke obenauf, Profil 100 cm aufgeschlossen, feinsubstratreichere und schwach humose Schicht über skelettreichem Schotter.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde über Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
+2-0	L/Of/Oh	graubraun schwarzer Humus	n. b.	n. b.
0-5	Ah	Farbe: 7,5 YR 3/4; Feinboden: Schlufflehm; Krümelgefüge; humos, Streureste; Feinboden c0; Grobboden: Feingrus (Grus, Kies, Steine), z. T. noch primärcarbonathaltig; Grobbodenanteil 2 %; w3 wg1; viele Poren wegen Krümelgefüge; Holzkohlereste; scharfe Untergrenze.	n. b.	n. b.
5-40	Bcv	Farbe: 7,5 YR 4/8; Feinboden wie darüber; Feinboden c2; einzelne Calciumcarbonatstücke im Feinboden (Durchmesser 0,5 - 2 mm; Sekundärcarbonat), Kalkpseudomycel; Poren: mittel bis viel; Grobbodenanteil ca. 5 % (Grus, Kies, Steine); w3 wg1; scharfe Untergrenze, wellig; dichte Lagerung; Wurmrohren; Feinboden tw. stark verwittert; (Pflughorizont?).	n. b.	n. b.
40-50	II eICv	Übergangshorizont, farbliche Mischung aus darüber und darunter, marmoriert; Feinboden tw. verwittert; beginnende Verkittung des Feinbodens mit Sekundärcarbonat; initiales Kittgefüge; Grobbodenanteil 20 bis 25 % (Kies, Steine (sg bis g)); Grobboden an US carbonatisiert; Kitt- bis Polyedergefüge; w2 wg0; Untergrenze des Horizontes bildet Wurzelgrenze; Poren: viel, v. a. Feinporen; Grobboden tw. stark verwittert (v. a. Mergel); deutliche Verkittung des Feinbodens unterhalb von Grobboden; Untergrenze scharf und wellig.	n.b.	n.b.
50-100+	II eICck	Grobbodenanteil: 40 bis 50 %, Lithologie: KS, SA, K, Granit, M; Schotter wie darüber; ganzseitig carbonatisiert, v. a. US; Feinboden verwittert; schwer grabbar; Farbe nach unten grauer.	n.b.	n.b.

**Anhang 4:** Profilbeschreibung Profil 107

<b>Profil:</b> 29/9/107				
<b>Datum:</b> 16.03.07 / 6.09.09		<b>Bearbeiter:</b> T. Raab, D. Christophel, F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Senegüé		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 30 T 718458 4713591, 811 m Außenhang der Senegüé-Endmoräne am Querweg oberhalb der geophysikalischen Prospektion</p>				
<p><b>Relief:</b> Mittelhang, vertikal und horizontal schwach konvex, Oberfläche steinig-schluffig, stellenweise terrassiert (1m Höhe), vereinzelt Blöcke an der Oberfläche</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Hartlaubsträucher, Buxus, Rosmarin, Dornstrauch, vereinzelt Eichen, Vegetationsbedeckung 50%</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Diamikt (Till, Geschiebemergel), karbonathaltig bis an die GOF, 100 cm mächtig aufgeschlossen, sandig-lehmige Matrix, Skelettgehalt hoch (Mittelkies bis Stein, z. T. Blöcke), variable Lithologie mit Graniten, diese z. T. zur Grus verwittert, Flysch (Kalksandstein) dunkelgrauer, feinkristalliner Magmatit, Steine gerundet bis kantengerundet, bis 80 cm mäßig durchwurzelt (Feinwurzeln), Profile insgesamt ungeschichtet (zumindest nicht erkennbar), ab 50 cm schluffig verwitternde Mergelbruchstücke vorhanden. Profil mögl. gekappt (Erosion durch Weidenutzung).</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-13	eAh	<p>LS3, olivbraun-braun marmoriert, schwach humos; Grobboden an US carbonatisiert; Feinboden mit Primär- und Sekundärcarbonat, min. c4; Krümel- bis Subpolyedergefüge; wf3 wg1; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 % (Grus, Kies Steine); Poren mittel bis viel; Insekten und Wurmrohren.</p>	1	0-13
13-50	eICc	<p>LS3, olivbraun-braun marmoriert, schwach pol., Ld3, c3-c4 dunklere Bereiche stärker humos, Untergrenze wellig und unscharf; Sekundärcarbonat an Grobboden und im Feinboden; Grobbodenanteil ca. 10 bis 15 % (Grus, Kies, Steine); Porenanteil: mittel bis viel; wf 1 wg1.</p>	2	13-26
			3	26-39
50-100+	eICc	<p>LS3, olivgrün, Ld4, c3-c4, Steine und Blöcke, makroskopisch keine Einregelung erkennbar.</p>	4	39-50
			5	50-67
			6	67-82
			7	82-97

**Anhang 5:** Profilbeschreibung Profil 108

<b>Profil: 29/9/108</b>				
<b>Datum:</b> 16.3.07 / 6.9.09		<b>Bearbeiter:</b> T. Raab, D. Christophel, F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Senegüé		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718414 4713618, 820 m Senegüé-Endmoräne, Weg neben Sendemast auf dem Kulminationsbereich				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich				
<b>Vegetation:</b> Hartlaubsträucher, Buxus, Rosmarin, z.T. Eichen, Vegetationsbedeckung 100%				
<b>Profilübersicht:</b> Diamikt (Till, Geschiebemergel), in rechter und mittlerer Profilhälfte in den obersten 30cm gestört (10 cm olivfarbene Schicht in dunkelbraunem Bereich), keine Schichtmerkmale erkennbar, bis 50 cm mäßig durchwurzelt, bis 90 cm schwach durchwurzelt, von 0-52 cm dunkelbraun- humos, 52-80 cm braun (humos) – olivgrün marmoriert, 80-120 cm, keine humosen Merkmale vorhanden, von 60-120 cm Skelettgehalt hoch, kantengerundet bis gerundet, Lithologie Mergel, vergruste Granite, dunkelgraue feinkristalline Magmatite, zwischen 60 und 100 cm Sekundärkarbonat (Kalkpseudomycel) karbonathaltig bis an die GOF (c4)				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-52	eAh	Farbe: 2,5 Y 3/3 (trocken), 2,5 Y 3/2-3 (feucht); Feinboden min. c4; wenig Poren; Sekundärkarbonat an US von Grobboden; kein Kalkpseudomycel; wf4 wg2; Grobbodenanteil ca. 10 % (Kies, Grus, Steine und Blöcke); Wurm- und Wurzelgänge; Ls2, dunkelbraun, mäßig durchwurzelt (Feinwurzeln), subpol, Ld2, deutlich humos, Untergrenze wellig und diffus	108-1 108-2 108-3 108-4 108-5	0-10 10-20 20-30 30-40 40-52
52-120+	elCc	Farbe 2,5 Y 4-5/4; Feinboden min. c4; wenig Poren; Sekundärkarbonat v. a. US aber auch GS; beginnende Verkittung des Feinbodens v. a. unterhalb von Grobboden; Grobbodenanteil ca. 20 % (Kies, Grus, Steine und Blöcke); Granit zu Grus verwittert; Ls2, bis 90 cm marmoriert, zur Basis hin Zunahme des Sekundärkarbonats und Abnahme der humosen Marmorierung, insgesamt stärker olivgrün statt dunkelbraun (humos), Ld3, schwach pol.	108-6 108-7 108-8 108-9 108-10	52-60 60-70 70-80 80-90 90-100

## Anhang 6: Profilbeschreibung Profil 110

<b>Profil: 29/9/110</b>				
<b>Datum:</b> 17.03.2007+ 04.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> T. Raab, D. Christophel, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Lastras		<b>Aufschluß:</b> Glacis-Kante		
<b>Lage:</b> 846 m üM, UTM: 30 T 717040 4714099 Glacis se Rio Aurin, nw Hang zum Rio Aurin, ca. 10 m oberhalb der Feldgrenze				
<b>Relief:</b> unterer Mittelhang d. Glacis, vertikal gestreckt, horizontal sehr schwach konvex, 2° Neigung, vor Profil Neigung auf 1° abnehmend				
<b>Vegetation:</b> Brache/Grünland, Vegetationsbedeckung 20% (Gräser)				
<b>Profilübersicht:</b> 150cm aufgeschlossen, Diamikt (feinerde-reicher Schutt, periglaziale Hangsedimente), deutlich geschichtet, von 0-60cm vergleichsweise skelettarm und schwache Einregelungsmerkmale, von 60-150cm Skelett dominant und markant hangparallel eingeregelt, Grus und Steine plattig aus- geprägt und mit Längsachsen, Lithologie sehr homogen, ausschließlich FLYSCH, kein Mergel, durch plattige Steine und hangparallele Einregelung schwer grabbar, Steine und Feinmatrix eingebettet (nicht feinerdefrei), anstehender Mergel nicht erreicht, Mergelobergrenze ca. 3 m unter GOF				
<b>Hauptlage:</b> 0-60 cm, farblich homogen, rötlich-braun bei Feldfrische, dunkelbraun abtrocknend				
<b>Basislage:</b> 80-150 cm, farblich differenziert in einen gelblich-braunen Bereich von 95-115cm sowie einen olivgrünen Bereich von 115-150cm, zwischen 80 und 95 cm Übergangsbereich zwischen rötlichbraun und gelblichbraun (marmoriert)				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina in einer Hauptlage und Mittellage über einer Basislage über Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-30	Ap	Groboden teilweise senkrecht, durch Pflug gestellt (Ap in Kolluvium?); schwache Toncutane an Grobboden; Krümel- bis Subpolyedergefüge, Subpolyedergefüge nimmt nach unten zu; Feinboden c2 bis c3, nimmt nach unten zu; Trockenrisse; viele Fein- und Mittelporen, Grobporenanteil: mittel; Wurm- und Wurzelgänge.	1	0-13
			2	13-30
30-60	Bv-elCv	Polyedergefüge; weniger Poren als darüber; Glänzende Außenflächen an Aggregaten und an Grobboden; c2 bis c3; nach unten Toneintrag (?) über Schichtwechsel hinweg	3	30-45
			4	45-60
60-80	II elCv	Polyedergefüge, grusig, sandig schwach toniger Lehm; Sekundärkarbonat an der Unterseite von Grobboden, Krusten: schmutziges orange-braun, weißes Kalkpseudomycel im Feinboden; Glänzende Außenflächen an Grobboden und an Aggregaten.	5	60-80
80-95	III elCc	Ls2, Ld3-4, rötlichbraun-gelblichbraun marmoriert, Horizontmerkmale wie oben bzw. unten, Schichtmerkmale gleichbleibend, Skelettgehalt etwas höher	6	80-95
98-115	III elCc	Ls3, Ld4, gelblichbraun, untergeordnet olivgrün, Schichtmerkmale gleichbleibend, Sekundärkarbonat (weiße Konkretionen, Kalkpseudomycel)	7	95-115
115-150+	III elCc	Ls3, Ld4, olivgrün, Skelettgehalt sehr hoch, Schichtmerkmale wie beschrieben	8	115-130
			9	130-150

**Anhang 7: Profilbeschreibung Profil 111**

<b>Profil: 29-9-111</b>				
<b>Datum:</b> 18.03.2007		<b>Bearbeiter:</b> T. Raab, D. Christophel		
<b>Ort:</b> Lastras		<b>Aufschluß:</b> Glacis-Kante		
<p><b>Lage:</b> 30 T 717040 4714099, 920 m üM Glacis nw Rio Gallego, Hang zum Rio Gallego, ca. 50 m unterhalb Strommast/Infotafeln, ca. 10 m oberhalb der Feldgrenze</p>				
<p><b>Relief:</b> unterer Mittelhang d. Glacis, vertikal gestreckt, horizontal sehr schwach konvex, 3° Neigung</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Brache/Grünland, Vegetationsbedeckung 80% (Gräser)</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> 140cm aufgeschlossen, Diamikt (feinerreicher Schutt, periglaziale Hangsedimente), deutlich 4-schichtig, Skelettgehalt durchgehend sehr hoch, zwischen 65-80cm Skelettgehalt sehr gering, bis 80cm rötlichbraun bis dunkelbraun, bis 60cm stark durchwurzelt, 80-100cm dunkelbraun-oliv marmoriert, 100-140cm oliv mit stellenweise dunkelbraunen Flecken, Flecken zur Basis abnehmend, 80-140cm hangparallele Einregelung (Dachziegelstruktur, Steine ca. 20° schräg gestellt), Lithologie d. Steine homogen (Flysch), Steine mit deutlichen Längsachsen, Profil durchgehend karbonathaltig (c3-c4)</p>				
<p><b>Hauptlage:</b> 0-40 cm, feinerreicher Schutt, Slu, Ld1-Ld2, schwach hangparallel eingeregelt, zur Basis hin schuttreicher und größere Skelettkomponenten</p>				
<p><b>Mittellage:</b> 40-65 cm, Mittelgrus bis Steine, feinerdearm</p>				
<p><b>Mittellage:</b> 65-80 cm, Uls, feinerreicher Schutt, Mittelgrus dominant, Farbe gleichbleibend rötlichbraun, Ld3</p>				
<p><b>Basislage:</b> 80-140 cm, Ls2, feinerdehaltiger Schutt, Ld4, Merkmale wie beschrieben</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina in Abfolge aus HL-ML-BL				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-13	eAh	kru	1	0-13
13-40	Bv-elCv		2	13-26
			3	26-40
40-65	II eICv	Schutt, kein Gefüge erkennbar	4	40-65
65-80	III eICv	Ls2, etwas mehr gelblichbraun, schwach pol	6	65-80
80-140+	IV eICc	Ls3, Ld4, gelblichbraun, untergeordnet olivgrün, Schichtmerkmale gleichbleibend, Sekundärkarbonat (weiße Konkretionen, Kalkpseudomycel)	7	80-100
			8	100-120
			9	120-140

**Anhang 8:** Profilbeschreibung Profil 112

<b>Profil: 29/9/112</b>				
<b>Datum:</b> 05.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, Endler, Schuhart		
<b>Ort:</b> Aurín		<b>Aufschluß:</b> Schürfruben		
<p><b>Lage:</b> 30 T 717652 4711688, 796 m üM Flussterrasse/Glaziofluviale Terrasse südlich der Aurín Endmoräne oberhalb der Furt</p>				
<p><b>Relief:</b> schwach geneigt, gestreckt-gestreckt</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Buchs, Gräser, Stachelgras, Vegetationsbedeckung ca. 80%</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Dreiteiliges Profil, untereinander angelegt. Profil unterhalb der möglicherweise anthr. gestörten Terrassenkante. Trocken, keine Niederschläge seit mindestens drei Tagen. Teilabschnitt I: 0 bis 45 cm Teilabschnitt II: 45 bis 105 cm Teilabschnitt III: 105 bis 185 cm</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde aus Till oder Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-20	Ach	Fein- und Grobwurzeln, teilweise leicht humos, diamiktisch, dunklere humose Flecken, ansonsten beige-braun, Grobskelett kantengerundet bis stark gerundet, keine Einregelung erkennbar, Sekundärcarbonat als Pseudomycel in Wurzelgängen, Feinboden in feuchtem Zustand rotbraun, Feinboden: toniger Schluff mit Glimmer, weniger kompakt als darunter.	112-1	0-20
20-45	Bcv	Feinboden wie darüber aber nicht humos, teilweise rotbraune Kongregationen mit Feinkies (verwittertes Konglomerat?), kompakter als darüber.	112-2	20-45
45-105 105-185	Bcv elCc	wie darüber nur weniger Feinwurzeln wie darüber, Feinbodenanteil nimmt ab, ab 160 cm Steine und Blöcke, Farbe: graubraun, mit zunehmender Tiefe grauer wegen zunehmender Carbonatisierung, Sekundärcarbonat an der Unterseite und der hangzugewandten Seite von Blöcken und Kiesen. Profil unterhalb von 185 cm wegen Verkittung durch Carbonatisierung nicht mehr grabbar.	n. b.	n. b.

**Anhang 9:** Profilbeschreibung Profil 113

<b>Profil: 29/9/113</b>				
<b>Datum:</b> 05.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, F., Endler, R., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Aurín		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<p><b>Lage:</b> 30 T 717666 4711666, 793 m üM Flussterrasse/Glaziofluviale Terrasse südlich der Aurín Endmoräne oberhalb der Furt</p>				
<p><b>Relief:</b> schwach geneigt, gestreckt-gestreckt</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Buchs, Gräser, Stachelgras, Vegetationsbedeckung ca. 80%</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> 20 m südöstlich von Profil 112, im Unterhang, Profil 65 cm aufgeschlossen, wegen kantengerundeten Mergelblock nicht weiter grabbar, alle Steine mit Sekundärcarbonat an der Unterseite, teilweise auch in Richtung Hang, Lithologie: Sandstein, Mergel und Granit.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina oder Kalkbraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentief e
0-30	Bv-Ah	plattiger Grus, Sekundärcarbonat wie Profil 112	113-1	0-30
30-60	eICc	Kies, tw. hangparallel eingeregelt, mehr Feinboden, darunter Kies und gerundete Blöcke mit Sekundärcarbonat verkittet.	113-2	30-60
60-65	Ckc	Farbe: hellgrau-braun (vermutlich wg. Carbonat), fast komplett verkittet, nicht mehr grabbar, Grus und Sand in den Verkittungen eingeschlossen.	n. b.	n. b.

**Anhang 10:** Profilbeschreibung Profil 114

<b>Profil: 29/9/114</b>				
<b>Datum:</b> 07.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, F., Endler, R., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Aurin		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> 30 T 717841 4711965, 781 m üM Kante der Schotterterrasse				
<b>Relief:</b> Hangneigung im oberen Bereich 25 bis 30 %, unterhalb vom Profil steiler.				
<b>Vegetation:</b> Buchs, Bedeckungsgrad etwa 60 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm gegraben, darunter wegen Verkittung nicht mehr grabbar, Blöcke obenauf; im ganzen Profil Carbonatisierung des Grobbodens (Kiese und Blöcke) an der Unterseite und Hangseite; Lithologie: Mergel, Sandsteine und rotes Konglomerat; Anstehender Mergel bit etwa 150-170 cm unter GOK im Profil nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Schotter über anstehendem Mergel.				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-7	eAch	Farbe: braun; Feinwurzeln und Grobwurzeln, Grobboden (kantig bis gerundet), Feinboden: Schluff, Feinboden min. c4	114-1	0-7
7-77	eICc	Farbe: graubraun; hoher Grobbodenanteil, Skelettkomponenten zugerundet; Sekundärcarbonat, Fein- und Grobwurzeln; Feinboden: schwach toniger Schluff.	114-2	7 bis 52
77-100+	eICc	Farbe: grau; Verkittung durch Sekundärcarbonat; hoher Skelettanteil; Blöcke, Kies und Grus an der Unterseite mit Sekundärcarbonat ; Wurzelgänge tw. verbraunt. Schluffstein	114-3	72-100

**Anhang 11:** Profilbeschreibung Profil 115

<b>Profil: 29/9/115</b>				
<b>Datum:</b> 07.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, F., Endler, R., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Aurín		<b>Aufschluß:</b> Schürfgarbe		
<b>Lage:</b> Östliche Glacis Kante gegenüber von Profil 128; 940 m üM, 30 T 717162 4714779				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Exposition N, "Mergelrest", 60 cm gegraben				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-20	eAh	Farbe: grau-braun, schwach humos, schluffig, durchwurzelt.		
20-40	eICv	Farbe: grau; Mergel, kompakt verwittert, plattig, kaum Feinboden		
40-60	eIC	Farbe: grau; Mergel in große Bruchstücke verwittert; kaum Feinboden		
60+	emCn	Anstehender Mergel		

Anhang 12: Profilbeschreibung Profil 116

<b>Profil: 29/9/116</b>				
<b>Datum:</b> 07.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, F., Enderl, R., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Sabinanigo Alt		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 30 T 716580 4709409, 808 m üM Terrassenkante südlich von Sabinanigo, südlich der Sandsteinschichtrippe, westlich des Gállegos, 10 m unterhalb Profil 117</p>				
<p><b>Relief:</b> Oberhang, etwa 2 m unterhalb der Hangkante, Hangneigung ca. 20°</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Buchs und Dornstrauch, Bedeckungsgrad ca. 60 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 130 cm aufgeschlossen, anstehender Mergel bei ca. 810 m NN, Exposition E</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde aus Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-15	Ach	Farbe: rotbraun; Feinboden frei von Primärcarbonat, Sekundärcarbonat als Kalkpseudomycelien; Feinboden lehmig (sandig und schluffig); wf4; hoher Grobbodenanteil zugerundet bis gerundet => Kiese; Subpolyeder- bis Polyedergefüge;	n. b.	n. b.
15-30	Bvc	Farbe: gelbgrau; wenig Feinboden; sonst wie darüber; Carbonatisierung an der Unterseite und der hangwärtigen Seite von Kiesen; Lithologie: Mergel, Sandsteine, zu Grus verwitterter Granit.	n. b.	n. b.
30-130+	Ccv	Farbe: heller als darüber; Carbonatisierung auch an Oberseite von Blöcken (siehe Bild) => ganzseitige Carbonatisierung; kaum Feinboden; Kies und Grus ausgeprägt verkittet.	n. b.	n. b.

### Anhang 13: Profilbeschreibung Profil 117

<b>Profil: 29/9/117</b>				
<b>Datum:</b> 10.09.2008 und 24.9.2008		<b>Bearbeiter:</b> Hirsch, F., Eндler, R., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Hochterrasse s		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 716580 4709409, 812 m üM				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich der Terrasse				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 95 cm tief gegraben				
				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde aus Hauptlage über Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-7	Ap	Farbe: 7,5 YR 4/4; Streureste; mittel humos; wf 2 wg0; Krümel- bis Subpolyedergefüge; keine Carbonatisierung an Grobboden; Poren mittel; Grobboden ca. 5 bis 10 %, Grus und Kies; Feinboden: schwach lehmiger Schluff; Feinboden c0; Untergrenze scharf und eben; Lagerung mittel.	117-7 117-1	0-7 0-7
7-28	Al-Bv	Farbe: 5 YR 4/6; braun bis rot (trocken), rotbraun (feucht); Poren mittel; Polyeder bis subpolyedergefüge; Grobbodenanteil etwas höher als darüber (ca. 10 %); Lithologie: Granit, Sandstein, Mergel, Schiefer, Grobboden stark verwittert, Kies und Grus; kein Sekundärcarbonat an Grobboden; Feinboden c0; wf 2 wg1; Untergrenze scharf und wellig; relativ fest (wg. Trockenheit) Hammerabschlagflächen; Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, mehr Ton als darüber; geringmächtige Toncutane an Grobboden; Wurmgänge und Wurzelröhren; porenreich.	117-8 117-9 117-2 117-5	7-17 17-28 7-28 7-40
28-38	II Btv	Farbe: 5 YR 3/6 - 4/6; wf 2 wg1; Grobboden teilweise stark verwittert; Untergrenze scharf und wellig; mittel bis viel Poren; dichte Lagerung wegen Ton; Ton feinsandig; Feinboden c0; Primärcarbonat vermutlich aus Grobboden (Grus), teilweise Carbonatisierung des Grobbodens an Unterseite, nimmt mit Tiefe zu; Carbonatisierung eher in Auflösung als in Neubildung; ausgeprägte Toncutane an Steinen und Aggregaten; bedecken Sekundärcarbonatkrusten des Grobbodens; Holzkohlen bei 34 cm unter GOK; Polyedergefüge.	117-10 117-3	28-38 28-50
38-65	III Bt+elCv	Feinboden und Farbe wie darüber; hoher Grobbodenanteil ca. 50 %, Kies, Grus, Steine; Carbonatisierung des Grobbodens nimmt nach unten zu, ganzseitige Carbonatisierung; Lithologie: vergruster Granit, Kalksandsteine, Sandsteine, tw. stark verwitterter Grus; wf 2 wg0; wenig Poren; Untergrenze scharf und wellig (wg. Grobboden); Polyedergefüge; Feinboden c2 bis c3, Sekundärcarbonat; Carbonatkrusten des Grobbodens wie darüber in Auflösung begriffen; Toncutane an Aggregaten und Grobboden, bedecken Carbonatkrusten; Wurmgänge und Wurzelröhren.	117-11 117-4 117-6	38-65 50-68 40-95
65-95	III elCck	Farbe: 5 YR 4/6; Grobbodenanteil wie darüber; Feinboden min. c4; Grobboden tw. ganzseitig carbonatisiert, in Auflösung begriffen; Ton: schwach sandig, schwach schluffig, aber schluffiger als darüber; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; wenig bis mittel Poren; wf1 wg0; Toncutane an Grobboden und Aggregaten (deutlich weniger als darüber); wegen nach unten zunehmenden Kittgefüge schwer grabbar. Dünnschliff	117-12  117-1DS 117-2DS	65-95  19 34
		OSL je A & B	117-1OSL 117-2OSL	32 22

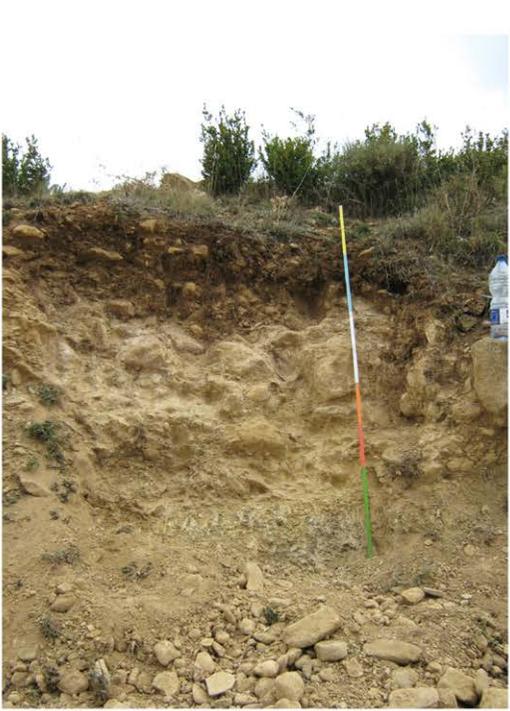
**Anhang 14:** Profilbeschreibung Profil 118

<b>Profil:</b> 29/9/118				
<b>Datum:</b> 20.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Raab, Hirsch		
<b>Ort:</b> SW Betes		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Mittelhang im Flysch 30 T 717169 4723517, 1360 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 28 cm aufgeschlossen; Verbraunung im Flysch				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-8	Ah	schwarz-grau, Krümelgefüge, durchwurzelt	n. b.	n. b.
8-28	Bv-Cv	Farbe: braun; durchwurzelt, Skelettgehalt hoch; Verwitterungszone des Flyschs (=>Wechselagerungen), schwach carbonathaltig => tw. entcarbonatisiert.	118-1	8-28
28+	mC	Flysch, stark carbonathaltig	118-2	28-40

**Anhang 15:** Profilbeschreibung Profil 119

<b>Profil:</b> 29/9/119				
<b>Datum:</b> 22.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> S Lastras		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 716534 4713390 Glaciskante südlich von Lastras, 885 m NN				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Dornbusch, Gräser				
<b>Profilübersicht:</b> Hauptlage (oder kullvial verlagertes HL Material) über Basislage über anstehendem Mergel (bei 170 cm unter GOK)				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina über BL über Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-27	eAch	Farbe: 2,5 Y 4/4; Ton, schwach schluffig; hoher Feinbodenanteil; Skelettanteil 20 %; plattig, Sandstein, Grus, maximal kantengerundet, nicht eingeregelt; Sekundärcarbonat; Wumröhren, Wurzelgänge; wf3 wg1 Krümel- bis Subpolyedergefüge; Porenanteil mittel.	n. b.	n. b.
27-170	II eICc	Farbe: 10 YR 5/4; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; deutliche Einregelung; Grobbodenanteil ca. 70 %; Feinboden extrem carbonathaltig.	n. b.	n. b.
170+	III emCn	Anstehender Mergel	n. b.	n. b.

**Anhang 16:** Profilbeschreibung Profil 120

<b>Profil:</b> 29/9/120				
<b>Datum:</b> 22.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> S Latas		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 719081 4710832, 898 m üM Schwach geneigter Mittelhang, Exposition SSW				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Buchs, Gräser, Dornstrauch, Bedeckungsgrad ca. 80 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm aufgeschlossen; Fläche tw. Als Deponie/Halde genutzt; Blöcke um das Profil, tw. Anthropogen verlagert, Blöcke: Konglomerat/Nagelfluh, Sandstein, Mergel, Verwitterungsbrocken von gelben Knollen aus dem Mergel (Stromatolithen) Kantenlänge der Blöcke im Profil bis 50 cm.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-20	eAhc	Farbe: 10 YR 4/3, braun; Krümel- bis Polyedergefüge; Feinboden min. c4, Primär- und Sekundärcarbonat; durchwurzelt, diamiktisch; Kantenlänge Blöcke bis 20 cm; keine Einregelung des Grobbodens erkennbar; Sekundärcarbonat, auch in Wurzelräumen ausgefällt; Feinboden: Schluff, tonig-feinsandig; Skelett min. kg; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Grobbodenanteil ca. 60 bis 70 %.	120-1	0-20
20-45	Bv-Cv	Farbe: hellbraun; stark verkittet; Skelett wie darüber; weniger Wurzeln als darüber; FB wie darüber; Carbonat wie darüber; Polyedergefüge.	n. b.	n. b.
45-140	Ckc	Farbe: gelb-grau; verkittet mit Carbonat, mit Hammer schwer grabbar; im linken Bereich wegen Wurzeln eher bräunlich.	n. b.	n. b.
140-160+	II eCv	Anstehender Mergel; verwittert; Farbe: gelblich-grau; wenig Feinwurzeln.	n. b.	n. b.

Anhang 17: Profilbeschreibung Profil 121

<b>Profil: 29/9/121</b>				
<b>Datum:</b> 23.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> N Latas		<b>Aufschluß:</b> Hangkante		
<b>Lage:</b> Hangfuß 30 T 718806 4713023, 784 m üM				
<b>Relief:</b> gestreckt-konkav				
<b>Vegetation:</b> Grünlandnutzung/Acker				
<b>Profilübersicht:</b> Kolluvium über skelettreicher Schicht (Till?, da diamiktisch oder glazifluvial?) über anstehendem Mergel (Mergel nicht erreicht).				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Proben tiefe
0-90	M	Farbe: 10 YR 3/4;; Grobboden an Unterseite carbonatisiert, Grobbodenanteil ca. 2 %, Kiese und Gruse; Feinboden locker gelagert; Holzkohleflitter bei 60 cm unter GOK; Kalkpseudomycel; Untergrenze scharf und wellig (wellig wegen Grobboden); Feinboden min. c4 (primär und sekundärcarbonat); Feinboden: schluffiger Ton; Feinwurzeln und Wurzeln; Skelett gerundet; teilweise kleinere graue Flecken (Sekundärcarbonat); nach unten etwas rötlicher; Polyedergefüge; Wurzelgänge und Wurzelröhren; wf2 wg1.	n. b.	n. b.
90-140	II e/Cc	Farbe: 10 YR 4/4; Feinboden c4; Grobboden an Unterseite carbonatisiert, Kiese und Gruse, Grobbodenanteil ca. 60 %, kantig bis gerundet (Till?); Skelett: Mergel und Sandstein (tw. Auch roter Sandstein), tendenziell horizontale Einregelung; Farbe ähnlich wie darüber, nur grauer; Feinboden schluffiger als darüber;	n. b.	n. b.

**Anhang 18:** Profilbeschreibung Profil 122

<b>Profil: 29/9/122</b>				
<b>Datum:</b> 23.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> N Latas		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> 807 m üM, 30 T 719032 4712817				
<b>Relief:</b> Unterhang unterhalb Sandsteinschichtrippe				
<b>Vegetation:</b> Büsche, Bäumchen und Gräser				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 120 cm aufgeschlossen; Granitblöcke neben dem Profil (Granit tw. nicht an der Oberfläche sondern zusedimentiert)				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertief e
0-20	eAh	Farbe: 2,5 Y 4/2; grobbodenanteil ca. 1 % (wie darunter); Krümelgefüge; schwach humos; Feinboden min. c4; Feinbodentextur wie darunter.	n. b.	n. b.
20-80	eM	Farbe: 2,5 Y 4/4, oben eher braun mit farblichen Übergang ins graue nach unten; Feinboden min. c4; Wurmgänge; Poren mittel bis viel; Grobboden z. T. in geringmächtigen Schichten eingeregelt; Grobbodenanteil ca. 2 % (plattig, Kalksandstein, Flysch und ein(!) Granitgrus); w3 wg2; beginnende Verkittung, schwache Carbonatisierung an Oberseite, meist aber an Unterseite (=> mögl. Hinweis auf Drehung bzw. Verlagerung); Untergrenze scharf und wellig; Feinboden stark toniger Schluff.	n. b.	n. b.
80-120	II emCv	Farbe: 5 Y 5/3 (grau-gelb); anstehender Mergel, verwittert; min. c4; durchwurzelt w3 wg2; primäre Gesteinsstruktur des Mergels noch erkennbar.	n. b.	n. b.

Anhang 19: Profilbeschreibung Profil 123

<b>Profil:</b> 29/9/123				
<b>Datum:</b> 25.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> S Sabinanigo		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt/terrassenkante		
<b>Lage:</b> 30 T 716481 4709063, 760 m üM Mittleres Terrassenniveau südlich Sabinanigo, 30 m westlich der Eisenbahnbrücke				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Gräser, Dornbusch, Steineiche				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 185 cm aufgeschlossen, anstehender Mergel bei 160 cm erreicht; Obergrenze des Mergels fällt in Richtung Gallego, brauner Verfärbung greift über Schichtwechsel.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-7	eAh	Farbe: 10 YR 3/4; Polyeder- bis Krümelgefüge; wenig Poren; schwach humos; Streureste; keine Carbonatisierung des Grobbodens; Grobbodenanteil ca. 5 %, Grus, Kies, Steine; Feinboden min. c4; Feinboden: schwach schluffiger, feinsandiger Ton.	123-1	0-7
7-68	Bv-elCv	Farbe: 10 YR 3/3-5; wf1, wg1; Grobboden an Unterseite carbonatisiert, oberflächenparallel eingeregelt, Grobbodenschichten bei 25, 50 und 60 cm unter GOK; Feinboden wie darüber; Kalkpseudomycelien, nach unten anteilmäßig zunehmend; Feinboden primär- und sekundärcarbonathaltig; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt; Polyedergefüge; wenig Poren; Holzkohle bei 16 cm unter GOK; Grobboden stark gerundet, bis 40 cm Durchmesser; Lithologie: Granit (zu Grus verwittert, aber auch schlagfeste Steine/Blöcke), roter Sandstein; Feinboden sehr schwer grabbar, dicht gelagert.	123-2 123-3	7-34 34-68
68-160	II elCkc	Farbe: 10 YR 4/4; Grobbodenanteil ca. 60 %; (glazio-?) fluviabler Schotter; primär- und sekundärcarbonathaltig; Feinboden mit Sekundärcarbonat verkittet; Kitt-/Polyedergefüge; wf1 wg0; Grobboden ganzseitig carbonatisiert, Unterseite sehr stark carbonatisiert; Feinboden nicht bestimmbar; Grobboden: stark gerundet, Blöcke und Kiese; tw. stark verwittert (auch Granit); Lithologie: alles....	123-4	68-160
160+	III emCn	Farbe: 2,5 Y 5/3; anstehender Mergel, verwittert.	123-5	160-180

**Anhang 20:** Profilbeschreibung Profil 124

<b>Profil:</b> 29/9/124				
<b>Datum:</b> 25.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> S Sabinanigo		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> 30 m westlich Kläranlage 30 T 715948 4707689, 749 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Etwa 8 m mächtiges Schotterpaket über anstehendem Sand-/Schluffstein; Schotter aus Kiesen und Blöcken, gerundet, bzw. stark gerundet; Lithologie: Granit und Sandsteine; teilweise Bereiche mit Sekundärcarbonatverkittung; An der Basis des Schotters Schicht aus Fein- und Mittelsand. Potentieller Sandkeil ca. 15 m nördlich des Profils an der Kante der Terrasse.</p>				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm

Anhang 21: Profilbeschreibung Profil 125

<b>Profil: 29/9/125</b>				
<b>Datum:</b> 25.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Larrés		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> SW Larrés an der Kapelle, 896 m üM, UTM: 30 T 715442 4714502				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 64 cm aufgeschlossen, 3 m mächtiges Schotterpaket über Mergel  alternativ: Ahc 0-2 cm Bvc 2-13 cm xCc 13-64+				
<b>Bodentyp:</b> Parendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtief e
0-13	eAhc	Farbe: braun; Grobbodenanteil ca. 15 %, an der Unterseite carbonatisiert, tw. Nur Oberseite (durch pflügen gewendet?); Kalkpseudomycel; Krümel- bis Subpolyedergefüge; wf4 wg1; viele Poren wegen Krümelgefüge; Feinboden: Ton, stark schluffig.	n.b.	n.b.
13-64+	II eICc	Skelettanteil 80 %; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Feinboden c4 (Primär- und Sekundärcarbonat); oberflächenaparell eingeregelt; Feinboden wegen Sekundärcarbonat verkittet; Sekundärcarbonat v.a. an der Unterseite von Grobboden; wenig Poren; wf2 wg0; Polyeder- bis Kittgefüge; Morphologie Grobboden: stark gerundet, Kies, tw. kantengerundete Steine und Grus	n.b.	n.b.

**Anhang 22:** Profilbeschreibung Profil 126

<b>Profil:</b> 29/9/126				
<b>Datum:</b> 27.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Larrés		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> Mittleres Terrassenniveau südlich von Larrés, Terrasse unterhalb der Kapelle. 864 m üM UTM: 30 T 715593 4714318				
<b>Relief:</b> Fläche zum Aurin geneigt. Hangneigung ca. 10°, gestreckt-gestreckt.				
<b>Vegetation:</b> Acker/Grünlandnutzung				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 150 cm aufgeschlossen;				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-60	Ah/Mc	Feinboden: feinsandiger Ton; Holzkohleflitter; Polyedergefüge (deutlicher ausgeprägt als bei Profil 125); w <sub>f2</sub> wg; Feinboden sekundärcarbonathaltig, kein primärcarbonat; viele Poren; Regenwurmröhren; Grus und Kies tw. Stark verwittert; Grobbodenanteil ca. 10 %; Kalkkonkretionen ähnlich Lösskindel (Durchmesser ca. 3 mm); Grobboden teilweise carbonatisiert an Oberseite oder Unterseite (=> anthropogene Umlagerung?!)	n.b.	n.b.
60-150+	II elCc	Schotterpaket, hoher Grobbodenanteil 70 bis 80 %, Grus, Kies, Steine und Blöcke; Grobboden ganzseitig carbonatisiert.	n.b.	n.b.

**Anhang 23:** Profilbeschreibung Profil 127

<b>Profil:</b> 29/9/127				
<b>Datum:</b> 29.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Sabinanigo		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> Am Orstausgang von Sabinanigo am Trimm- dich-Pfad, 842 m üM, 30 T 716026 4711401				
<b>Relief:</b> Terrasse, eben, Terrassenniveau wie Larres, Exposition SSE, Profil streicht 70°.				
<b>Vegetation:</b> Wiese/Brache				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 140 cm aufgeschlossen, anstehender Mergel bei 135 cm.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde in Löss über fluvialen Schottem über Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefen
0-33	Ap	Farbe: 7,5 YR 4/5 (feucht), 7,5 YR 5/6 (trocken); Skelettanteil ca. 3 %; Feinboden: stark toniger Schluff; Skelettbestandteile größtenteils gerundet, w2 wg?; Feinboden carbonatfrei, kein Sekundärcarbonat; Platten- (v. a. auf den obersten 10 cm) bis Polyedergefüge, sehr fest; Untergrenze scharf und wellig; wenig Poren.	127-1 127-2	0-17 17-33
33-38	Bt	Nicht mehr von Pflug beeinflusst; scharfe Obergrenze; weinrote Toncutane an Grobboden und an Aggregaten, Toncutane bedecken Carbonatkrusten(reste) an der Unterseite von Grobboden; weniger Grobboden als darunter, ca. 10 %, Grobboden stark verwittert; wenig bis mittel Poren.	127-3	33-38
38-135	II Bt+elCv	Farbe: 5 YR 4/4 (rötlich - trocken), im feuchten Zustand 5 YR 3,5/4; Sekundärcarbonat, nimmt mit der Tiefe zu; Sekundärcarbonat ausgefällt, Grobboden mit zunehmender Tiefe ganzseitig carbonatisiert, Feinboden teilweise verkittet; Polyeder- bis Subpolyedergefüge, mit zunehmender Tiefe beginnendes Kittgefüge; Grobboden: Kiese, Grus und Steine; wenig Feinwurzeln; keine Einregelung erkennbar; Lithologie: Kalksandstein, Kalkstein, Mergelreste Konglomerat, kein Granit(!); sehr ausgeprägte Toncutane an Grobboden und Aggregaten; Toneintrag bis an die Untergrenze, nimmt mit der Tiefe ab; Grobbodenanteil > 50 %; Mittel- und Grobporen: mittel bis viel; Trockenrisse; w1 wg0.	127-4 127-5	38-88 88-135
135-140+	III emCn	Farbe: 2,5 Y 6/4; anstehender Mergel, verwittert.	127-6	135-140

**Anhang 24:** Profilbeschreibung Profil 128

<b>Profil:</b> 29/9/128				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Lastras		<b>Aufschluß:</b> Hangkante		
<b>Lage:</b> Ostkante Glacis, 988 m üM, 30 T 716990 4714888				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Grünland/Acker				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 140 cm aufgeschlossen;				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-70	eM	Farbe: 2,5 Y 4/3, beige-braun; Feinboden primärcarbonathaltig, min. c4, toniger Schluff; Grobboden: Sandstein, plattig, kein Sekundärcarbonat an Grobboden; keine Einregelung erkennbar; Sub- bis Polyedergefüge auf den obersten 10 cm Krümelgefüge; viele Poren; Wurzeln im Profil.	128-1	0-70
70-140+	II eM	Kompakter und dichter gelagert als darüber; weniger Grobboden als darüber; unten rechts großer Stein/Block; sonst wie darüber.	128-2	70-140

**Anhang 25:** Profilbeschreibung Profil 129

<b>Profil:</b> 29/9/129				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Lastras		<b>Aufschluß:</b> Glaciskante		
<b>Lage:</b> Westkante Glacis nördlich von Lastras; 972 m üM, 30 T 716745 4714778				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen, anstehender Mergel nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-20	eAh oder Ap	Farbe: 2,5 Y 4/3; Feinboden min. c4, Primärcarbonat; stark durchwurzelt; Mitteltoniger Schluff oder schluffiger Ton; Grobbodenanteil ca. 10 %; Grobboden: Grus, plattig, Flyschsandstein; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Streureste; wf4 wg1; wenig Poren.	129-1	0-20
20-35	eIcV	Farbe wie darüber; Grobbodenanteil unten min 50 %; Grus, kantig-plattig; parallel zur GOK eingeregelt; weniger Wurzeln als darüber; Feinboden Primärcarbonathaltig; Grobboden an Unterseite mit Sekundärcarbonat; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Feinboden schluffärmer als darüber.	n. b.	
35-100+	II eIcV	Grobbodenanteil 50 %, Grobboden plattig und parallel zur GOK eingeregelt		

**Anhang 26:** Profilbeschreibung Profil 130

<b>Profil:</b> 29/9/130				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Larrede		<b>Aufschluß:</b>		
<b>Lage:</b> Zwischen den Sandsteinschichtrippen, 910 m ÜM, 30 T 720327 4713744				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 62 cm aufgeschlossen; Granitblöcke um das Profil, Anstehende nicht erreicht.  Anmerkung: Horizontabfolge: Ah(bzw. Ai)/Bv(Bv-Cv)/IleCvcm				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina in Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-35	eAh	Farbe: 10 YR 2,5/3; stark durchwurzelt; Skelett: kantig bis kantengerundet; Lithologie: Granit (zu Grus verwittert) und Sandstein; feinsandiger Schluff, carbonatreich; diamiktisch; locker, leicht grabbar; Grobbodenanteil ca. 20 %.	n. b.	n. b.
35-62+	II eICv	Farbe: 2,5 Y 4/3; weniger Wurzeln, mehr Skelett ca. 80 %; min. c4; geringfügige Carbonatisierung des Grobbodens an der Unterseite (?); Feinboden sandiger Lehm.	n. b.	n. b.

**Anhang 27:** Profilbeschreibung Profil 131

<b>Profil: 29/9/131</b>				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Kulminationsbereich der Sandsteinschichtrippe 30 T 719999 4713716, 944 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Gräser, Buchs, Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 55 cm tief im Till gegraben, Anstehende nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Proben tiefe
0-30	eAh	Farbe: grau, Feinboden carbonatreich, weniger humos als Profil 130; mittelsandiger Schluff.	n. b.	n. b.
30-55+	II eCv	Farbe: 10 YR 4/3; Grobbodenanteil ca. 70 %; Lithologie: Sandstein, Granit, Grus und Kies, Sekundärcarbonat an der Unterseite; Steine kantengerundet; Feinboden: schluffiger Lehm.	n. b.	n. b.

**Anhang 28:** Profilbeschreibung Profil 132

<b>Profil:</b> 29/9/132				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Nördliche Sandsteinschichtrippe nördlich von Javierre, 1007 m üM, 30 T 720589 4714134				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich				
<b>Vegetation:</b> Buchs, Gräser, Dornbusch, Bedeckungsgrad 90 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 68 cm aufgeschlossen; Profil auf/im Feldweg (anthropogene Störung?), Granitblöcke um das Profil; Anstehende nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-20	eAh	Farbe: 10 YR 3/3; stark durchwurzelt; Feinboden stark carbonathaltig; sandiger Schluff; Grobbodenanteil ca. 10 %, Grus, kantige Steine, Lithologie: Sandstein.	n. b.	n. b.
20-68+	II eCv	Farbe: 2,5 Y 4/3; Grobbodenfrei, Feinboden min. c4, weniger Wurzeln als darüber; schwach sandiger Schluff	n. b.	n. b.

**Anhang 29:** Profilbeschreibung Profil 133

<b>Profil:</b> 29/9/133				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Profil etwa 10 m westlich von Profil 132 30 T 720579 4714140, 1008 m üM.				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich				
<b>Vegetation:</b> Macchia/Wald				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 60 cm aufgeschlossen				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtief e
0-15	eAh	Farbe: 2,5 YR 3/3; Feinboden min. c4; diamitkisch, Grus, Kies, Steine; leicht humos; keine Einregelung erkennbar; sandiger Schluff; Lithologie: Granit und Sandstein.	n. b.	n. b.
15-60+	eCv	Farbe: 2,5 Y 4/3; weniger Wurzeln als darüber; stark sandiger Schluff	n. b.	n. b.

**Anhang 30:** Profilbeschreibung Profil 134

<b>Profil:</b> 29/9/134				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> Bächlein zwischen Sandsteinschichtrippen 30 T 720309 4713942, 910 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 130 cm aufgeschlossen, Anstehende nicht erreicht				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-130+	M	Farbe: 10 YR 4/3, bei 60 cm 2,5 Y 4/3; Feinboden stark carbonathaltig; feinsandiger Schluff, druchzogen mit Schuttbändern, Schutt horizontal eingeregelt, tw. auch Kies, sonst kantig bis kantengerundet; Wurzeln im Profil.	n. b.	n. b.

**Anhang 31:** Profilbeschreibung Profil 135

<b>Profil: 29/9/135</b>				
<b>Datum:</b> 30.09.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Latas		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> Nördlich von Latas am Gallegoufer, 30 T 718977 4713040, 797 m NN, Profil streicht 100°, Exposition: N.				
<b>Relief:</b> Hangneigung ca. 10 bis 15°.				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen, Anschnitt am linken Gallego Ufer gegenüber der Senegüe Endmoräne, anstehender Mergel nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-50	eAhc/eICv	Farbe: 10 YR 4/3; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; Feinboden min. c4; toniger Schluff; Skelettkomponenten tw. Stark verwittert.	n.b.	n.b.
50-110+	eICck	Farbe: 2,5 Y 5/3; min c4, Feinboden mit Sekundärcarbonat verkittet; Polyeder- bis Kittgefüge; Grobboden ganzseitig carbonatisiert, v. a. aber Unterseite; Grobboden: Kiese und Steine (=> Schotter)kantengerundet bis stark gerundet; Lithologie: Granit und Sandstein.	n.b.	n.b.

Anhang 32: Profilbeschreibung Profil 136

<b>Profil: 29/9/136</b>				
<b>Datum:</b> 01.10.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Larrede		<b>Aufschluß:</b> Baggerschurf		
<b>Lage:</b> Südwestlich von Larrede am linken Gallegoufer, 30 T 719604 4713897, 783 m üM.				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Inverse Aufnahme!				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-27		7,5 Y 4/1 blaugrüner Ton, teilweise Kies und Grus (Dropstones), carbonathaltig.	136-1	0-27
27-44		2,5 Y 4/4 leicht schluffig, beigebraun, gebändert	OSL14,1 136-2	0-27 27-44
44-48		Feinsandband, konvex gewölbt, Stechrahmen bei 42-46 cm (oben Sand unten Ton im Stechrahmen).	136-3 OSL 3	44-48
48-64		Ton, braun, gebändert (Bänder 1-2 mm mächtig), ähnlich wie bei 27-44 nur durch Sandlinie getrennt.	136-4	48-64
64-81		Ton, graublau, zwischen 70 und 75 sandiger, 7,5 Y 5/1	136-5	64-81
81-106		Feinsand, graubraun, Hangwasser tritt aus	136-6	81-106
106-116		Feinsand, beigebraun, naß, gebändert.	136-7	106-116
116-171		Schotterpaket, Kies und Grus, Mächtigkeit des Schotterpaketes etwa 3 m, wenig Feinboden, v. a. Kies, Grus, Steine und Blöcke, Granit und Sandstein =>glazifluvial.	136-8	116-171

**Anhang 33:** Profilbeschreibung Profil 137

<b>Profil: 29/9/137</b>				
<b>Datum:</b> 01.10.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Aurin		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Nördlich der Aurin Endmoräne am Feldweg nach Senegüé 30 T 717869 4712032, 790 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> 90 cm aufgeschlossen				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-60	eAh/elCv	Schotter, Grobbodenanteil ca. 70 %, keine Einregelung erkennbar, Kies, stark gerundet.	n.b.	n.b.
60-90+	elCkc	starke Sekundärcarbonatanreicherung => Verkittung	n.b.	n.b.

Anhang 34: Profilbeschreibung Profil 138

<b>Profil: 29/9/138</b>				
<b>Datum:</b> 01.10.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Hangkante		
<b>Lage:</b> Nördlich an Javierre, am Fuß der Sandsteinschichtrippe, neben dem Bach 844 m üM, 30 T 719907 4712755				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Gräser, Dornbusch, Buchs, Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 146 cm aufgeschlossen, anstehender Mergel/Flysch nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-10	eAh	Farbe: 10 YR 4/3; feinsandiger toniger Schluff, Grobbodenanteil ca. 5-10%; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Grobboden nicht carbonatisiert; Feinboden min. c4.	n. b.	n. b.
10-50	Bv-elCv	Farbe: 10 YR 4/4; Regenwurmlöcher; Grobbodenanteil ca. 10 bis 15 %; Fein- und Grobboden wie darüber; Lithologie: Kalksandstein und Granit; Feinboden min. c4; Kalkkonkretionen < 1 mm, Sekundärcarbonat.	138-1	10-50
50-88	Bv-elCv	Sandsteinblock mit geringer Sekundärcarbonatanreicherung an der Unterseite.		
88-116	Bv-elCv	Farbe: 7,5 YR 4/4, deutliche Sekundärcarbonatanreicherung in Wurzelgängen; rechts kantiger Schutt (Sandstein, eingeregelt (?)) Grobwurzeln, Regenwurmlöcher.	138-2	88-116
116-146+	elCkc	Farbe: 10 YR 4/4; Horizontgrenze gekippt, scharfer Übergang; Kies und kantengerundete Steine; Sekundärcarbonat, auch an der Unterseite von Kies und Steinen; schwer grabbar.	138-3	116-146

**Anhang 35:** Profilbeschreibung Profil 139

<b>Profil:</b> 29/9/139				
<b>Datum:</b> 01.10.2008		<b>Bearbeiter:</b> Endler, R., Hirsch, F., Schuhart, S.		
<b>Ort:</b> Javierre		<b>Aufschluß:</b> Hangkante		
<b>Lage:</b> 10 m neben 138, an der Terrassenkante über dem Bach, 30 T 719894 4712755, 840 m üM.				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Anstehender Sandstein bei 120 cm erreicht, darüber Kolluvium, Grus und Steine tw. Schräg gestellt, stark durchwurzelt.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm

**Anhang 36:** Profilbeschreibung Profil 140

<b>Profil: 29/9/140</b>				
<b>Datum:</b> 16.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube in Steinbruch		
<b>Lage:</b> 30 T 700145 4725552, 933 m üM Dritte Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca im Steinbruch.				
<b>Relief:</b> Unterhang, konvex-konvex				
<b>Vegetation:</b> Dornbusch, Gräser, Buchs				
<b>Profilübersicht:</b> Zweiteiliges Profil, oberer Teil 60 cm aufgeschlossen, unterer Teil 200 cm aufgeschlossen. Till, Großblöcke neben den Profilwänden; Steinpflaster obenauf.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-19	Ach	Farbe: 8,75 YR 3/4 (feucht); stark durchwurzelt, Fein- und Grobwurzeln; Feinboden c2, nimmt mit Tiefe zu; kiesiger, feinsandiger Schluff; Verkrustung des Grobbodens an Unter- und Hangseite, nimmt in Ausprägung und Ausmaß nach unten zu; diamiktisch, Grobboden kantengerundet; auf den obersten 5 cm Krümelgefüge, darunter eher Einzelkomgefüge.	n. b.	n. b.
19-60	elCck	Farbe: grau; Profil wegen Verkrustungen schwer grabbar; Carbonathaltig (min. c4); Wurzeln bis 130 cm; Feinboden: S13; keine Einregelung erkennbar; gelber Sandstein teils stark verwittert; Kittgefüge.	n. b.	n. b.
60-100	elCck	Farbe: hellbeige; Till; nicht mehr grabbar, Kalkkonkretionen	n. b.	n. b.
100-120	elCck	Farbe: graubraun; sonst wie darüber	n. b.	n. b.
120-180	elCck	Farbe: grau-dunkelbraun; hoher Grobbodenanteil, viele Grobporen-; Calcit Kristalle an der Unterseite häarchenförmig ausgebildet; tw. kein Feinboden in den Zwischenräumen; sonst wie darüber.	n. b.	n. b.
180-200+	elCck	Steine eher kantengerundet; Sekundärcarbonat in den Porenräumen	n. b.	n. b.

**Anhang 37:** Profilbeschreibung Profil 141

<b>Profil:</b> 29/9/141				
<b>Datum:</b> 16.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> 30 T 700153 4725581, 940 m üM Dritte Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca im Steinbruch.				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich der Endmoräne.				
<b>Vegetation:</b> Dornbusch, Gräser, Buchs				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 56 cm aufgeschlossen; Exposition SSW; sehr trocken.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-2	Ah	Nur sehr gering ausgeprägt, im trockenen kein farblicher Unterschied zu darunter erkennbar.	n. b.	n. b.
2-26	Ach	Farbe: braun; Feinboden carbonatfrei; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Kies und Grus, tw. auch an der Hangseite; Ausprägung der Carbonatisierung nimmt mit der Tiefe zu; im oberen Bereich des Horizontes Carbonatisierung eher schutzig gelb-braun (möglicherweise rezente Lösung?), darunter heller und weißlicher; diamiktisch; Fein- und Mittelwurzeln; Gefüge: Polyeder bis Subpolyeder.	n. b.	n. b.
26-56+	elCck	Farbe: ?; scharfe Obergrenze, wellig, nach links gekippt; tw. auch verwittertet Sandsteine; nur schwer grabbar; Wurzeln werden mit der Tiefe deutlich weniger; keine Einregelung erkennbar.	n. b.	n. b.

**Anhang 38:** Profilbeschreibung Profil 142

<b>Profil: 29/9/142</b>				
<b>Datum:</b> 21.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<p><b>Lage:</b> Vierte Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca im Wald. Südöstlich der Eisenbahnbrücke über den Aragon. 935 m üM. (UTM: 30 T 700546 4725652)</p>				
<p><b>Relief:</b> Kulminationsbereich der Endmoräne.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Steineiche, Buchs, Gräser, Mischwald. Bedeckungsgrad 70 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 67 cm aufgeschlossen; starker Regen in der letzten Nacht. Exposition Südwest. Ausgangsgestein Till, Lithologie: rote Schiefer (tw. stark verwittert), Calcit, Konglomerat, Sandstein, kein Granit. Rote Schiefer färben Boden rötlich-braun.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-2	Ach	Farbe: braun mit leichtem Graustich; carbonatfrei (c0); geringmächtig; schwach humos (h2); Feinboden: schluffiger Lehm (Ut2); Gefüge: Subpolyeder; Aggregatgröße: kleinfein; Fein- und Grobwurzeln (wg4 und wf4); wenig Feinboden (Kies und Grus).	142-1	0-2
2-35	Bcv	Farbe: braun (bis etwa 18 cm) rotbraun (18 bis 46 cm)	142-2	2-13
35-46	Bv+elCv	wegen verwitternden rotem Schiefer und rotem Konglomerat; Feinboden carbonatfrei (c0); Fein- und Grobwurzeln; schwache Carbonatisierung an der Unterseite von Steinen; kein Humos; Feinboden: Lehmschluff (Ut2); Grobbodenanteil ca. 60 %; Tonschiefer tw. stark verwittert; bröckelig und mit der Hand zerdrückbar, subpolyedrisches Gefüge.	142-3 142-4 142-5	13-24 24-35 35-46
46-67+	elCc+	Farbe: gelb-rotbraun, fleckig; Carbonathaltig (min. c4); schluffige Anteile im Feinboden: gelblich, extrem carbonathaltig; starke Konkretionen an der Unterseite von Grobboden; schwer grabbar; wenig Wurzeln, scharfe Grenze in der Wurzelfront; hoher Grobbodenanteil; Feinboden wie darüber; Sandstein verwittert.	142-6 142-7	46-56 56-67

Anhang 39: Profilbeschreibung Profil 143

<b>Profil: 29/9/143</b>				
<b>Datum:</b> 21.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Till Seitenmoräne östlich von Villanua, nahe der lokalen Vergletscherung. 30 T 703416 4728671, 1188 m üM				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b> Gräser, Buchs, Dornbusch				
<b>Profilübersicht:</b> Dreiteiliges Profil; Großblöcke auf und im Till (v. a. Sandstein und Konglomerat). Exposition SE				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-5	Ach	Farbe: braun; Feinboden carbonatfrei, Sekundärcarbonatanreicherungen an der Unterseite von Steinen, wenig Grobboden, Einzelkornggefüge; Fein- und Grobwurzeln;	n. b.	n. b.
5-15	Bv-Cv	Farbe: gelbgrau-hellbraun; Feinboden carbonathaltig (min. c4); weiße Konkretionen im Feinboden; Grenze unscharf und wellig; Bcv nicht einheitlich ausgeprägt, im oberen Teil leichte Verwitterung; Fein- und Grobwurzeln; Grobboden ganzseitig carbonatisiert	n. b.	n. b.
15-100+	eICkc	Farbe: gelbgrau (heller als darüber); Carbonatgehalt (min. c4); Feinboden sandig-schluffig, trotz Konkretionen leicht grabbar.	n. b.	n. b.

Anhang 40: Profilbeschreibung Profil 144

<b>Profil: 29/9/144</b>				
<b>Datum:</b> 23.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Zweite Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca, 949 m NN auf dem großen Endmoränenbogen, 30 T 700378 4724440				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich				
<b>Vegetation:</b> Kleine Steineichen, Buchs und Gräser; Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 40 cm aufgeschlossen; trocken und sonnig. Till diamiktisch: v. a. Sandstein, nur wenig roter Schiefer.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-2	Ach	Farbe: braun; Gefüge: Einzelkorn-Subpolyeder; Feinboden carbonatfrei, wenig Sekundärcarbonat; sandig-schluffiger Lehm; Oberboden eher Grobbodenarm; Fein- und Grobwurzeln. Untergrenze scharf und wellig.	n. b.	n. b.
2-26	Bv+eIC	Farbe: braun (heller als darüber); Grobbodenanteil nimmt zu (etwa 30 %); Fein- und Grobwurzeln; Subpolyedergefüge; schluffig-sandiger Lehm; Feinboden größtenteils carbonatfrei, sehr wenig Sekundärcarbonat (weniger als im Ach); an der Unterseite von Blöcken Carbonatisierung, auf der Unterseite von darüberliegenden Steine keine/kaum Carbonatisierung (=>Block sperrt nach unten ab); Blöcke auch tw. hangseitig carbonatisiert, Carbonatkrusten aber eher gering ausgebildet, nimmt mit Steingröße aber zu.	n. b.	n. b.
26-40+	eICkc	Farbe: grau-hellbraun; deutlich weniger Wurzeln als darüber; Carbonatkonkretionen im Feinboden, deutlich schwerer grabbar als darüber, Kittgefüge; Farbe schwankt mit Carbonatgehalt, Hangwärtige und Unterseite von Grobboden carbonatisiert.	n. b.	n. b.

Anhang 41: Profilbeschreibung Profil 145

<b>Profil: 145</b>				
<b>Datum:</b> 27.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Aratores		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<p><b>Lage:</b> Osthang oberhalb der äußersten Seitenmoräne, 1049 m üM (UTM: 30 T 699630 4724385)</p> <p><b>Relief:</b> Mittelhang, Hangneigung ca. 20°</p> <p><b>Vegetation:</b> Kiefern, Buchs, Dornbusch, Gräser, Thymian</p> <p><b>Profilübersicht:</b> Profil 86 cm aufgeschlossen, trockenes und heißes Wetter seit mehreren Tagen-</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus solifluidal verlagertem Flysch/Mergel (parautochthon)				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probertiefe
0-20	Ahc	Farbe: braun; feinkorn carbonathaltig (min. c4) Sekundärcarbonat; schwach humos, viel Feinkorn, Grobkorn kantig (=> Grus); Einzelkorn- und Polyedergefüge; wg4 und wg4; Feinkorn: schluffig-sandig; Sekundärcarbonat an der Oberfläche (runde Kügelchen (ca. 2 mm Durchmesser)); diffuse Untergrenze.	n. b.	n. b.
20-86	eICc bzw. eMc	Farbe: beige-hellgrau, oben eher hellbraun; wf1 und wg1; Kalkkonkretionen z. T kreidig, runde Kügelchen bis 5 mm Durchmesser, Wurzelgänge mit Kalkausfällungen, Unterseite von Grobkorn carbonatisiert; Grobkorn: tw. Blöcke im Profil; Horizont dicht gelagert, schwer grabbar, tonhaltig, Feinkorn: tonig-schluffig; sehr wenig Sand, reich an Fein- und Grobporen; Regenwurmröhren; Lithologie: Flyschsandstein und Mergel.	n. b.	n. b.

**Anhang 42:** Profilbeschreibung Profil 146

<b>Profil: 146</b>				
<b>Datum:</b> 27.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Aratores		<b>Aufschluß:</b> Hammerschurf		
<b>Lage:</b> Westhang oberhalb der äußersten Seitenmoräne, südlich von Aratores. 1043 m üM (UTM: 30 T 699700 4724173).				
<b>Relief:</b> Mittelhang gestreckt-gestreckt; Hangneigung 20°, Exposition 50°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald, Buchs, Gräser und Moose. Bedeckungsgrad 100%.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 45 cm tief, Ausgangsgestein nicht erreicht				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Flysch/Mergel				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probentiefe
0-21	eAh	Farbe: 10YR 4/3, Krümelgefüge.	146-1 146-2	1-11 11-21
21-45+	elCv	Farbe: 10YR 4/6, wird nach unten heller; Grus (Sandstein aus Flysch); größtenteils hangparallel eingeregelt; Grobbodenanteil ca. 30 %; Regenwurmgänge; nehmen nach unten ab; Polyedergefüge; Sekundärcarbonat; nur geringe Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden; mit dem Hammer schwer grabbar; Feinboden: tonig-lehmig, wird nach unten schluffiger; Feinboden c3 bis c4; Ameisen im Profil; w1, wg1.	146-3 146-4	21-31 31-45

**Anhang 43: Profilbeschreibung Profil 147**

<b>Profil: 29/9/147</b>				
<b>Datum:</b> 27.07.2009 und 08.09.20		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Aratores		<b>Aufschluß:</b> Schürf am Wegrand		
<b>Lage:</b> Äußerste Seitenmoräne am Westhang südlich von Aratores am Wanderweg. 1036 m üM, UTM: 30 T 699751 4724187.				
<b>Relief:</b> Mittelhang gestreckt-gestreckt; Hangneigung, 30°, Exposition 30°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald, Buchs, Gräser und Moose. Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil: 120 cm aufgeschlossen; Till mit Großblöcken (bis 1,5 m) oben und ums Profil; 1035 m NN; Exposition: ONO.				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde in feinstbodenreichem Substrat über Till				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probentiefe
0-2	Ah	Farbe 10YR 3/4 gräulich-schwarz; gering ausgebildet, schwach humos; Krümel und Subpolyedergefüge; graue Flechten und Pilze, Grobbodenanteil <5%.	147-1	0-2
2-22	Bcv	Farbe: 10YR 4/3, Feinboden c0; oben schwaches Subpolyedergefüge, geht in Polyedergefüge über; Tocutane an Aggregaten und Grobboden; Trockenrisse; viele Poren; Wurmrohren und Wurzelgänge; Grobbodenanteil < 5%, Kies und runde Steine, tw. Grus, Grobbodenanteil nimmt nach unten zu; wf4 wg3.	147-2 147-3	2-12 12-22
22-32 32-42	Bcv Bv+elCv	Farbe: 10 YR 4/4 bis 4/6; Grobbodenanteil ca. 15%; Toncutane; Feinboden c3; viel Grus; Grobboden an Unterseite carbonatisiert (eher fossile Krusten da schmutzig); Grobboden oft an HS carbonatisiert; Polyedergefüge; viele Poren; Trockenrisse; Toncutane an Grobboden und an Aggregaten; wf3 wg1; Grobboden chaotisch gelagert; Schichtgrenze oben deutlich, Horizontgrenze diffuser Übergang; scharfe Schichtgrenze unten; Horizont: diffuser Übergang.	147-4 147-5	22-32 32-42
42-82	II elCv	Farbe: 10 YR 5/3 bis 4/3; Grobbodenanteil ca. 60%; Wurmrohren und Wurzelgänge; wf2, wg1; viele Poren und Risse; Grobboden im oberen Teil Blöcke und Steine (kg bis sg) nach unten deutlich grusiger/kiesiger; Sekundärcarbonat im Feinboden und an der Unterseite von Grobboden, keine Einregelung des Grobbodens erkennbar; Feinboden: grusiger Ton; Feinboden min. c4; Untergrenze wellig, nach links geneigt.	147-6 147-7 147-8 147-9	42-52 52-62 62-72 72-82
82-120+	II elCc	Farbe: 2,5Y 5/4, Grobbodenanteil ca. 60%, flacher, kantiger Sandstein, Feinboden min. c4, schluffig-tonig; Ausgeprägte Carbonatkrusten an Grobboden.	147-10	82-100

Anhang 44: Profilbeschreibung Profil 148

<b>Profil: 29/9/148</b>				
<b>Datum:</b> 28.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Schürf am Wegrand		
<b>Lage:</b> Seitental südöstlich von Villanua, nahe Viadukt. 987 m üM, 30 T 701773 4725370				
<b>Relief:</b> Mittelhang, Hangneigung 30°, Profilwand streicht 60°.				
<b>Vegetation:</b> Lichter Kiefernwald mit Dornbusch, Buchs und Gräsern. Bedeckungsgrad 90 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen, Till, Blöcke ums Profil > 1,5 m; Terrassierung oberhalb von Profil.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probtiefe
0-1	Ah	Farbe: hellbraun-grau; geringmächtig und gering ausgeprägt, schwach humos, wenig Streu, Einzelkom- und Subpolyedergefüge; Feinboden: schluffig- leicht sandig; wenig Grobboden.	n. b.	n. b.
1-20	Bcv+eCcv	Farbe: 7,75 YR 4/4 gelb-braun; möglicherweise Kolluvium?; Polyedergefüge; Regenwurmrohren und -kot; Feinboden: schluffig- leicht sandig; 5-10 % Grobboden mit Carbonatisierung (Unterseite und Hangseite); Grobboden größtenteils gerundet teils kantig; wg5; Sekundärcarbonat im Feinboden und Primärcarbonat (je nach fortgeschrittener Verwitterung); feinsandiger, schwach schluffiger Ton.	n. b.	n. b.
20-80	II elCc	Farbe: 7,5 YR 4/6 braun (dunkler als darüber); 20 % Grobboden; Feinboden wie darüber; Sekundärcarbonat an Unterseite und Hangseite; Feinboden carbonathaltig c4; Polyedergefüge.	n. b.	n. b.
80-110+	II elCkc	Farbe: hellbraun-hellgrau, durch Sekundärcarbonatkonkretionen verhärteter Feinboden; nicht mehr grabbar, Grobbodenanteil 50 %.	n. b.	n. b.

**Anhang 45:** Profilbeschreibung Profil 149

<b>Profil: 29/9/149</b>				
<b>Datum:</b> 28.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Oberhalb des Tunnelausgangs und eingestürzten Bahnhäuschen südöstlich von Villanua, 991 m üM, 30 T 701125 4725158				
<b>Relief:</b> Mittelhang gestreckt-gestreckt, Hangneigung 20°, Profilwand streicht 120°.				
<b>Vegetation:</b> Kleine Steineichen, Buchs, Dornbusch, Disteln und Gräser. Bedeckungsgrad ca. 20 %. Wahrscheinlich ehemals Weidenutzung.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen; Grundmoräne (wahrscheinlich lodgement Till); diamiktisch, Lithologie (siehe Analyse); Steinpflaster obenauf (=> Erosion).				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probentiefe cm
0-20	eAch	Farbe: 7,5 YR 3/3 braun; schwach humos, wegen geringer Vegetationsbedeckung; Untergrenze diffus und wellig; Sekundärcarbonat an Unterseite und Hangseite von Grobboden; Carbonatkrusten schmutzig grau-braun; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Feinboden c2 bis c3; Grobboden 20 % grusig und kiesig (mittel bis grob); Feinboden: leicht feinsandig-schluffig; wf3 und wg3; viele Poren; Holzkohlen.	149-1 149-2	0-10 10-20
20-40	eICkc	Farbe: 10 YR 4/3 hellbraun, z. T. gräulich braun; Obergrenze wellig und taschenförmig, diffus. Untergrenze scharf und wellig; Feinboden carbonathaltig; Subpolyedergefüge; wf0 und wg2; Feinboden: schluffig-feinsandig; Carbonatisierung an der Unterseite und Hangseite von Grobboden.	149-3 149-4	20-30 30-40
40-100+	emCc	Farbe: weißgrau, Obergrenze tw. weiß; Feinboden mit Sekundärcarbonat konkretioniert (min. c4), mit dem Hammer schwer grabbar; Grobbodenanteil ca. 50 %.	149-5	40-60

Anhang 46: Profilbeschreibung Profil 150

<b>Profil: 29/9/150</b>				
<b>Datum:</b> 28.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Schürf am Wegrand		
<p><b>Lage:</b> Südöstlich von Villanua. Östlich des Viadukts an der Wegkreuzung/Schranke, 980 m üM, 30 T 701683 4725310</p>				
<p><b>Relief:</b> Unterer Oberhang, konvex-konvex (beides schwach); 20° Neigung längs und 10° Neigung quer zum Profil; Profil streicht 170°, Exposition Südsüdost.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Lichter Wald, Kiefern, Buchs, wenig Steinechen, Dornbusch, Rosmarin und Gräser. Vegetationsbedeckung 100 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 200 cm aufgeschlossen; Lithologie: Till (diamiktisch, gerundete Blöcke/Großblöcke) unterer Oberhang. Pararendzina (?) oder Kolluvium über Till oder HL über Till oder gekappte Parabraunerde</p>				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont		Proben Nr.	Probentiefe cm
0-2	eAhc	Farbe: braun; Subpolyedergefüge; wahrscheinlich Primärcarbonat, Feinboden schäumt stark; Anteil Grobboden eher gering; schwach humos; Untergrenze diffus; wf4 und wg3; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Feinboden wie darunter.	n. b.	n. b.
2-20	Bv+eCv	Farbe: 7,75 YR 4/4 helleres braun als darüber; Feinboden carbonathaltig (c2), Sekundärcarbonat?; Subpolyedergefüge; Unterseite von Steinen carbonatisiert; wf3 und wg3; Feinboden: schluffig-leicht sandig; Grobbodenanteil ca. 30 %; diffuse Untergrenze; Holzkohlen; feinsandiger, schluffiger Ton, schwach ausgeprägte Toncutane (?).	n. b.	n. b.
20-80	eICc	Farbe: helleres braun als darüber; Subpolyedergefüge; Feinboden wie darüber; stark carbonathaltiger Feinboden (min. c4); Wurzeln wie darüber; Untergrenze scharf aber wellig, bildet Taschen.	n. b.	n. b.
80-200+	eICkc	Farbe: grauweiß; Feinboden mit Sekundärcarbonat konkretioniert; nicht mehr grabber, sehr viele Mittelporen.	n. b.	n. b.

**Anhang 47:** Profilbeschreibung Profil 151

<b>Profil: 29/9/151</b>				
<b>Datum:</b> 30.07.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 965 m NN UTM 30 T 701363 4726303				
<b>Relief:</b> Hangform: Restform, konvex-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Gräser, Moose, Dornbusch, Buchs, Disteln, Bedeckungsgrad 100%. Weidenutzung.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 70 cm aufgeschlossen, nördlich der Bahnstrecke von Villanua bei Tunnelausgang, Grundmoräne, Blöcke neben und auf dem Profil.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till mit Sekundärcarbonatanreicherung				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Proben-tiefe
0-15	eIAch	Farbe: grau, wird nach unten heller; schwach humos; Fein- und Grobwurzeln, Feinboden: schluffig leicht feinsandig; Anteil Grobboden etwa 10 bis 15 %, Verteilung variiert, diamaktisch, Grus und Kies; Feinboden: Subpolyeder- und Einzelkornggefüge; Sekundärcarbonat im Feinboden, Carbonatisierung an der Unterseite z. T. vorhanden aber schwach ausgeprägt.	n. b.	n. b.
15-70+	eICc	Farbe: hellgrau; Feinboden wie darüber; deutlich weniger Wurzeln als darüber; starke Carbonatisierung aber noch grabbar, nicht massiv; Feinboden schäumt mit HCl stark, min. c4; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Subpolyeder- und Kittgefüge, Grobbodenanteil ca. 40 %, keine Einregelung erkennbar, Lithologie: v. a. Sandsteine	n. b.	n. b.

## Anhang 48: Profilbeschreibung Profil 152

Profil: 29/9/152				
Datum: 30.07.2009		Bearbeiter: F. Hirsch, S. Schuhart		
Ort: Villanua		Aufschluß: Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Profil südlich von Tunnelausgang an der Wegkreuzung, 949 m uM, 30 T 701070 4725091				
<b>Relief:</b> Mittelhang vertikal-gerstreckt, kippt 10° nach SE, Hangneigung etwa 10°, 2 m hinter Profil Hangknick, Hangneigung dort 30°. Hang weiter oberhalb durch Tunnelbau mögl. Anthropogen gestört				
<b>Vegetation:</b> Steineichen und Kiefern, dazwischen Dornbusch, Buchs, Kräuter, Rosmarin, Gräser und Brombeere, Bedeckungsgrad: 100%				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 200 cm aufgeschlossen, Exposition SW, Profilwand streicht 130°, Kolluvium über Deckschicht (???) über Till. Neben dem Profil tritt aus dem Till Wasser aus (Schichtquelle), Schichtfallen senkrecht aus der Grube etwa 10 %; 0-60: M (?) 60+ Till (mehrschichtig)				
Bodentyp:				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Proben tiefe
0-5	eAh	Farbe: graubraun; schwach humos, Subpolyeder- Einzelkorngefüge, Feinboden schäumt mit HCl stark (min. c4), Fein- und Grobwurzeln, Grobbodenanteil 5 bis 10 %, Feinboden: schluffig-feinsandig.	152-1	0-5
5-40	Bvc (?)	Farbe: leicht rötlich-braun; Obergrenze: diffuser Übergang, Untergrenze: wellenförmig und diffus; Feinboden wie darüber, Polyeder- bis Einzelkorngefüge; viele Grob- und Feinwurzeln; im Feinboden weißes Carbonat erkennbar (wahrscheinlich sekundär); Anteil Grobboden ca. 10 % bestehend aus Kies und Grus, Grobboden an der Hangseite mit Carbonatkrusten => falls Kolluvium: kein junges Kolluvium.	152-2 152-3	5-20 20-40
40-60	eCcv	Farbe: braun-schwach rötlich (dunkler als darüber, weniger rot), Feinboden: feinsandig, schwach schluffig, Grobbodenanteil etwa 10 %, grusig, Feinboden schäumt stark (mind. c4), Subpolyeder- Polyedergefüge, Wurzeln wie darüber, Untergrenze scharf und gerade, leicht nach rechts gekippt, Carbonatisierung an der Unterseite von Steinen	152-4 152-5	40-50 50-60
60-90	II fBcv	Farbe: gelblich-rötlich-braun, wird nach unten gelber; Holzkohlefitter, Grobbodenanteil ca. 60 %, Schicht wird nach links schmaler, Grobboden kantig bis gerundet, an der Unter- und Hangseite carbonatisiert, Feinboden carbonathaltig (min. c4), schwer grabbar mangels Feinboden, Fein- und Grobwurzeln nehmen nach unten hin ab, chaotisch eingeregelt.	152-6 152-7	60-75 75-90
90-110	III eCc	Farbe: gelblich-braun; mehr Feinboden als darüber; feinsandig-schluffig, Feinboden stark carbonathaltig (min. c4), möglicherweise Löss aber auch kantengerundeter Grobboden, Gefüge: Einzelkorn- bis Kittgefüge, Steine etwa 5-10 cm Durchmesser, im linken Teil mehr Feinboden, Feinboden porenreich, weniger Wurzeln als darüber, Grobboden ganzseitig carbonatisiert.	152-8 152-9	90-100 100-110
110-135	IV fBcv	Farbe: sattes gelb; Feinboden: feinsandig-schluffig; hangparallel eingeregelt Schicht, Grobboden plattig, kantig bis kantengerundet, weiße Konkretionen im Feinboden erkennbar (=> Sekundärcarbonat); vermutlich Eisenausfällungen aus verwitterten Sandsteinen bilden rot-braun bis schwarze Rückstände, färben Umgebung um verwitternde Sandsteine rostbraun, nur wenig Wurzeln (Grob- und Fein); Gefüge: Einzelkorn- bis Kittgefüge; beginnende Krustenbildung, Grobbodenanteil ca. 40 %; Untergrenze: scharf, wellig und nach rechts gekippt (folgt damit rezenter Hangneigung); Obergrenze teils unscharf und farblich nicht feststellbar, Sekundärcarbonat in Porenräumen, Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden deutlicher als an der Oberseite (siehe Handstück 29/9/152-1).	152-10	110-135
135-150	V fBcv	Farbe: grau-gelb; schluffiger Lehm, nach rechts gekippt, porenreich; Sekundärcarbonat in den Poren, Untergrenze scharf, nach links nur sehr geringmächtig (ca. 4 cm); nach rechts max. 15 cm; Obergrenze kippt oben rechts nach unten; Schlufflinie in der Mitte der Schicht oberhalb der Untergrenze in einer Tasche, Schlufflinie nach oben durch eine ca. 5 mm hohe und 4 cm lange Kalkkruste die an der Obergrenze verläuft begrenzt; Gefüge: Kohärent- bis Kittgefüge; Grobbodenanteil nur etwa 5 % bestehend aus grusig verwitternden Sandstein.	152-11	135-150
150-160	VI fAh	Farbe: braun-gelb; schluffig-lehmig; Obergrenze des Tills, geringer Grobbodenanteil, Sekundärcarbonatanreicherung in den Poren; Verwitterungsreste rostfleckig (rot-schwarz); teilweise schwarze Organikrückstände (schmierig schwarz); Horizont bandförmig ausgebildet mit einer scharfen Obergrenze und farblichen Übergang nach unten, schluffiger Lehm; trotz trockener Witterung feucht; Feinboden schäumt nur schwach (c3) (primär oder sekundär?).	152-12	150-160
160-180	feCcv	Farbe: grau-braun, nach unten grauer; Lithologie: Till (diamiktisch, kantig bis gerundet); Horizont feucht, leicht modriger Geruch, an feuchten Steinen, möglicherweise Aquifer; mehr Sand als darüber, Carbonatkonkretionen nan Grobboden ganzseitig, Kitt-, Kohärent- und Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 50 %, schwach hangparallel eingeregelt, Feinboden carbonathaltig (min. c4); verwitternde Kalksandsteine.	152-13	160-180
180-200+	feCkc	Farbe: weiß-grau; trocken, Carbonatkonkretionen, nicht mehr grabbar.	152-14	180-200

Anhang 49: Profilbeschreibung Profil 153

<b>Profil: 29/9/153</b>				
<b>Datum:</b> 01.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Gavin		<b>Aufschluß:</b> Anschnitt in Baugrube		
<b>Lage:</b> Südöstlich von Gavin in Baugrube des Neubaugebiets, 979 m üM, 30 T 721919 4722106				
<b>Relief:</b> Mittelhang schwach geneigt, gestreckt-gestreckt.				
<b>Vegetation:</b> Abgeerntetes Getreidefeld mit Stoppeln, anthropogen terrassierter Hang.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm aufgeschlossen in Till, diamiktisch keine Einregelung erkennbar, zwei Bänder mit erhöhten Feinbodenanteil im Profil (50 bis 60 und 110 bis 120 cm); Lithologie: Sandsteine und Granit (Granit teilweise zu Grus verwittert). Profilwand streicht 135°, Exposition Südwest, Blöcke neben dem Profil, einige Steine im Profil stehen senkrecht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-3	eAhc	Farbe: braun (angefeuchtet), graubraun (trocken); Einzelkom und Subpolyedergefüge; schwach humos; weniger Grobboden als darunter, stark durchwurzelt, schluffig-feinsandig; weiße Konkretionen im Feinboden schäumen stark (min. c4), restlicher Feinboden schäumt aber auch (c3 bis c4);	n. b.	n. b.
3-35	eICcv	Farbe: hellbraun (angefeuchtet) hellbraun-grau (trocken); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Anteil Grobboden ca. 40 %; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Steinen (auch an Granit); Feinboden wie darüber.	n. b.	n. b.
35-90	eCcv	Farbe: schwach hellbraun (angefeuchtet, heller als darüber), graugelb (trocken); Grob- und Feinboden wie darüber; Kitt- und Einzelkomgefüge; keine Wurzeln.	n. b.	n. b.
90-160+	eCnc	Farbe: sehr helles braun (angefeuchtet), grau (trocken); sonst wie darüber, keine Verwitterung oder Bodenbildung erkennbar.	n.b.	n.b.

Anhang 50: Profilbeschreibung Profil 154

<b>Profil: 29/9/154</b>				
<b>Datum:</b> 03.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Tillsporn östlich von 29-9-152 unterhalb des Viadukts, 949 m üM, 30 T 701169 4724973				
<b>Relief:</b> Mittelhang etwa 25°, gestreckt-gestreckt.				
<b>Vegetation:</b> Buchs, Rosmarin, Dornbusch, Gräser, kleine Steineichen, Bedeckungsgrad etwa 80%				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm in Till aufgeschlossen; Exposition: Südwest; anstehender Flysch nicht erreicht; Großblöcke um das Profil; Lithologie: verschiedene Sandsteine, Flysch und Mergel; Hangkante durch Straßenbau abgetragen, darunter Terrasse (eben und großflächig).				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-2	Ahc	Farbe: sattes braun (angefeuchtet), braun (trocken); schwach humos; wenig Sekundärcarbonat im Feinboden; Grobboden carbonatisiert; Krümelgefüge; Feinboden schwach sandiger Schuff, Grobbodenanteil ca. 10 %. Grobboden bestehend aus verwitterten Sandstein, kantig bis gerundet.	n. b.	n. b.
2-38	Bcv+e1C	Farbe: 7,75 YR 4/4 hellbraun (heller als darüber); Fein- und Grobwurzeln; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Steine ganzseitig carbonatisiert; keine Einregelung erkennbar; Grobbodenanteil ca. 15 %; Sekundärcarbonat im Feinboden c4 und weiße Konkretionen; Grobboden kantig bis stark gerundet; feinsandiger, schluffiger Ton; Trockenrisse; viele Mittelporen; weinrote Toncutane (?) an Aggregaten und Grobboden.	n. b.	n. b.
38-58	e1Cc	Farbe: Maromrierung graubraun mit rötlichen Flecken, ähnlich wie darüber; Carbonatisierung nimmt zu, Subpolyeder- bis Polyedergefüge; Kalkpseudomycel; Grobbodenanteil ca. 20 bis 30 %; viele Mittelporen; Trockenrisse; an Unterseite von Grobboden schmutziges Sekundärcarbonat; Toncutane an Grobboden (?).	n. b.	n. b.
58-75	e1Cck	Farbe: ähnlich wie darüber, rötliche Flecken nehmen aber ab; hoher Carbonatanteil, Kittgefüge, Untergrenze der Durchwurzelung; Grobbodenanteil > 50 %.	n. b.	n. b.
75-80+	eCck	Farbe: schwach bräunlich (angefeuchtet), grau (trocken); nur schwer grabbar; Kittgefüge; nur schwer grabbar.	n. b.	n. b.

Anhang 51: Profilbeschreibung Profil 155

<b>Profil: 29/9/155</b>				
<b>Datum:</b> 05.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> 1157 m NN UTM: 30 T 702335 4726183				
<b>Relief:</b> Mittelhang 18°, gestreckt-gestreckt, Makrorelief wellig.				
<b>Vegetation:</b> Niedriger Kiefernwald, Buchs und Gräser				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 42 cm aufgeschlossen, südöstlich von Villanua, oberhalb der Seitenmoräne. Exposition südwest, anstehender Flysch erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Flysch/Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-17	eAhc	Farbe: grau, schwach humos; Grobskelett ca. 10 %, Gefüge: Subpolyeder bis Polyeder; auf den ersten 2 cm teilweise Einzelkorngefüge; Fein- und Grobwurzeln; tw. weiße Flecken im Feinboden durch Sekundärcarbonat; Feinboden schluffig-tonig; Feinboden carbonathaltig (min. c4), Primärcarbonat kann nicht ausgeschlossen werden; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, Lithologie: Flyschkalk(sand-)steine, tw. oberflächenparallel eingeregelt; Holzkohleflitter; Untergrenze diffus.	155-1	0-8
17-42	eICcv	Farbe: hellgrau; tonig-schluffig und sandfrei (wie darüber), Feinboden carbonathaltig (min. c4); Primär- und Sekundärcarbonat; Grobboden an der Unterseite carbonatisiert; weniger Wurzeln als darüber; Obergrenze diffuser farblicher Übergang; Kittgefüge, gelbe Flecken durch Verwitterung diffus verteilt.	155-2	8-17
42+	emC	Farbe: gelbgrau; anstehender Flysch, nicht grabbar.	155-3	17-42

Anhang 52: Profilbeschreibung Profil 156

<b>Profil: 29/9/156</b>				
<b>Datum:</b> 05.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Till südöstlich von Villanua, nordöstlich des Viadukts, 997 m üM, 30 T 701609 4725341				
<b>Relief:</b> Mittelhang 30°, gestreckt-gestreckt, Makrorelief wellig.				
<b>Vegetation:</b> Kiefern, Steineichen, Buchs, Gräser und Moos. Bedeckungsgrad etwa 80 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen, Exposition: West; Till, Blöcke um das Profil; anstehender Flysch nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till mit Kalkkrustenbildung				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-1	Ahc	Farbe: hellbraun (feucht), geringmächtig, schwach humos, Feinboden: sanidger Schluff; Einzelkorn-Subpolyederggefüge; weißes hydrophobes Mycel: dort carbonatfrei; Feinboden sonst carbonathaltig (c3); Grobskelettanteil 30 %; grusig-kiesig, Grobboden teilweise ganzseitig carbonatisiert; Fein- und Grobwurzeln.	156-1	0-1
1-34	eCv	Farbe: hellbraun (heller als darüber), wird nach unten heller; scharfe Untergrenze (vermutlich durch verwitterten Schluffsteinblock); Pilzmycel bildet entcarbonatisierten Bereich (siehe Foto, mittig unterhalb der Obergrenze); weiße Kalkpseudomycel; Grobbodenanteil etwa 20 %, Grobboden sonst wie darüber; Feinboden: sandiger Schluff; Polyedrisches/subpolyedrisches Gefüge; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Grob- und Feinporen; Ameisengänge und Wurzelröhren; Feinboden carbonathaltig c4 (Sekundärcarbonat; Horizont wird nach unten heller, Carbonatanteil nimmt mit der Tiefe zu; Fein- und Grobwurzeln, um die Wurzeln Feinboden dunkler.	156-2 156-3 156-4	2-12 12-23 23-34
34-85	eCcv	Farbe: grau; verwitterter Schluffstein laminiert, bestehend aus Schluff und wenig Feinsand; Einzelkorn- und Kittgefüge, hoher Carbonatgehalt (min. c4); Fein- und Grobwurzeln nur bis 85 cm; noch relativ leicht grabbar, Grobbodenanteil ca. 15 %, teilweise bereits verwittert; Grobboden ganzseitig carbonatisiert.	156-5 156-6 156-7	34-59 59-85 85-100
85-100+	eCkc	Farbe: grau; Kittgefüge, nicht mehr grabbar, keine Wurzeln.	n. b.	n. b.

Anhang 53: Profilbeschreibung Profil 157

<b>Profil: 29/9/157</b>				
<b>Datum:</b> 05.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Till südöstlich von Villanua, nordöstlich des Viadukts. 2 Meter nördlich von Profil 156, 985 m üM, 30 T 701609 4725343				
<b>Relief:</b> Mittelhang 30°, gestreckt-gestreckt, Makrorelief wellig.				
<b>Vegetation:</b> Kiefern, Steineichen, Buchs, Gräser und Moos. Bedeckungsgrad etwa 80 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Ahc nicht aufgeschlossen wegen Baumwurzel, Profil 75 cm gegraben.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till mit Kalkkrustenbildung				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-20	Ccv	Farbe: orange-braun, größtenteils carbonatfrei; Grobboden ca. 10 %; Grobboden nicht immer an der Unterseite carbonatisiert; weißes Pilzmycel wächst auch auf Kalkkrusten des Grobbodens; Feinboden: schluffig-leicht feinsandig; Feinboden teilweise carbonatfrei, Carbonatanteil des Feinbodens nimmt nach unten zu c2 bis c3, Carbonatanteil uneinheitlich verteilt, keine regelhafte Verteilung weder horizontal noch vertikal feststellbar; polyedrisches Gefüge; Fein- und Grobwurzeln.	157-1	0-20
20-55	Cvc	Farbe: braun-schwaches hellbraun; Feinboden deutlich carbonatreicher als darüber c4; sonst wie darüber; kein Pilzmycel mehr; ganzseitige Carbonatisierung; Untergrenze diffus-eben; Obergrenze diffus-wellig.	157-2	20-55
55.75+	eCcvk	Farbe: grau-braun, leicht verwitterter Grobboden; konkretioniert, sehr schwer grabbar; Fein- und Grobwurzeln; Kittgefüge; ganzseitige Carbonatisierung des Grobbodens; Grobboden verwittert rostig-braun.	157-3	55-75

Anhang 54: Profilbeschreibung Profil 158

<b>Profil: 29/9/158</b>				
<b>Datum:</b> 05.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1125 m NN UTM: 30 T 702084 4726190				
<b>Relief:</b> Oberhang konvex-gestreckt; Makrorelief wellig, Hangneigung ca. 10%, Profilwand streicht mit Hangneigung. Anthropogene Terrassierung der Umgebung.				
<b>Vegetation:</b> Waldrand: Kiefern, Buchs, Dornstrauch, Gräser und Wildrosen. Bedeckungsgrad 100%.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil: 48 cm aufgeschlossen. Regenwürmer ab ca. 25 cm unter GOK. Lithologie wurde separat bestimmt. Trockene und heiÙe Witterung seit 4 Tagen. Till südöstlich von Villanua, äußerste Seitenmoräne				
<b>Bodentyp:</b> Pararedzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-5	Ah	Farbe: braun, schwach humos; Streureste; Fein- und Grobwurzeln; kein Sekundärarbpnat an der Unterseite von Steinen; Einzelkom. Bis Subpolyedergefüge; Feinboden arbonatfrei, fs1U; Untergenze: diffuser Übergang; Grobbodenanteil ca. 5 %.	158-1	0-5
5-24	Bv	Farbe: rötlich-braun; Grob- und Feinporen; Regenwurm- und Wurzelröhren; Untergenze unscharf, z. T. Sekundärcarbonat an der Unterseite von Steinen; Grobbodenanteil etwa 5 %; Feinboden carbonatfrei; Grob- und Feinwurzeln; Polyedergefüge; Feinboden: schluffig-feinsandig; Grobboden: keine Einregelung erkennbar.	158-2 158-3	5-14 14-24
24-48	II Cv	Farbe: hellbraun; Feinboden carbonathaltig und Sekundärcarbonat an der Unterseite von Steinen; Polyedergefüge; weniger Wurzeln als darüber; rostbraune und im Feinboden carbonatfreie Flecken diffus verteilt; Untergenze: scharf, nach rechts gekippt, wellig und taschenförmig; Grobbodenanteil ca. 20 %	158-4 158-5	24-36 36-48
48+	eCck	Farbe: weiß-grau, teilweise bräunlich mit rötlichen Flecken (Verwitterung dringt ein); verkitteter Till, sonst wie darüber, keine Wurzeln, Kittgefüge; Feinboden nicht bestimmbar, hoher Grobbodenanteil, nicht mehr grabbar.	n. b.	n. b.

Anhang 55: Profilbeschreibung Profil 159

<b>Profil: 29/9/159</b>				
<b>Datum:</b> 05.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südöstlich Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1078 m NN N42 39 42.4 W0 32 16.5				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich innere Seitenmoräne				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Buchs und Gräser. Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil: 41 cm gegraben, Exposition NW, Blöcke oberflächlich um das Profil, Seitenmoräne. Grobboden im Profil an Unterseite tw. stark carbonatisiert => Krustendicke und Krustenmächtigkeit direkt von Steingröße abhängig (siehe Foto).				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-2	Ah	Farbe: braun (angefeuchtet), grau-braun (trocken); schwach humos, Feinboden carbonatfrei, sandiger Schluff, Grobbodenanteil gering etwa 5 %, Einzelkorn- und Subpolyedergefüge; Fein- und Grobwurzeln, UG diffuser Übergang.	n. b.	n. b.
2-15	Bv+elCv	Farbe: braun (angefeuchtet), graubraun (trocken); Feinboden carbonatfrei, sandiger Schluff; Carbonatisierung nur an Grobboden (v. a. Unterseite und tw. ganzseitig); Gefüge: Subpolyeder- und Einzelkorngefüge; Grobboden ca. 10-15 % bestehend v. a. aus Sandsteinen, Kies und Grus; Fein- und Grobwurzeln; Untergrenze diffus; z. t. verwitterte Sandsteine.	159-1	2-15
15-26	elCkc	wie darüber nur Feinboden carbonathaltig und kleine weißen Kalkkonkretionen; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Grobbodenanteil ca. 20 - 25 %.	159-2	15-26
26-41	elCck	Farbe: grau-braun. Feinboden carbonathaltig (min. c4); schwerer grabbar als darüber, Subpolyeder- bis Polyedergefüge; beginnende Verkittung; sonst wie darüber.	159-3	26-41
41-48+	emCkc	Farbe: grau-braun; ganzseitige Carbonatisierung; Kitt- und Einzelkorngefüge; kaum grabbar; sonst wie darüber.	n. b.	n. b.

**Anhang 56:** Profilbeschreibung Profil 160

<b>Profil: 29/9/160</b>				
<b>Datum:</b> 06.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Flysch nordöstlich von Castiello de Jaca, 1070 m NN, 30 T 701601 4724498				
<b>Relief:</b> Mittelhang, Hangneigung etwa 15 %. Gestreckt-konvex.				
<b>Vegetation:</b> Lichte Macchia, Dornbusch, Kiefern, Wildrose und Gräser. Bedeckungsgrad etwa 40 %. Intensive Weidewirtschaft.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 36 cm im anstehenden Mergel erreicht (Zwischenschicht im Flysch).				
<b>Bodentyp:</b> Schwach entwickelte Pararendzina.				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-5	eAhc	Farbe: grau; schwach humos; Gefüge: Polyeder- bis Subpolyeder; Anteil Grobboden ca. 15 %; Fein- und Grobwurzeln, Feinboden schluffig und carbonathaltig	n. b.	n. b.
5-34	eCcv	Farbe: hellgrau; Polyeder- und Koharäntgefüge; Ganzseitige Carbonatisierung an Grobboden, an der Unterseite am stärksten ausgeprägt; Wurmrohren; Fein- und Grobwurzeln.	n. b.	n. b.
34-36+	eCv	anstehender Mergel, schwer grabbar.	n. b.	n. b.

Anhang 57: Profilbeschreibung Profil 161

<b>Profil: 29/9/161</b>				
<b>Datum:</b> 06.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> Zweite Seitenmoräne östlich von Castiello de Jaca. 1007 m NN, 30 T 701182 4724272</p>				
<p><b>Relief:</b> Kulminationsbereich Seitenmoräne.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Lichter und niedriger Wald bestehend aus Steineichen, dazwischen Buchs, Dornbusch, Gräser, Moose, Flechten. Bedeckungsgrad etwa 80 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 55 cm aufgeschlossen. L/Of/Oh mit Carbonat (Sekundär- oder Primär? Herkunft unbekannt)</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina.				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-14	Ahc	Farbe: grau; tw. weiße Konkretionen im Feinboden (=>Sekundärcarbonat); Untergrenze greift in darunterliegende Spalten und Klüfte ein. Feinboden carbonathaltig (min. c4), Sekundär- und Primärcarbonat; Grobbodeanteil ca. 20 % bestehnd aus Kies (fein bis grob) und Grus (fein bis grob); Grobboden an Unterseite und Hangseite carbonatisiert; Grobboden tw. verwittert (v. a. Kalke, Kalkbreckzien/Kalkkglomerate); stark durchwurzelt; Grob- und Feinwurzeln halten Feinboden; Einzelkomgefüge; Feinboden Su2.	n. b.	n. b.
15-55+	exCcv	Farbe: weißgrau; sehr hoher Grobbodeanteil; Sekundärcarbonat an Grobboden wenn im Kontakt mit Feinboden; Grobboden v.a. kantig, aber auch kleinere stark gerundete Kiese; Feinboden nur in Spalten und Klüften; viele Grob- und Feinwurzeln; Feinboden: Einzelkomgefüge; tw. auch Klüfte/Spalten ohne Feinboden; Lithologie: v. a. Sandsteine, größtenteils plattig und rechteckig gebrochen (vermutlich aus Flysch), Grobboden locker gelagert, Feinboden sandig.	n. b.	n. b.

Anhang 58: Profilbeschreibung Profil 162

<b>Profil: 29/9/162</b>				
<b>Datum:</b> 10.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Zweite Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca, 934 m üM auf dem großen Endmoränenbogen, 30 T 700783 4724430				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Buchs, Dornbusch, Moose und Gräser; Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil: 80 cm aufgeschlossen. Till: diamiktisch, Lithologie: Sandsteine, Konglomerate (weinrote Matrix), weinrote Schiefer, Rundungsgrad kantig bis stark gerundet. Profil am Freitag begonnen, Gewitter und Regen am Wochenende, Boden nur bis in die oberen 15 cm feucht; Grobboden nicht eingeregelt.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-6	Ah	Farbe: schwach rötlich-braun (angefeuchtet), braun (trocken); subpolyederisches Gefüge; sehr kleine Aggregate; Feinboden carbonatfrei (c0); Streureste, schwach humos; sandiger Schluff, Fein- und Grobwurzeln (wf5 und wg5); Feinboden locker gelagert, Grobbodenanteil ca. 5 %; scharfe und ebene Untergrenze.	162-1	0-6
6-56	Bv	Farbe: rötlich-braun; wf4, wg3; Grobbodeanteil ca. 30 %; viel Feinkies und Feingrus; Feinboden carbonatfrei (c0); Grobboden nur tw. an der Unterseite carbonatisiert, Carbonatisierung an der Unterseite nur gering ausgeprägt und nur an größeren Steinen, Carbonat schmutzig braunrot-gelb eher in Auflösung als in rezenter Neubildung, ab 50 cm unter GOK mehr Grobboden mit Krusten; Boden dichter gelagert als darüber; Lithologie: verwitterte rote Schiefer => farbbestimmend für den Horizont; Subpolyeder bis Polyedergefüge (Aggregate klein, max. 3 mm); Feinboden: sandiger Schluff; tw. tonig (aus verwitterten Schiefen), Grobboden stark verwittert;	162-2 162-3 162-4 162-5 162-6	6-16 16-26 26-36 36-46 46-56
56-80	e1Cc	Farbe: rötlich-hellbraun; Feinboden carbonathaltig (min. c4); sandiger Schluff, Subpolyeder- und Einzelkorngefüge; Obergrenze unscharf und taschenförmig (Taschendurchmesser ca. 1m!); nur noch wenig Wurzeln, schwer grabbar und dichter gelagert als darüber.	162-7 162-8	56-68 68-80

Anhang 59: Profilbeschreibung Profil 163

<b>Profil: 29/9/163</b>				
<b>Datum:</b> 10.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<p><b>Lage:</b> Fünfte Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca, nördlich des Kuhstalls. Südwestlich vom Rastplatz. 931 m üM, 30 T 700330 4725932</p>				
<p><b>Relief:</b> Kulminationsbereich</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Hoher Kiefernwald, 3 m hohe Büsche, Wildrose, wenig Gräser. Bedeckungsgrad 5 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen, Till der Endmoräne hoher Feinbodenanteil, aber auch Blöcke um und im Profil, zwei Meter hinter dem Profil hangabwärts Reste einer kleinen Mauer; Nordhang; Regenwürmer im Profil, Profilgrube stand vor der Aufnahme durch Gewitter teilweise unter Wasser. C Horizont nicht erreicht, auch nicht durch Pürckhauer (bis 1m unter GOK); rote Schiefer und rote Sandsteine teils stark verwittert, wahrscheinlich farbgebend für die Horizonte.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde?				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-7	Alh	Farbe: schwach gelblich - braun; schwach humos; Regenwurmrohren, Grobboden ca. 5 %; Kies und Grus, v. a. Feinkies und Feingrus aber auch Grobkies und Grobgrus; weißes Pilzmycel; wenig Feinporen; Subpolyeder- bis Polyedergefüge (Aggregate ca. 3 mm); Feinboden Ut2; wf2 wg2; Feinboden carbonatfrei (c0); Lessivierung? weniger Ton als darunter.	163-1	0-7
7-80+	Bvt	Farbe: Bruchkanten rötlich-braun, glatte Schlagflächen glänzend hellbraun leicht orange/gelb, Horizont wird nach unten dunkler; wg4 und wg2; mehr Wurzeln auf den oberen 20 cm des Horizontes; Fein- und Grobporen wenig - mittel, tiefer: mittel - viel; Grobbodenanteil ca. 5 % Kiese und Gruse, v. a. Feinkies und Feingrus; Feinboden Tu2; Regenwurmrohren, Feinboden carbonatfrei (c0); dicht gelagert und schwer grabbar (wg. Ton); Gefüge: Polyeder- bis Subpolyeder.	163-2 163-3 163-4 163-5 163-6 163-7 163-8	7-17 17-27 27-37 37-47 47-57 57-67 67-77

**Anhang 60: Profilbeschreibung Profil 164**

<b>Profil: 29/9/164</b>				
<b>Datum:</b> 11.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürftgrube		
<p><b>Lage:</b> Fuß der zweiten Endmoräne nördlich von Castiello de Jaca, oberhalb des Eisenbahntunnels unter Hochspannungsleitung, 913 m üM, 30 T 700793 4724313</p>				
<p><b>Relief:</b> Unterhang, 10° geneigt, Exposition Süd, gestreckt-gestreckt</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Gräser, niedrige Dornbüsche und Buchs, Brombeeren, Bedeckungsgrad 95 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm im Till aufgeschlossen; Großblöcke obenauf und im Profil.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-8	Ah	Farbe: 5 YR 4/3; Grobbodenanteil ca. 20 %, v. a. Kies und Grus (Feinkies und Feingrus); wf4 und wg3; Feinboden: SchluffeHM; Gefüge: Polyeder bis Krümelgefüge; schwach humos; dicht gelagert; diffuser ebener Übergang zum Bv.	164-1	0-8
8-36	Bv	Farbe: 2,5 YR 3/3 - 5 YR 3/3, weinrot-braun; Grobbodeanteil 40 %, Kies und Grus, kantige bis stark gerundete Steine; nur geringe Carbonatisierung auf der Unterseite von Grobboden, Carbonatisierung beginnt erst mit der Tiefe, im oberen Bereich keine Carbonatisierung; wf2 und wg3; Polyedergefüge; Feinboden carbonatfrei SchluffeHM wie darüber; locker gelagert; viele Mittelporen; Aggregatgröße ca. 3 mm; Wurmrohren und Risse; Rote Farbe des Boden möglicherweise aus verwitterten Schiefer; Untergrenze scharf aber taschenförmig wegen Block, oberhalb des Blocks keine Carbonatisierung des Feinbodens, nur im Kontaktbereich (ca. 3 cm) des Blocks mit dem Feinboden auf der Oberseite; Toncutane (?) an Grobboden und Aggregaten; Trockenrisse.	164-2 164-3 164-4	8-16 16-26 26-36
36-100	eICkC	Farbe: wie darüber, nur gemischter (wegen höheren Grobbodenanteil und Sekundärcarbonat) grau-braun rötlich; Feinboden stark carbonatreich (min. c4); im unteren Teil Kalkkrusten (weinrot schmutzig); Feinboden sonst wie darüber; wf1 und wg0; Untergrenze scharf, nach rechts gekippt und taschenförmig; Kittgefüge und Subpolyeder; weiße Flecken (Sekundärcarbonat) im Feinboden; Skelett hangparallel eingeregelt; im nicht konkretionierten Bereich locker gelagert; ganzseitige Carbonatisierung des Grobbodens; Kittgefüge; Grobbodenanteil > 50 %.	164-5 164-6 164-7 164-8 164-9 164-10	36-46 46-56 56-66 66-76 76-86 86-100
100-160+	eICkC	Farbe: grau; nur mit Hammer grabbar; Kittgefüge; anstehender Till; keine Wurzeln; viele Poren (Grob, Mittel, und Fein) und Spalten.	164-11 164-12 164-13	100-120 120-140 140-160
	DS			45

Anhang 61: Profilbeschreibung Profil 165

<b>Profil: 29/9/165</b>				
<b>Datum:</b> 11.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Aufschluss im Bachbett		
<p><b>Lage:</b> Westlich von Villanua, Bachbett zwischen äußersten Seitenmoräne und Flysch. 1169 m NN, 30 T 701187 4729307</p>				
<p><b>Relief:</b> Ebene Terrasse mit etwa 20 cm erhöhten Ufersaum. Profil im Ufersaum angelegt</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Wald, 40 cm dicke Kiefern, kleine Buchen, Buchs, Gräser und Moose.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 140 cm in ehemaliger Hochwasserterrasse aufgeschlossen; Bachbett führt rezent kein Wasser oberflächlich; im Flussbett Kalkausfällungen an Steinen und Blöcken (siehe Foto); Lithologie: Kalksandsteine; Sandsteine; plattiger Flysch; kantengerundet bis stark gerundet; Kiese bis Großblöcke; Erratika aus dem Till (Seitenmoräne) der von Bach angeschnitten wurde, Erratika fluvial oder gravitativ verlagert.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
+3-0	L/Of/Oh	Zapfen, Blätter, Nadeln	n. b.	n. b.
0-6	Ahc	Farbe: grau- schwach braun; Feinboden carbonatfrei (c0) mit weißen Sekundärcarbonatanreicherungen (ca. 2mm Durchmesser, min. c4); diffuser farblicher Übergang nach unten verbunden mit Zunahme des Carbonatgehalts; schwach bis mittelhumos (h2-h3); Grobbodenanteil 30 %; Feinboden schwach schluffiger Sand; wf5 und wg4; locker gelaert; Einzelkomgefüge bis schwaches Subpolyedergefüge (Aggregate < 1 mm);	n. b.	n. b.
6-20	eCcv	Farbe: grau; Feinboden carbonathaltig; wf4 und wg1; sonst wie darüber; Einzelkomgefüge; hoher Grobbodeanteil > 50 %; sehr dünne und schwach ausgebildete ganzseitige Carbonatisierung.	n. b.	n. b.
20-140+	eCc	Farbe: grau; Sekundärcarbonat an Steinen, dichter als darüber, Carbonatisierung auf Grobboden noch keine komplett überdeckender Film; sonst wie darüber.	n. b.	n. b.

**Anhang 62: Profilbeschreibung Profil 166**

<b>Profil: 29/9/166</b>				
<b>Datum:</b> 12.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> 30 T 701052 4729282		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<p><b>Lage:</b> Westlich von Villanua, westlich der äußersten Seitenmoräne im anstehenden Flysch oberhalb des Bergbachs. 1220 m ÜM</p> <p><b>Relief:</b> Unterhang gestreckt-gestreckt, Hangneigung ca. 20°</p> <p><b>Vegetation:</b> Hoher und alter Kiefernwald (Stammdurchmesser ca. 60 cm), 3 m hohe Büsche, Hartlaubgewächse, Buchs, Lianen, diverse Laubbüsche, Bedeckungsgrad 5 %.</p> <p><b>Profilübersicht:</b> Südlich (links) des Profils Runse/Entwässerungsgraben (gerade, dem Relief folgend); Profilgrube streicht 190°; ca. 30 m unterhalb des Profils ehemalige Weidenutzung mit Mauerresten auf über 50 cm hohen Feinbodensockel (=&gt; Erosion siehe Foto); Boden fühlt sich feucht an, reicht leicht mordrig; Verwitterungsrinde des Grobbodens ca. 2 bis 3 cm.</p> <p>Anmerkung (15.7.2010): HL oder kolluviale HL Sedimente über gravitativ verlagertem Material (Bersturz/Bergrutsch)</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-2	Ah	Farbe: hell- bis dunkelbraun (angefeuchtet) 10 YR 3/3, graubraun (trocken) 10 YR 5/3 - 4/3; Feinboden carbonatfrei (c0); Streureste und schwach humos; weißes Pilzmycel; Subpolydergefüge (Aggregate ca. 2 bis 4 mm); weißes Pilzmycel; Regenwürmer und -röhren; toniger Schluff; wf2 und wg3; wenig Grobboden < 5 %	166-1	0-2
2-20	Bv	Farbe: grau-braun (feucht) 10 YR 4/4, 10 YR 5/4 trocken; Grobboden ohne Carbonatisierung; Polyder- bis Subpolyeder; Feinboden wie darüber; Untergrenze wellig und diffus; Feinboden carbonatfrei; Grobbodenanteil ca. 15 %; kantig bis schwach kantengerundet; Lithologie: Flyschsandstein, plattig, keine Einregelung erkennbar, Grus und kantige Steine; wf2 und wg2; HK bei 17 und 18 cm.	166-2	2-20
20-63	II Bcv	Farbe: braun (feucht) 7,5 YR 3/3, hellbraun 7,5 YR 4/3 (trocken); Toncutane, nehmen mit der Tiefe zu; Toncutane auch an Grobboden; Kalkkonkretionen im Feinboden (Durchmesser 2 bis 3 mm); kantige Sandsteine verwittert (wie darüber); viele Mittel- und Feinporen; Feinboden wie darüber; Polyder bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil nimmt nach unten zu, ca. 40 %; kantige Blöcke und Grus, Grobboden teilweise kantengerundet (durch Verwitterung); keine Einregelung erkennbar; initiale Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden, selten an der Hangseite; Carbonatisierung schmutzig gelbbraun; Untergrenze deutlich taschen-/keil- teils wellig.	166-3	20-39
			166-4	39-51
			166-5	51-63
63-93+	II elCkc	Farbe: graubraun (feucht) 10 YR 3/4, 10 YR 4/4 trocken, oberflächlich grau; wenig Feinboden => schwer grabbar, Grobbodenanteil > 50 %, viel Grus; keine Toncutane; Sekundärcarbonat ausgefällt; Unterseite von Grobboden carbonatisiert, deutlich ausgepägter als darüber; initiales Kittgefüge und Subpolyder-/Polyedergefüge; viel Poren; kantiges ca. 2 mm große Sekundärcarbonatkonkretionen im Feinboden (alternativ: Bvc-eCcv); unverwittertes Anstehende nicht erreicht, leichte Verbraunung, wf2 wg0. Dünnschliff	166-6	63-78
			166-7	78-93
			DS166-1	23

**Anhang 63:** Profilbeschreibung Profil 167

<b>Profil: 29/9/167</b>				
<b>Datum:</b> 12.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Äußerste Seitenmoräne westlich von Villanua am Westhang oberhalb der Schutzhütte. 1226 m üM, 30 T 701052 4729282				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich der Seitenmoräne, 18° nach Nord geneigt.				
<b>Vegetation:</b> Kiefern, Buchs, Steineichen, Disteln und Gräser. Bedeckungsgrad ca. 30 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen, Exposition ESE, Makrorelief wellig				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtief e
0-3	Ah	Farbe: 10 YR 3/2, schmutziges braun (angefeuchtet); schwach humos; Subpolyedergefüge; locker gelagert; schluffig-tonig; Feinkies und Feingrus; Grobbodenanteil ca. 5 %; wf3 und wg3; Feinboden carbonatfrei.	167-1	0-3
3-24	Bv	Farbe: 10 YR 4/3, braun (angefeuchtet), weniger grau als darüber; humusfrei; wf2 und wg3; Ameisengänge und Regenwurmröhren; Lithologie verwittert bis angewittert; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; dicht gelagert; Grobbodeanteil ca. 20 %; Grobboden kantig bis gerundet; Feinboden schluffig-tonig, carbonatfrei; Untergrenze wellig und diffus wegen Skelettmatrix; Sekundärcarbonat im unteren Bereich des Horizontes; hydrophobes Pilzmycel; Grobboden nicht carbonatisiert.	167-2 167-3	3-13 13-24
24-55	Bv+elCv	Farbe: 10 YR 4/3, graubraun; Subpolyeder- bis Polyedergefüge bzw. Kittgefüge; Aggregate schäumen teilweise stark mit HCl; Feinboden min. c4, nimmt nach unten weiter zu; mindestens Sekundärcarbonat möglicherweise auch Primärcarbonat; Grobbodenanteil ca. 20 bis 30 %; Feinkies, Feingrus und Steine (kantig bis stark gerundet); Feinboden lehmig; Untergrenze: diffus wellig/taschenförmig, der Hangneigung folgend nach rechts gekippt.	167-4 167-5 167-6	24-36 36-45 45-55
55-100+	elCck	Frabe: 2,5 Y 4/4; Konkretionierung des Feinbodens; nur mit Hammer schwer grabbar; Feinboden nicht bestimmbar; Grobboden wie darüber; Kittgefüge (bzw. Polyedergefüge); ganzseitige Carbonatisierung des Grobbodens; wf1 und wg1. Dünnschliff	167-7  DS167-1	55-100  72

**Anhang 64:** Profilbeschreibung Profil 168

<b>Profil: 29/9/168</b>				
<b>Datum:</b> 17.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südfrankreich		<b>Aufschluß:</b> Aufschluss in Baugrube		
<p><b>Lage:</b> Baugrube in Südfrankreich nordwestlich von Arudy, 30 T 703836 4780272, 326 m NN, Exposition SW.</p>				
<p><b>Relief:</b> Mittelhang, Hangneigung ca. 4°.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Wiese, Vegetationsbedeckung ca. 100 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 180 cm aufgeschlossen; Nieselregen, Terrassenschotter, gerundete Blöcke in der Baugrube (gerundet bis stark gerundet); Lithologie: Granit; schwarzer Schiefer, größtenteils carbonatfrei, mehrere Terrassenniveaus (3 bis 4; Profil auf der zweithöchsten (soweit erkennbar)), Höhenunterschied ca. 1 bis 2 m; Grobbodenanteil nimmt im Profil nach unten zu, in der Grube Stein mit rotbrauner Carbonatkruste (siehe Foto).</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde über Flussschotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-1	Ah	Farbe: 2,5 Y 3/2 (braun-schwarz); nur geringmächtig, schwach humos, Krümelgefüge- Subpolyedergefüge	n. b.	n. b.
1-80	Ah-Bv	Farbe: 2,5 Y 4/3 (feucht), graubraun (trocken); Grobbodenanteil ca. 5 % v. a. Kies (Fein bis Mittel), wenig Grus (Feingrus); Feinboden toniger Schluff; Polyedergefüge; keine Einregelung erkennbar; wf 2 und wg 0; Untergrenze eben und wellig; Trockenrisse; Poren mittel; fest gelagert.	168-1	0-80
80-180+	II Bv	Farbe: 10 YR 3/4 (braun, angefeuchtet); Feinboden wie darüber, Grobbodenanteil ca. 20 %, Grobbodenanteil nimmt nach unten zu; Kies: gerundet bis stark gerundet und Blöcke; Porenreich, carbonatfrei, dicht gelagert weil trocken (wie darüber); Polyedergefüge; Granit zu Grus verwittert.	168-2	80-180

**Anhang 65:** Profilbeschreibung Profil 169

<b>Profil:</b> 29/9/169				
<b>Datum:</b> 17.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südfrankreich		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Nördlich von Arudy auf der Endmoränen, westlich von Friedhof, 482 m üM, 30 T 708837 4778194				
<b>Relief:</b> Kulminationsbrecih an Weganschnitt, etwa 200 m westlich des höchsten Bereichs der Endmoräne auf einer kleinen Erhebung.				
<b>Vegetation:</b> Hohe Eichen, Birken, Gräser, Disteln, Brombeeren und Farne; Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 150 cm aufgeschlossen, Till, Großblöcke auf der Endmoräne, Exposition S; Lithologie: Granit, Marmor				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-11	Ah	Farbe: 10 YR 3/3 (angefeuchtet), schwach grau - dunkelbraun (trocken); trocken; Feinboden carbonatfrei, Grobboden ca. 5 %, tw. stark verwittert; mittelhumos; Untergrenze diffuser welliger Übergang; Feinboden: schluffig-tonig; wf2 und wg1; Krümmel- Polyedergefüge.	169-1	0-11
11-80	Cv	Farbe: 2,5 Y 5/3, trocken: oben eher graubraun wird nach unten grauer; Grobbodenanteil ca. 25 bis 30 %; leicht feucht; Kies, Grus und Steine (v. a. gerundet bis stark gerundet); Poren mittel; Feinboden stark carbonathaltig (min. c4); Feinboden tonig-schluffig und feinsandig => lehmig, diamiktisch; wf1 und wg0; Grobboden tw. stark verwittert; Granit zu Grus verwittert; Kalksteine und Sandsteine; Carbonatisierung von Grobboden; Polyeder-Subpolydergefüge.	169-2	11-80
80-140	II Cvc	Farbe: 2,5 Y 6/4 bis 5/4; leicht feucht; deutlich ausgeprägte Kalkkrusten; Subpolyeder- Polyedergefüge; Grobbodenanteil geringer als darüber 20 bis 25 %; Grus, Kies und Steine (kantig bis gerundet); bräunlicher als darüber; Feinboden stark carbonathaltig (min. c4); Grobboden tw. stark verwittert; an Lithologie und Textur kein eindeutiger Schichtwechsel feststellbar; Obergrenze diffus und wellig; Untergrenze diffus, nach rechts gekippt; Holzkohleflitter an der Untergrenze; Poren mittel bis viel; tw. Risse; aber fest gelagert; ehemalige Wurzelgänge an Steinen kt Ton/Schluff verfüllt; deutliche Verbraunung und Verlehmung; Sekundärcarbonat tw. in Poren ausgefällt; Feinboden: schluffig-tonig; mehr Feinboden als darüber.	169-3	80-140
140-150+	elCkc	Farbe: 2,5 Y 6/3 bis 6/4; Feinboden stark carbonathaltig (min. c4); Grobboden stark verwittert; grauer als darüber; Polyedergefüge; Feinbodenärmer als darüber; Grobboden wie darüber; fleckenhafte Verkittung des Feinbodens; Farbe ähnlich tillfarben wie auf der Südseite der Pyrenäen; keine Wurzeln, Holzkohleflitter, wenig Poren, leicht feucht.	169-4	140-150

**Anhang 66:** Profilbeschreibung Profil 170

<b>Profil: 29/9/170</b>				
<b>Datum:</b> 18.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, R. Endler, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südlich von Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> Hangsporn südlich von Escuer Alto, noch im anstehenden Flysch/Mergel, 1158 m üM, 30 T 718030 4718913</p>				
<p><b>Relief:</b> Sporn, ca. 15 m breit, Oberhang, ca. 22 ° geneigt, horizontal-konvex.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Kiefernwald, Buchs, Gräser und Moose. Bedeckungsgrad etwa 60 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschossen, Lithologie: Flysch und Mergel.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-5	eAhc	Farbe: 2,5 Y 4/2; schwach bis mittel humos; Streureste; wf 3 wg2; weißer hydrophober Pilz oben links; Krümel- bis Polydergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 %, v. a. Grus; Untergrenze unscharf und wellig, Sekundärcarbonat als weiße Flecken im Feinboden ausgefällt, ca. 5 mm Durchmesser, diffus verteilt, Feinboden primärcarbonathaltig (min. c3); Feinboden: schluffig-tonig.	170-1	0-5
			170-1B	0-5
5-90+	elCc	Farbe: 2,5 Y 5/3; schwach schluffiger Ton; Karbonatkonkretionen im Feinboden; weniger Grus als im Ah; Flysch nur schwach verwittert; Grobboden: Grus und kantige Steine, Grobbodenanteil ca. 5 %; An Unterseite von Grobboden Sekundärcarbonat ausgefällt; Horizont leicht feucht, wf 2 und wg 1; Wurmröhren, Risse und Poren; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt; Feinboden primärcarbonathaltig (min. c4); Polyedergefüge; Holzkohlen bei 20 cm unter GOK.	170-2	5-90
			170-2B	5-30
			170-3B	30-60
			170-4B	60-90

**Anhang 67:** Profilbeschreibung Profil 171

<b>Profil: 29/9/171</b>				
<b>Datum:</b> 18.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, R. Endler, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südlich von Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Seitenmoräne südlich von Escuer Alto, 1131 m NüM, 30 T 718094 4719005				
<b>Relief:</b> Oberhang der Seitenmoräne, Profil im Kulminationsbereich, konvex-konvex; Außenhang ca. 30 °, Exposition ESE				
<b>Vegetation:</b> Mischwald aus Steineichen, Kiefern und Buchs; Bedeckungsgrad ca. 90 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen; Lithologie: Till - kantig bis gerundet, Kalksandsteine und z. T. stark verwitterte schwarze Schiefer.				
<b>Bodentyp:</b> Gekappte Braunerde-Pararendzina aus HL über Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-3	Ahc	Farbe: 10 YR 4/3; Horizont parallel zu GOK; deutliche Untergrenze; Krümel- bis Subpolyedergefüge; locker gelagert; weißes Pilzmycel; Feinboden carbonathaltig => wahrscheinlich Sekundärcarbonat: Kalkkonkretionen als weiße einzelne Krümel (ca. c2 bis c3); schluffiger Ton; Streureste; Wurmrohren; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; schwach bis mittelhumos.	171-1	0-3
			171-1B	0-3
3-33	Bv+eICv	Farbe: 10 YR 4/4; wf 2 wg2; Unterfrenze diffus; Polyedergefüge; Risse; viele Poren; Feinboden z. T. carbonatfrei, sonst c2 bis c3; weißes Pilzmycel diffus verteilt; z. T. stark verwitterter Kalksandstein; Grobboden ca. 5 % (viel Feingrus aber auch Grus und Kies); grusiger, feinsandiger Ton; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Sekundärcarbonatgehalt des Feinbodens nach unten zunehmend; Kalkpseudomycel; Toncutane (?) an Aggregaten und Grobboden, Toncutane mit zunehmender Tiefe häufiger; Wurmgänge.	171-2	3-25
			171-2B	3-11
			171-3B 171-4B	11-22 22-33
33-50	II eICv	Feinboden: lehmiger Schluff; c3 bis c4; mehr Grobboden als darüber, 20 bis 30 %, diamiktischer Till, mehr Grus als darüber; wenig Mittelporen, Grobporenanteil mittel; Polyedergefüge, kleinere Aggregate als darüber; deutliche, wellige bis zapfenförmige Untergrenze; wf2 wg2.	171-3 171-5B	25-50 33-50
50-80+	II eICn	Farbe: 2,5 Y 5/3; Grobbodenanteil ca. 35 % (Feingrus, Kies, wenig Steine); Kalkpseudomycel; im trockenen Zustand Feinboden hellbraun, heller als darüber; Sub- bis Polyedergefüge; viele Poren; dicht gelagert; wf 1 wg 1; Feinboden carbonathaltig (min. c4), Primär- und Sekundärcarbonat; kein weißes Pilzmycel mehr; Grobboden z. T. stark verwittert (Kalksandstein); Feinboden wie im Bcv, Grobboden an Unterseite carbonatisiert.	171-4 171-6B	50-80 50-70

**Anhang 68:** Profilbeschreibung Profil 172

<b>Profil: 29/9/172</b>				
<b>Datum:</b> 18.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, R. Endler, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südlich von Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Flyschsporn unterhalb von Profil 170 30 T 718074 4718959, 1174 m üM				
<b>Relief:</b> Exposition SW, GOK 2 ° nach links geneigt, Hang etwa 10 ° geneigt				
<b>Vegetation:</b> Kiefern, Dornbusch, Buchs, Gräser, Moose, Bedeckungsgrad etwa 10 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 88 cm aufgeschlossen				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtief e
0-1	eAhc	Farbe: 2,5 Y 5/3; geringmächtig; schwach humos; Primär- und Sekundärcarbonat, min c4, weiße Flecken (ca. 1 mm Durchmesser) an der Unterseite von Grobboden; Grobbodenanteil ca. 15%, plattiger Grus => Flysch (kantig bis kantengerundet), schluffiger Ton; wf2 wg1; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Untergrenze farblicher Übergang.	n. b.	n. b.
1-55	eClc	Farbe: 2,5 Y 6/3 bis 5/3; rechts deutlich geringmächtiger (nur ca. 20 cm); Untergrenze scharf nach links geneigt (taschenähnlich); Feinboden und Grobboden wie darüber; Primär- und Sekundärcarbonathaltig; Grobboden an Unterseite Kalkpseudomycelien; viele Poren; humusfrei; wf4 wg1; Polyeder- bis schwache Subpolyedergefüge; Grobboden parallel zu Untergrenze eingeregelt; weißes Sekundärcarbonat in den Poren.	172-1	1-55
55-61	II eICc	Farbe: 10 YR 5/4; Poren: mittel bis wenig; deutliche Verbraunung und Verfehmung; Feinboden: tonreich, nur wenig Schluff und Sand, viel Grus; Grobboden ca. 35%; Feinwurzeln enden größtenteils im Horizont; Polyedergefüge; wf 3 wg 1 ; Toncutane; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, weiße Punkte (ca. 1 mm) und beginnende Krustenbildung; Sekundärcarbonat im Feinboden und als Kalkpseudomycelien.	172-2	55-61
61-88	II eICc	Farbe: 2,5 Y 5/3 bis 5/4; schwach schluffiger Ton; hoher Grobbodenanteil 35-40%, v. a. Grus, chaotische Lagerung; Unterseite von Grobboden carbonatisiert; Kalkpseudomycel, Kalkkonkretionen bis 1 mm Durchmesser; Sekundär- und Primärcarbonat im Feinboden (min. c4); dicht gelagert; Polyedergefüge bis Subpolyedergefüge; Wurmröhren, wenig Poren; schwach schluffiger Ton.	172-3	61-88

Anhang 69: Profilbeschreibung Profil 173

<b>Profil:</b> 29/9/173				
<b>Datum:</b> 19.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, R. Ender, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Südlich von Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Osthang südlich von Escuer Alto, 1029 m üM, 30 T 718424 4719110, Exposition NNE				
<b>Relief:</b> Mittelhang, 28° geneigt, konvex-konvex; Mekrelied wellig; anthropogen gestört => Runsen.				
<b>Vegetation:</b> Mischwald, Kiefern alte Steineichen, Gräser, Buchs und Moose; Bedeckungsgrad 5 %;				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen, unterhalb von Hutebaum (Durchmesser > 1 m); Aufschluss in Runse, Hang: Großblöcke/Blöcke neben dem Profil => feigelegt durch Erosion; Lithologie: Till, kantig bis stark gerundet, Grus bis Blöcke.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über gekappter Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-4	Ah	Farbe: 10 YR 3/3; schluffig-tonig; Wurmhöhlen, viele Poren; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Feinboden carbonatfrei (c0); wenig Streu; Pilzmycel; wf 1 wg 1; relativ dicht gelagert; Grobboden < 2%; shr wenig Feingrus, einzelne Kiese; Untergrenze scharf und wellig; der GOK folgend.	173-1	0-4
4-30	Al oder M	Farbe: 7,5 YR 4/3; Hauptlage, Feinboden carbonatfrei (c0); Grobboden < 5 %, Grus und Kies; wg2 wf2; Holzkohlefitter; viele Poren; Polyedergefüge; rel. Dicht gelagert; Wurzel- und Wurmhöhlen; Untergrenze wellig und scharf, hangparallel; weißes Pilzmycel, fleckig und gering ausgebildet; Grobboden z. T. stark verwittert; keine Carbonatisierung an Grobboden; Feinboden: schluffiger Ton.	173-2 173-3 173-4	4-10 10-20 20-30
30-41	II Bvt	Farbe: 10 YR 4/3; Polyedergefüge; Toncutane; wf1, wg2; weißes Pilzmycel; Feinboden carbonatfrei, eher grusig als kiesig; Grobboden ca. 20 %, teilweise stark verwittert; Holzkohlefitter; Tongehalte schwanken innerhalb des Horizontes; viele Poren und Risse; Feinboden leicht feucht; diffus verteilte Tongehalte; Farbe trocken: weinbraun; Untergrenze fleckig und scharf, schluffiger Ton (toniger als darüber).	173-5	30-41
41-70	II Bt+elCv	Farbe: 2,5 Y 4/5 bis 4/3; Feinboden wie darüber aber mehr Schluff und weniger Ton; Grobboden ca. 15 %, grusig, kiesig, v. a. Feingrus und Feinkies; Feinboden stark carbonathaltig (min. c4); Tongehalte variieren, fleckig, diffus verteilt; ausgeprägte Toncutane an Aggregaten und Grobboden, bedecken teilweise die Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden; Carbonatisierung an Grobboden (v. a. Unterseite und Hangseite); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Risse, Poren mittel; Untergrenze diffus und wellig bis fleckig; Farbe: trocken: rotbraun, bzw. grau bis dunkelbraun, abhängig von Tongehalt; wf1 wg1.	173-6 173-7 173-8	41-50 50-60 60-70
70-110+	II elCc	Farbe: 10 YR 4/4; Feinboden wie darüber, weniger Ton; ganzseitige Carbonatisierung des Grobbodens; Grobboden ca. 15 % (Grus und Kies); Feinboden stark carbonathaltig (min c4); Feinboden graugelb bis weinrot, variiert in Abhängigkeit von Tongehalt; Ton diffus und fleckig verteilt, nach unten abnehmend; Poren mittel; Grobboden z. T. stark verwittert; keine Einregelung erkennbar; Sekundärcarbonat in Poren, in Wurzelröhren und an Unterseite von Grobboden als Krusten ausgefällt; Toncutane an Grobboden.	173-9 173-10 173-11 173-12	70-80 80-90 90-100 100-110
		OSL A & B Stechrahmenbeprobung: 173-1: Oberkante Stechrahmen 17 cm unter GOK, fällt 9° nach links 173-2: Oberkante 41 cm GOK, fällt 12° nach rechts 173-3: Oberkante 70 cm GOK fällt 2° nach links Profilwand streicht 130°, Exposition: 40°	173-1	25

**Anhang 70: Profilbeschreibung Profil 174**

<b>Profil: 29/9/174</b>				
<b>Datum:</b> 20.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Südlich von Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Südlich von Escuer Alto, Osthang, Profilwand streicht 195°,30 T 718653 4719229, 940 müM				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt; Hang streicht 80°, Profilwand fällt 10° nach rechts, Hangneigung ca. 20° hinter Profil; Profilloberkante 10° nach rechts geneigt.				
<b>Vegetation:</b> Mischwald, Steineichen, Kiefern, Buchs; Bedeckungsgrad etwa 10 %;				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 130 cm aufgeschlossen, Aufschluss in Runse/Hohlweg; Hang wird 10 vor dem Profil steiler; Großblöcke um das Profil; Blöcke in den Runsen freigelegt. Hauptlage über Till.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Parabraunerde aus kolluvialen Substrat über gekappter Parabraunerde in HL/Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-5	Ah	Farbe: 7,5 YR 6/4 (trocken), 7,5 YR 4/4 bis 4/6 (feucht); Feinboden carbonatfrei; toniger Lehm; Krümel- bis Subpolyedergefüge; schwach humos; Streureste, w4 wg2; Grobboden Kies und Grus, Grobbodenanteil ca. 5 %, viele Poren.	174-1	0-5
5-14	Al-Bv	Farbe: 5 YR 4/4 (feucht), 7,5 YR 5/4 bis 5/6 (trocken); Wurmrohren, viele Poren; Subpolyedergefüge und Krümelgefüge; w3 wg3; Feinboden c0; schluffig-tonig, schwach sandig; Obergrenze diffus und eben; Untergrenze diffus und eben; Grobbodenanteil ca. 5 %, sonst wie darüber.	174-2 174-3	5-10 10-14
14-65	Bvt	Farbe: 5 YR 4/6 bis 4/8 (feucht) 5 YR 4/4 bis 4/6 (trocken) nach unten 5 YR 4/4 bis 4/6 (feucht) und 5 YR 5/4 bis 5/6 (trocken); sehr ausgeprägte Toncutane an Steinen, Wurmrohren; Polyedergefüge; Risse, viele Poren; w2 wg1; Grobboden Grus bis Kies, keine Einregelung erkennbar, ca. 5 bis 10 % Grobbodenanteil; Feinboden c0, kein Sekundärcarbonat, keilförmige Untergrenze wegen Wurzeln, Untergrenze gut erkennbar (farblich und Carbonatgehalt); Feinboden toniger Lehm, toniger als darüber.	174-4 174-5 174-6 174-7 174-8	14-24 24-34 34-44 44-54 54-65
65-85	II Bt+eIcV	Farbe: marmoriert (grau/braun/rot), variiert je nach Carbonatgehalt, Tongehalt und Verwitterung; Feinboden carbonathaltig (min. c4); Sekundärcarbonat in Poren und an der Unterseite von Grobboden, tw. In Kombination mit Toncutanen; Porenanteil mittel bis viel, Wurzelrohren; diamiktisch (Till); Ton zapfenförmig/fleckig verlagert; w2 wg1; Grobbodenanteil nimmt zu, ca. 35 bis 40 %; Untergrenze deutlich, wellig und zapfenförmig.	174-9 174-10	65-75 75-85
85-98	II eIcKc	Farbe: grau wg. Grobboden und Carbonat, nur schwer bestimmbar; Sekundärcarbonataneicherung noch deutlich ausgeprägter als darüber, im Feinboden min. c4; w4 wg1 Kitt- bis Polyedergefüge; diamiktisch => Till mit Verwitterung; grusig/kiesig sandiger Lehm; nicht verkitteter Feinboden locker gelagert mit vielen Poren; Grobbodenanteil ca. 40 %; Kies, Grus, tw. Steine (kantig bis stark gerundet); Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Toncutane in Zapfen.	174-11	85-98
98-130+	II eIcKc	Farbe: beige-braun, je nach Ausgangsgestein; etwas mehr Feinboden als darüber, lockerer gelagert als darüber; Sekundärcarbonat als weiße Konkretionen ausgefällt; Kitt- bis Subpolyedergefüge; Feinboden: sandig bis schluffig. OSL A & B  DS	174-12 174-13  174-1 174-2 174-1 174-2 174-3 174-1B 174-2B	98-110 110-130  26 36 12 44 56 14 4

**Anhang 71: Profilbeschreibung Profil 175**

<b>Profil: 29/9/175</b>				
<b>Datum:</b> 19.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Westlich von Escuer Bajo		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718602 4719155, 940 m üM, Exposition: ESE				
<b>Relief:</b> Mittelhang: 30°, gestreckt-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Steineichen (ca. 5 m hoch), Kiefern, Buchs, Dornbusch, Gräser; Bedeckungsgrad ca. 50 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 120 cm aufgeschlossen, Seitenmoräne/Grundmoräne mit Großblöcken (bis 4 m Kantenlänge); Profilwand streicht 200°.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde in Hauptlage über Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-3	Ah	Farbe: 10 YR 4/3; schwach bis mittel humos; Krümelgefüge; Streureste; wf3 wg1; Feinboden c0; locker gelagert; viele Poren; Untergrenze scharf; Feinboden schluffig tonig; Ameisengänge; trocken: grau-rötlichbraun; Grobboden <5 %.	175-1	0-3
3-25	Al-Bv	Farbe: 7,5 YR 4/3, trocken: blasses rotbraun-schwaches grau, dunkler als darüber; Feinboden c0; kein Sekundärcarbonat; Polyedergefüge; viele Poren; wf3 wg1; Untergrenze wellig und scharf; weißes Pilzmycel, v. a. gegen Untergrenze; Grobboden ca. 5 %, Grus bis Kies; mehr Grobbodenanteil als darüber; Grobboden tw. stark verwittert; locker; viele Holzkohlen.	175-2 175-3	3-15 15-25
25-46	Btv	Farbe: 7,5 YR 4/4, weinrot-braun (dunkler als darüber); weißes Pilzmycel; Feinboden c0; deutliche Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Grobboden stark verwittert; wg1 wf2; Untergrenze scharf und wellig, parallel zur GOK, im Übergangsbereich carbonathaltiger Feinboden, wahrscheinlich Sekundärcarbonat, min. c4; schluffiger Ton (schluffiger als darüber); Polyedergefüge; viele Poren; Grobboden ca. 10 bis 15 %, grusig bis kiesig.	175-4 175-5	25-35 35-46
46-61	II elCkC	Farbe: 2,5 Y 4/4; Till, diamiktisch, grusig bis kiesig, Grobbodenanteil min 40 %; Feinboden schäumt stark, min c4, z. T. verkittet; schwer grabbar; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Feinboden: grusiger sandiger Lehm; dunkler als darüber; trocken: grau-schwach grün, braun und schmutzig, uneinheitliche Farbe; Grobboden tw. verwittert; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt (ähnlich Lösskind); Poren: mittel bis viel; Polyeder- bis Kittgefüge.	175-6	46-61
61-120+	II elCkC	Farbe: 2,5 Y 5/4, graubeige, uneinheitlich, teilweise weiße Flecken (carbonat); Grobboden ganzseitig carbonatisiert; wenig Poren; kaum Verwitterung; wf 1 wg 1; Kitt bis Polyedergefüge; Feinboden carbonatisiert min c4; Grobbodenanteil wie darüber, aber mehr Blöcke; Feinboden wie darüber. Stechrahmen	175-7 175-8  175-1 175-2 175-3  175-1B 175-2B 175-3B	61-90 90-120  14 30 60  8 55 0

**Anhang 72: Profilbeschreibung Profil 176**

<b>Profil: 29/9/176</b>				
<b>Datum:</b> 21.8. und 8.9.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, R. Enderl, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Piedrafit de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Schürfgrube		
<b>Lage:</b> Osthang nördlich Wildpark 30 T 718293 4730711 1423 m NN				
<b>Relief:</b> Mittelhang, ca. 34°, gestreckt-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Alter Baumbestand v. a. Kiefern dazwischen jüngere Laubbäume, Buchs, Farn; Vegetationsbedeckung ca. 5%.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 105 cm gegraben, sehr locker, gut grabbar.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde in HL über Till/Schutt(?)				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-9	Ah	Farbe: 10 YR 4/3; Feinboden carbonatfrei, Krümel- bis Subpolyedergefüge; Wurmgänge; locker gelagert; wenig Grobboden 5 %, v. a. Grus (fein bis mittel); kalkfreier Schluffstein; schwach bis mittel humos; stark schluffig; wg 2 wf 2.	176-1	0-9
9-42	Al+Bt	Farbe: 10 YR 5/4; Polyeder bis Subpolyedergefüge; viele Poren; Wurmrohren; Grobbodenanteil < 5 %, (geringer als darüber); wg 3 wf 2; Feinboden c0; weißes Pilzmycel; schluffig-tonig; wellige und scharfe Untergrenze; Holzkohlefitter bis 33 cm unter GOK; schwach ausgeprägte Toncutane.	176-2	9-26
			176-3	26-42
42-70	II Btv	Farbe: 10 YR 5/4; Grobbodenanteil nimmt zu, ca. 20 %; toniger Schluff; viele Wurmrohren; locker gelagert; Poly- bis Subpolyedergefüge; weißes Pilzmycel; Grobboden stark verwittert; viele Makroporen; Untergrenze unscharf und stark wellig wegen Grobboden; Feinboden c0; Grus, Steine und Blöcke, z. T. rund durch Verwitterung; wf 1 wg 2; an Oberseite von Grobboden Toncutane.	176-4	42-56
			176-5	56-70
70-105	III Btv	Farbe: 10 YR 5/4 - 5/6; Grobbodenanteil ca. 40 bis 50 %; Toncutane an Aggregaten und Grobboden deutlich ausgebildet; wf 2 wg 1; Grobboden stark verwittert; Toncutane an Grobboden an der Ober-, Hang- und Unterseite (siehe Foto); Polyedergefüge; viele Poren, v. a. Grobporen; stark schluffiger Ton; Feinboden c0; Wurmrohren; Lithologie: Schluff- und Sandsteine (ehemals carbonathaltig, c1); Toncutane in Wurzelröhren; Spalten zwischen Grobboden feinbodenfrei (bis zu 2 cm breit und 15 cm lang).  Dünnschliff	176-6	70-105
			176-1	33

**Anhang 73: Profilbeschreibung Profil 177**

<b>Profil: 29/9/177</b>				
<b>Datum:</b> 22.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Osthang SW von Arguisa		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718693 4717364, 1057 m üM				
<b>Relief:</b> Mittelhang ca. 5°, gestreckt-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Kiefern (ca. 4 m hoch), hangparallel in Reihen gepflanzt; Dornbusch und Gräser; Bedeckungsgrad ca. 50 %, wahrscheinlich ehemalige Weidenutzung.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschlossen; Maurreste aus ehemaliger Terrassierung; Lithologie: Flysch, plattig und kantig, tw. kantengerundet wg. Verwitterung.  Anmerkung (15.7.2010): Kolluvium über Pararendzina?! Bzw.: Kolluvium über gekapptem Cv!				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-10	eAh	Farbe: 2,5 Y 4/2; Feinboden carbonathaltig (min. c4), eher Primärcarbonat (Unterseite von Grobboden carbonatfrei); schwach bis mittel humos; wf 5 wg 2; weißes hydrophobes Pilzmycel, dort Kalk ausgefällt; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Feinboden: schluffiger Ton; Grobbodenanteil ca. 5 %, (Fein- und Mittelgrus); lockerer gelagert als darunter; viele Poren und Risse (wg. Krümelgefüge); Untergrenze scharf und eben.	177-1	0-10
10-60	elCv	Farbe: 2,5 Y 4/3; Feinboden schwach schluffiger und feinsandiger Ton; Polyedergefüge; wf 2 wg 1, Wurzeln werden mit der Tiefe weniger; Regenwurmröhren; Feinboden min. c4; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Grobbodenanteil ca. 5 %, v. a. Grobgrus, weniger Fein- und Mittelgrus als darüber; Ausmaß und Intensität dr Carbonatisierung mit der Tiefe zunehmend; Grobbden leicht verwittert; Poren mittel; Risse; weißes Pilzmycel; fest gelagert; Untergrenze scharf und eben; Oberhalb der Untergrenze Holzkohleflitter => Kolluvium??	177-2 177-3	10-35 35-60
60-90+	II elCc	Farbe: 2,5 Y 4/3; Grobboden ca. 40 %, v. a. Mittel- bis Grobgrus; Polyedergefüge; dicht gelagert; Holzkohleflitter; Feinboden min c4; Grobboden an Unterseite und Hangseite tw. auch ganzseitig carbonatisiert; Feinboden wie darüber; wg 1 wf 1; wenig Poren; Grobboden eher horizontal eingeregelt.	177-4	60-90

**Anhang 74:** Profilbeschreibung Profil 178

<b>Profil: 29/9/178</b>				
<b>Datum:</b> 22.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> SW Arguisa		<b>Aufschluß:</b> Wegaufschluss		
<b>Lage:</b> 30 T 718405 4717585 Exposition Ost, 1128 m NN				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt, möglicherweise terrassiert, Hangneigung ca. 30°.				
<b>Vegetation:</b> Kiefernforst (ca. 6 m hoch), Bäume hangparallel gepflanzt, gazwischen Buchs, Dornbusch und Gräser, Bedeckungsgrad ca. 20 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 140 cm aufgeschlossen, Lithologie: Flysch, Sandstein (kantig, plattig, Grus bis Blöcke). Periglazialer Bereich.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina über Basislagenkomplex				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-4	eAch	Farbe: 2,5 Y 6-5/4 (trocken), 2,5Y 4/4 (feucht), Feinboden: Lehmtom (Tl); Streureste; schwach humos; Krümel- bis Subpolyedergefüge; w4 wg3; Feinboden carbonathaltig; Sekundärcarb an der Unterseite von Grobboden; Grus (fein bis grob).	178-1	0-4
4-33	eICc	Farbe: 2,5 y 4/2-3 (trocken), 2,5Y 4/3-4 (feucht); dichte Lagerung, Sekundärcarbonat in den Poren, nimmt nach unten zu, Feinboden mind. C4; Grobboden an Unterseite und Hangseite carbonatisiert; Feinboden Tt (leicht schluffig und feinsandig); Grobbodenanteil 15 %; w3 wg4; Untergrenze scharf, eben und horizontal; Polyedergefüge; Risse Kalkpseudomycel; Pilzmycel; Porenanteil: wenig bis mittel; Kalkausfällungen in Würzelröhren.	178-2 178-3	4-17 17-33
33-140	II eICck	Farbe: 2,5Y 5/4 Farbe oben eher beigebraun (33-70), darunter eher hellbraun (70-120) an der Basis dunkelbraun(120-140); Feinboden c4; Polyedergefüge; Feinboden wie darüber; hoher Grobbodenanteil (min. 50 %); Grobboden teilweise horizontal eingeregelt (Basislage?) w2 wg3; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, weiter unten ganzseitig, Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt; Risse wenig, Poren mittel, nach unten mittelgroße Poren; Grobboden: Grus bis kantige Steine.	178-4 178-5 178-6 178-7	33-60 60-90 90-120 120-140

**Anhang 75: Profilbeschreibung Profil 179**

<b>Profil: 29/9/179</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Profil nördlich von Villanua am Westhang, 1456 m üM, 30 T 703385 4730691				
<b>Relief:</b> Mittelhang gestreckt-gestreckt, 50-60°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald (ca. 10 m hoch, 50 cm Durchmesser), Buchs, Fichte, Haselnuss, Gräser, Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil: 100 cm aufgeschlossen; Kalkstein anstehend (siehe Handstück) kantig bis kantengerundet (durch Verwitterung). Rezente Kalkbraunerde/Pararendzina (durch Erosion gekappte Hauptlage und Basislage).				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-4	Ach	Farbe: 10 YR 4/2 (feucht), 10 YR 7/3 (trocken); schwach humos; Krümel- bis Poyedergefüge; wf 5 wg 2; Poren mittel; Streureste; trocken; Feinboden c0; Grobbodenanteil ca. 5 %, Grus und tw. ca. 2 mm kleine Kalkkonkretionen; Feinboden: schwach sandiger Lehm (schluffig, schwach tonig) kein Feingrus; scharfe Untergrenze, Holzkohlen.	179-1	0-4
4-47	Bv+e1C	Farbe: 10 YR 5/6 - 4/6 (feucht), 10 YR 7/4 (trocken); Feinboden sehr schwach carbonathaltig (c0 bis c1); sehr viele Poren; Polyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 10 %, in der Mitte des Horizontes weniger, darüber und darunter mehr; wf 3 wg 2; Grobboden tw. eher hangparallel eingeregelt; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Feinboden schluffig bis tonig, sehr schwach sandig; Aggregate sehr porenreich aber eher fest beim zerdrücken => wahrscheinlich Löss; scharfe Untergrenze eben bis wellig.	179-2 179-3	4-24 24-47
47-100+	Il e1Cc	Farbe: 10 YR 5/4 bis 4/4 (feucht), 10 YR 4/3 (trocken); Feinboden min. c4; viele Poren; Sekundärcarbonat in Poren und ganzseitig an Grobboden, v. a. an der Unterseite von Grobboden (siehe Handstück); Toncuten an Steinen; sehr hoher Grobbodenanteil >90 % => steinig; Polyedergefüge; weißes Pilzmycel; Feinboden: stark toniger Lehm; größere Holzkohlen (durch Grobporen durchgefallen?)	179-4	47-100

**Anhang 76:** Profilbeschreibung Profil 180

<b>Profil: 29/9/180</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Villanua, 1023 m üM		<b>Aufschluß:</b> Baggerschurf		
<b>Lage:</b> Profil am Wassertank, 30 T 702852 4728593				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Nur Situmetrie! Boden siehe Profil 181				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm

**Anhang 77: Profilbeschreibung Profil 181**

<b>Profil: 29/9/181</b>				
<b>Datum:</b> 25.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, Schuhert, S.		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 30 T 702896 4728696 Nordöstlich von Villanua, neben dem Eisenbahntunnel, 1064 m NN</p>				
<p><b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt, 40°</p>				
<p><b>Vegetation:</b> lichter Kiefernwald (bis 6 m hoch), Dornbusch, Buchs, Gräser, Bedeckungsgrad ca. 60 %</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschlossen, Lithologie: siehe Profil 180; Exposition N (190°); Hang fällt in Richtung 190°; Hang streicht in 100°; Tillblöcke um das Profil; Till über anstehendem Kalksandstein (nicht erreicht)</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-3	eAh	Farbe: 7,5 YR 4/4 bis 4/6; schwach humos; Feinboden carbonathaltig (c1 bis c. 4), Carbonat fleckig und diffus verteilt, wahrscheinlich Sekundärcarbonat; Polyeder- bis subpolyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 10 %, Kies und Grus; Streureste; Feinboden: grusiger sandiger Schluff (wenig Ton); Untergrenze unscharf; wf4 wg3; Grobboden z. T. an Unterseite und Hangseite carbonatisiert; Grobporen, Risse, locker gelagert.	181-1	0-3
3-50	Bv-elCv	Farbe: 7,5 YR 4/4 bis 4/6; Feinboden carbonathaltig (min. c4); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 20 %, grusig bis feinkiesig; grusiger Lehm (feinsandiger, toniger Schluff); Grobboden an Unterseite und Hangseite carbonatisiert, teilweise Sekundärcarbonat in Poren; Poren mittel; wf 3 wg 3; Untergrenze sehr scharf und eben; Holzkohlen bei 20 und 30 cm unter GOK.	181-2	3-20
			181-3	20-35
			181-4	35-50
50-90+	elCck	Farbe: 2,5 Y 5/4, im trockenen Zustand grau; Grobboden wie darüber, Grobbodenanteil ca. 30 - 40 %; Sandstein z. T. sehr stark verwittert; schwer grabbar; Polyeder- bis Kittgefüge; Carbonatgehalt min c4; schwer grabbar, wird nach unten massiver; keine Wurzeln, enden darüber; wenig mit mittel Poren; keine Risse, Feinboden im Gelände nicht bestimmbar.	181-5	50-90

**Anhang 78:** Profilbeschreibung Profil 182

<b>Profil:</b> 29/9/182				
<b>Datum:</b> 25.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, Schuhert, S.		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 703249 4730459, 1438 m üM Nördlich von Villanua am Westhang				
<b>Relief:</b> Mittelhang 50°, gestreckt-gestreckt, Hangneigung ca. 37°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald (ca. 8 m hoch, 40 cm Durchmesser), Hakenschlagen von Bäumen, Stechgräser, einzelne Laubbäume, Buchs, Bedeckungsgrad 60 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen; Exposition West; Lithologie: Kalkhaltiger Schiefer mit Sandsteinwechsellagerungen, Schiefer verstellt.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-20	Ah bzw. Al bzw. M	Farbe: 10 YR 4/4 bis 4/6; Feinboden c0 bis c1, evt. Sekundärcarbonat; auf den oberen 5 cm Krümelgefüge, darunter Polyeder- bis schwaches Subpolyederggefüge; Poren wenig bis mittel; wf5 wg3; Untergrenze wellig und zapfenförmig, deutlich; Grobboden < 5 %, grusig und plattig (v. a. Mittel- bis Grobgrus), überwiegend oberflächenparallel eingeregelt; Streureste v. a. auf den obersten 5 cm, schwach bis mittel humos; Feinbodensehr schwach feingrusiger, schwach feinsandig, schluffiger Ton.	182-1	0-10
			182-2	10-20
20-50	II Bvt	Farbe: 10 YR 4/6; Polyederggefüge; Poren mittel bis viel; Toncutane; Feinboden teilweise carbonatfrei (c0 -c1); wf4 wg2; Grobbodenanteil 5 bis 10 %, tw. stark verwittert, Verwitterung aus anstehendem Schiefer (anstehender Schiefer rechts rötlich 2,5 YR 4/6), Grus bis kantige Steine, eher hangparallel eingeregelt; Ausgangsgestein Schiefer, z. T. stark verwittert; Ton aus Schiefer, schwach grusiger Ton; keine Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden, Unterante Schiefer, geringer verwittert als darüber; deutlich weniger Feinboden; Feinboden aus Verwitterung des Schiefers; wenig Poren; Feinboden schluffig-tonig; Grobbodenanteil ca. 90 %; in verwitterten Schiefers Gesteinsstruktur noch Beprobung links	182-3	20-30
			182-4	30-40
			182-5	40-50
68-100+	eCv	Beprobung rechts	182-6	50-60
			182-7	60-68
			182-8	68-100
			182-1B	0-10
			182-2B	10-20
			182-3B	20-30
			182-4B	30-40
			182-5B	40-50
			182-6B	50-80
			182-7B	80-100
			182-1C	0-10
			182-2C	10-20
			182-3C	20-30
			182-4C	30-40
182-5C	40-50			
182-6C	50-80			
182-7C	80-100			

**Anhang 79: Profilbeschreibung Profil 183**

<b>Profil: 29/9/183</b>				
<b>Datum:</b> 25.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, Schuhert, S.		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 703165 4730363, 1424 m üM Nördlich Villanua am Westhang.				
<b>Relief:</b> Unterhang gestreckt-konvex; Wegrand bildet Hangkante; Hangneigung hinter Profil 30°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald (6-7 m hoch, Durchmesser ca. 40 cm); Büsche, Gräser, Moose, Wacholder, Dornstrauch, Bedeckungsgrad ca. 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 130 cm aufgeschlossen, Weg etwa 25° geneigt; Hang fällt oberhalb des Profils 10° nach rechts, streicht 280°; Lithologie: kalkhaltiger Tonschiefer mit Kalksandsteinwechsellagerungen; Fallwinkel Horizontgrenzen: Ah 10°, Bv 20°, C 20°; IIC 45°;				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-40	Bv-Ah	Farbe: 7,5 YR 4/6 bis 3/4; Untergrenze gerade und diffus; farblicher Übergang; schwach bic mittel humos; Feinboden c1 bis c0; Sekundärcarbonat an Unterseite von Grobboden als Kalkpseudomycel, nur schwach ausgeprägt; Krümel bis Koharantgefüge; Streureste; wf5 wg2; Grobboden ca. 10 bis 15 %, deutlich mehr als darunter, Grus und Kies; viele Holzkohlen; locker gelagert; Feinboden: schwach sandig, feinsandiger, toniger Schluff; Ameisengänge.	183-1	0-7
			183-2	7-14
			183-1B	0-14
			183-2B	14-27
			183-3B	27-40
40-50	II Bv	Farbe: 7,5 YR 5/6; Grob- und Mittelporenanteil mittel; Holzkohlen bei 45 cm unter GOK; feinsandiger, toniger Schluff. Subpolyeder- bis Krümelgefüge; schwach ausgeprägte Toncutane (?) an Grobboden; Aggregate bröckelig; Unter- und Obergrenze beide scharf und nach rechts gekippt; Grobbodenanteil ca. 2 %; wf4 wg2; Steinlage an der Obergrenze.	183-4B	40-50
50-66	II Btcv	Farbe: 5 YR 4/4 bis 4/6 und 7,5 YR 4/4; Untergrenze scharf mit diffusum Übergangsbereich; stark tonig, schwach schluffig und schwach sandig; wf6 wg 3; Toncutane; Risse; Polyedergefüge; viele Poren; Grobbodenanteil 10 % (Feingrus und Feinkies, kantige und kantengerundete Steine); Grobboden z. T. stark verwittert; roter und gelber Sandstein; Tonverlagerung nur sehr schwach ausgeprägt, örtlich diffus verteilt; Tonverlagerung nur innerhalb des Horizontes; Feinboden c0.	183-3	14-32
			183-4	32-50
			183-5	50-62
			183-5B	50-66
66-112	II elCv	Farbe: 10 YR 4/4 bis 4/5; Grobboden 25 %, eher hangparallel eingeregelt, tw. Senkrecht gestellt; Carbonatisierung an Unterseite, Hangseite, Oberseite, tw. Ganzseitig, hauptsächlich aber Unterseite; Feinboden und Grobboden schwach verwittert; Polyeder und Krümelgefüge; keine Verkitung des Feinbodens; wf 3 wg 1; Wurzelanteil nimmt deutlich ab innerhalb des Horizontes; weniger Ton als darüber; Grus und Kies; Poren mittel; Untergrenze scharf, locker gelagert; Feinboden min. c4; Basislage.	183-7	78-95
			183-8	95-112
			183-6B	66-78
			183-7B	78-95
			183-8B	95-112
112-123	II elCc	Farbe: 10 YR 6/6; Feinboden carbonathaltig (c3 bis c4); weniger als darüber; Grobboden hangparallel eingeregelt, 20 bis 30°; brauner als darüber; Sekundärcarbonat ganzseitig an Grobboden; Polyedergefüge; vermutlich Basislage; Grobbodenanteil min. 25 %, grusig; wf1 wg1; Feinboden stark tonig, schwach sandig, schwach schluffig.	183-9	112-123
			183-9B	112-123
123-130	III elCc	Farbe: 10 YR 5/4; primäre Gesteinsstruktur noch erkennbar, Tonschiefer, tw. Verwittert; min. c4; wf1 wg0; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, auch an Oberseite. Stechrahmenbeprobung: 183-1 47cm unter GOK 2 Aggregate	183-10	123-130
			183-10B	123-130

Anhang 80: Profilbeschreibung Profil 184

<b>Profil: 29/9/184</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> NE von Villanua		<b>Aufschluß:</b>		
<b>Lage:</b> 30 T 703165 4730367, 1430 m üM 4 m nördlich von -183				
<b>Relief:</b> siehe -183				
<b>Vegetation:</b> siehe -183				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 59 cm aufgeschlossen.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-10	Aeh	Farbe: 10 YR 4/3; Feinboden c1; weißes Pilzmycel; schwach bis mittel humos; Grobbodenanteil ca. 5 % (Fein- und Mittelgrus); Krümel- bis Subpolyedergefüge; wf 3 wg1; Porenanteil mittel; Risse; stark toniger Schluff.	184-1	0-10
10-23	Bv-Cv	Farbe: 7,5 YR 5/6 bis 4/4; Grobbodenanteil ca. 5 %, v. a. Grus; Grobboden schwach an der Unterseite carbonatisiert, teilweise auch Hangseite, Grobboden z. T. stark verwittert; Subpolyeder bis Polyedergefüge; grusig feinsandiger Ton; Wurzelgänge; Poren wenig bis mittel; wf3 wg 2; Feinboden c1.	184-2	10-23
23-41	elCv	Farbe: 7,5 YR 5/6 bis 4/6; Polyedergefüge; Poren wenig bis mittel; Risse; rel. locker gelagert; Sekundärcarbonat als Kalkpseudomycel und in Poren ausgefällt; grobboden wie darüber; Toncutane; Grobboden ganzseitig carbonatisiert, v. a. Unterseite; wf3 wg2; Feinboden c3; Grobboden grusig, z. T. stark verwittert; Lithologie: verschieden Sandsteine.	184-3	23-41
41-59+	elCc	Farbe: 10 YR 4/4; Feinboden min. c4; höher Grobbodenanteil min. 40 %, chaotisch gelagert, grusig; Fein- und Grobboden verwittert; Sub- bis Polyedergefüge; Porenanteil mittel; Skeundärcarbonat in den Poren ausgefällt; wf1 wg 1 ; dichte Lagerung, schwer grabbar; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Feinboden min. Sekundär-, mögl. auch Primärcarbonathaltig; Feinboden wie darüber nur grusiger.	184-4	41-59

Anhang 81: Profilbeschreibung Profil 185

<b>Profil: 29/9/185</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> NE Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> Nordöstlich Villanua oberhalb der Schotterstraße zum Refugio. Exposition W, 1357 m üM, 30 T 703553 4729746</p>				
<p><b>Relief:</b> Mittelhang, ca. 30° geneigt, gestreckt-gestreckt; Makrorelief wellig, Bäume stehe auf etwa 20 cm hohe Sockel.</p> <p><b>Vegetation:</b> Dichter Kiefernwald, ca. 15 m hoch, vereinzelte Buchsbäume, keine Gräser, Krautschicht fehlt, Bedeckungsgrad 0 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 47 cm aufgeschlossen; um das Profil deutliche Erosionsspuren: Gullys und Kolluvien im Unterhang/Hangfuß; Hang anthr. Terrassiert, Mauerreste, starker Oberflächenabfluss (siehe Foto).</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-2	Ai	Farbe: 10 YR 4/4; sehr schwach humos; wegen weißem Pilzmycel weißgrauer Einschlag; dicht gelagert; Porenanteil wenig bis mittel; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil < 5 %, Grus, teilweise stark verwittert; Lithologie: Kalksandsteine; wf1 wg1; toniger Lehm.	n. b.	n. b.
2-47	M	Farbe: 10 YR 4/4, einheitlich; Grobbodenanteil ca. 5 %; wf 2 wg2; Polyedergefüge, schwer grabbar; dicht gelagert; Porenanteil wenig; Holzkohlereste (ca. 3 mm Durchmesser); Feinboden c1 bis c0, diffus verteilt; Feinboden wie darüber.	185-1 185-2	2-25 25-47

**Anhang 82:** Profilbeschreibung Profil 186

<b>Profil: 29/9/186</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhert		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Nördlich von Villanua am Westhang, 1295 m üM, 30 T 703354 4729756.				
<b>Relief:</b> Unterhang (Hangfuß); Profil an Weganschnitt; hinter Profil ca. 5 m tiefer Hohlweg/Gully.				
<b>Vegetation:</b> Mischwald, Kiefern, Haselnuss, Buchs, Gräser, Bedeckungsgrad 30 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen, mit Pürckhauer 60 cm erweitert, Holzkohlen bei 116 und 122 cm.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium mit beginnender Lessivierung				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-2	Ah	Farbe: 10 YR 2/3; stark humos; Krümelgefüge; sonst wie darunter.	186-1	0-2
2-32	M	Farbe wie darüber, wird nach unten heller 10 YR 4/3 bis 4/4; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Grobboden ca. 10 %, Grus und Kies; Grobboden hangparallel eingeregelt, bildet bei 25 cm unter GOK eine Schicht; Feinboden c0 bis c1, c1 nur schwach ausgeprägt, Carbonat diffus verteilt; Grobboden z. T. stark verwittert; wenige Steine (kantig bis gerundet); Feinboden: Schluff, stark tonig, Tongehalt nimmt mit der Tiefe zu (=> beginnende Lessivierung); wf 5 wg 3; wenig Poren; rel. locker gelagert.	186-2	2-32
32-83	M	Farbe: 10 YR 4/4; schwach carbonathaltig c1; Polyedergefüge; viele Poren; dichter gelagert als darüber; Wurzelgänge; Wurmrohren; Grobbodenanteil ca. 5 %, hangparallel, tw. in Schichten gelagert, verwitterter Sandstein; wf 3 wg ; wenig Steine; Grobboden Kies und Grus; Feinboden wie darüber.	186-3 186-4	32-57 57-83
83-100	M	Farbe: 10 YR 4/4 bis 4/6; weniger Grobboden als darüber <5 %, sehr kiesig , schwach grusig; dicht gelagert; Aggregate sehr schwer mit der Hand zu zerbrechen; viele Poren; Holzkohlen; Feinboden sehr schwach Carbonathaltig (c0 bis c1); Feinboden: Ton.	186-5	83-100
100-160+	M	Mit Pürckhauer aufgeschlossen: Feinboden c0; teilweise Grus und Kies; keine Schichten erkennbar; Grobboden z. T. stark verwittert, bei 115, 121, 130, 141 und 155 Holzkohlen.		

**Anhang 83: Profilbeschreibung Profil 187**

<b>Profil: 29/9/187</b>				
<b>Datum:</b> 27.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhert		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1350 m üM, 30 T 703230 4730086				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-konvex, 40° geneigt, oberhalb von Profil kleinere Verebnung (ca. 1 m)				
<b>Vegetation:</b> Lichter Wald aus Steineichen, Oliven, Kiefern, Buchs, Dornstrauch, Wacholder und Gräser. Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen; Lithologie: verschiedene Kalksandsteine (fein- und grobkristallin); Kalksandstein anstehend; Konglomerate; Grobboden im Profil insgesamt nur schwach verwittert.  Kolluvium über Deckschichtenkomplex aus Hauptlage und (geringmächtiger Basislage???) über Anstehendem Oder: Mehrschichtiges Kolluvium über Anstehendem				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-2	Ah	Farbe: 10 YR 3/4; Feinboden c0; w4 wg3; durch Wurzeln fest gelagert; schwach humos; Streureste; Krümel bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil < 5 % (Grus (v. a. Fein- und Mittelgrus) und Kiese); Schluff; Risse; viele Poren; Grobboden nicht carbonatisiert.	187-1 187-1B	0-2 0-2
2-32	M	Farbe: 7,5 YR 4/4; Polyedergefüge; Risse; weißes Pilzmycel; Porenanteil mittel; Wurzelgänge; Wurmrohren; Grobbodenanteil ca. 5 % (Grus Kies, kantige bis kantengerundete Steine), Grobboden tendentiell hangparallel eingeregelt; wg3 wg2; Feinboden c0, teilweise c1 (diffus verteilt, nach unten zunehmend); kein Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Untergrenze scharf, gerade und leicht nach rechts gekippt; schluffiger Ton.	187-2 187-3 187-2B 187-3B	2-17 17-32 2-17 17-32
32-60	II Bcv oder M	Farbe: 7,5 YR 4/4; Sekundärcarbonat: weiße Kalkkonkretionen (ca. 0,5 bis 1 mm); Feinboden c0; Grobbodenanteil ca. 30 %, teilweise hangparallel eingeregelt, plattiger Kalksandstein, kantig, v. a. Grus; w2 wg1; Feinboden wie darüber; wahrscheinlich Hauptlage (höherer Feinbodenanteil als darunter; Feinboden locker gelagert; Risse, Porenanteil mittel; Polyedergefüge; kantige Aggregate, deutlich im Horizont erkennbar, im Horizont darüber Aggregate glatter; oben Grobboden teilweise ganzseitig carbonatisiert, nimmt nach unten deutlich zu; Feinboden locker gelagert; wegen Grobbodenanteil insgesamt aber schwer grabbar.	187-4 187-4B	32-60 32-60
60-98	III eCvc oder M	Farbe: 7,5 YR 5/6; Grobbodenanteil min. 50 %, hangparallel und wirr, ganzseitig carbonatisiert, Grus: v. a. Fein- bis Mittelgrus; w2 wg1; Feinboden min. c3, Primär- und Sekundärcarbonat, weiße Kalkkonkretionen im Feinboden (ca. 1 mm); Porenanteil mittel bis viel; Risse; feinbodenfreie Spalten zwischen Grobboden, nicht komplett verfüllt; scharfe Untergrenze; Polyedergefüge; Schluff; Basislage?	187-5 187-5B	60-98 60-98
98-100+	IV eCvcm	Anstehender Kalksandstein; feinkristallin; nur oberflächlich verwittert; massiv, nicht grabbar; oberflächliche Kalkkonkretionen. Stechrahmen	n. b. 187-6B 187-1	n. b. 98-110 22

Anhang 84: Profilbeschreibung Profil 188

<b>Profil: 29/9/188</b>				
<b>Datum:</b> 24.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhert		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<p><b>Lage:</b> Oberhalb von Profil 3 m breiter Feldweg, dahinter 1 m hohe Steinmauer, Feldweg ca. 1 bis 1,5 m in Hang eingetieft, oberhalb des Profils fehlt der 1,5 m hohe Erdwall; hinter Steinmauer Feld, GOK dort etwa 1,3 m über Weg, 30 T 703357 4729712, 1290 m üM</p>				
<p><b>Relief:</b> Hang oberhalb von Profil etwa 10 ° geneigt; konkav-gestreckt; Exposition 219 °. Seitenwände des Gully etwa 60 bis 70 °.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Mischwald, Kiefern (ca. 60 cm Durchmesser), Haselnuss, Buchs und Birken. Bedeckungsgrad ca. 5 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Hanganschnitt bis 270 cm unter Kante, die untersten 100 cm als Profil aufgeschlossen. Kolluvium am Hangfuß über Till, neben episodischem Wildbach der in Gully mündet; Lithologie: Kalkstein, feine bis grobe Kalksandsteine.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
170-216	M	Farbe: 10 YR 3/4; schluffiger Ton; viele Holzkohlefitter; Grobbodenanteil < 5 %, eher hangparallel eingeregelt, (Grus, Kies, kantige bis gerundete Steine); Feinboden c0; Krotowinen (wühlmäuse); Sandstein zum Teil rot verwittert; Wurmröhren; Poren wenig bis mittel; Risse; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; wf2 wg4; locker gelagert; gut grabbar; Grobboden nicht carbonatisiert; kein Sekundärcarbonat; Untergrenze schar, gerade und nach rechts geneigt.	188-1 188-2	170-193 193-216
216-270	II fBt+elCv °Cc	Farbe: 10 YR 4/4; Feinboden min. c4; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; schwer grabbar wegen Grobboden und Verkittung; Grobbodenanteil min 50 %, viel Fein-, Mittelgrus und Steine, vermutlich Till wegen Größe der Steine, Lithologie: Kalksandsteine, Kalksteine; keine Holzkohle; Kitt- bis Polyedergefüge; feinbodenfreie Spalten zwischen Grobboden; ausgeprägte Toncutane; wg2 wf1; Grobboden teilweise stark verwittert, diamiktisch; Feinboden: Ton.	188-3	216-270
		OSL 39	188-1-39	209
		Stechrahmen	188-1	205
		Stechrahmen mit entnommenen Aggregat	188-2	205

**Anhang 85:** Profilbeschreibung Profil 189

<b>Profil:</b> 29/9/189				
<b>Datum:</b> 28.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhert		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 703515 4728998, 1240 m üM Exp: SSE 160°				
<b>Relief:</b>				
<b>Vegetation:</b>				
<p><b>Profilübersicht:</b>          Osl Beprobung glaziolakustriner Sedimente auf Till, Sediment etwa 20 cm mächtig, darüber und darunter diamiktischer Kies, stark verwittert; nach unten Diamikt getrennt von lakustrinen Sediment durch Kalkschicht; Lakustrines Sediment: Schluff, horizontal gelagert; mehrere geringmächtige Lagen übereinander, teils von humosen bzw. Kalklagen getrennt, kein Grobboden.</p>				
<b>Bodentyp:</b>				
<b>Tiefe</b> cm	<b>Horizont</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Proben</b> Nr.	<b>Probentiefe</b>
		OSL	189-1	60

**Anhang 86: Profilbeschreibung Profil 190**

<b>Profil: 29/9/190</b>				
<b>Datum:</b> 29.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Nordöstlich Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 703446 4729000, 1424 m üM Sporn der äußersten Seitenmoräne				
<b>Relief:</b> Unterhang, 10° Neigung bis 4 m hinter Profil, danach 20°; gestreckt-konvex.				
<b>Vegetation:</b> Nadelwald (Kiefern), Buchs, Dornbusch, Brombeeren, Bedeckungsgrad ca. 5 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 220 cm im Till aufgeschlossen; Blöcke obenauf; Lithologie: Kalksand-, Kalsteine; Mergelsteine; Großblöcke im Profil (kg bis g).  Kolluvium über Till (Kalkbraunerde im Till) oder Kolluvium über Kalkbraunerde über Braunerde mit rezenter Sekundärcarbonatanreicherung  Oder: Kolluvium über gekappter Parabraunerde in Hl über fossilem Bt in Mittellage über Till				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-23	Ah/M	Farbe: 10 YR 4/4; Feinboden c0; w4 wg3; schwach bis mittel humos; Humusgehalt nach unten abnehmend; streueste; Krümel- bis Subpolyedergefüge; locker gelagert; viele Poren; Risse; verschiedene Schiefer und Kalksandsteine, z. T. stark verwittert, Gesteinsstruktur noch erkennbar, mit Finger zerdrückbar; keine Einregelung erkennbar, v. a. Gruse, wenig Kiese (Kalksandsteine und Schiefer bilden als Verwitterungsprodukt eher Gruse wegen Kalkgehalt); Feinboden: feinsandiger Schluff; Untergrenze deutlich	190-1	0-12
			190-2	12-23
			190-1B	0-10
			190-2B	10-23
23-43	M	Farbe: 10 YR 4/3; Untergrenze scharf und wellig; Wurmröhren; viele Holzkohlefitter und Holzkohlestückchen; Grobbodenanteil etwa 5 bis 10 %, v. a. Gruse (fein bis grob); keine Einregelung erkennbar, Polyedergefüge; Regenwurmröhren; Poren mittel; schwer grabbar wegen trockenem Ton und Schluffgehalt (kolluviale Verlagerung); Feinboden c0; keine Carbonatisierung an Grobboden (wie darüber); w2 wg1 (weniger Wurzeln als darüber und darunter); Grobboden teilweise stark verwittert, zerfällt bei Hammerschlag; Feinboden: grusiger toniger Schluff, feinsandig.	190-3	23-36
			190-4	36-48
			190-3B	23-33
			190-4B	33-43
43-60	II Bt	Farbe: 10 YR 5/4; Grobbodenanteil ca. 10 %, Steine, kantig bis kantengerundet; Blöcke; Poren: mittel bis viel; Holzkohlefitter bis min. 70 cm unter GOK; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; wf 3 wg 1; Feinboden carbonatfrei, besser grabbar als darüber; Ton, schluffig, feinsandig und grusig; Untergrenze wegen Grobbodenanteil wellig; Farbe: röt. braun; Grus Anteil nach unten zunehmend; Grus: gelbbraun, tw. stark verwittert; Untergrenze scharf (Carbonatgehalt); Risse; nach unten mehr Subpolyedergefüge; Grobboden teilweise stark verwittert; keine Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden; Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Hauptlage.	190-5	48-65
			190-6	65-90
			190-7	90-112
			190-5B	43-53
60-100	III fBt	Farbe: 7,5 YR 4/6 bis 5/6; Krümelgefüge (Regenwürmer), Subpolyeder- bis Polyedergefüge, teilweise Kittgefüge; große Makroporen (bis 2 cm Durchmesser); Ameisenkolonie; Grobbodenanteil 25 %; teilweise Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Feinboden c0 bis c4, Carbonat diffus verteilt; Feinboden an der Unterseite von Grobboden mit verkittet; Feinboden locker gelagert, ebenso Grobboden leicht heraushebelbar; Feinboden verbraunt; wf5 wg3; Sekundärcarbonatkonkretionen teilweise bis 3 mm Durchmesser im Feinboden (in Grobporen ausgefällt); Feinboden stark verwittert, insitu unklar wegen Ameisen; viele Mittel- und Grobporen; Untergrenze scharf und wellig (wegen Grobboden); Toncutane (gering ausgeprägt); schwach schluffiger und feinsandiger Ton.	190-8	112-135
			190-9	135-163
			190-7B	60-70
			190-8B	70-80
100-140	IV fBt+Cv/Cc	Grobbodenanteil 50 %, Till, bodengenesisch wie darüber	190-9B	80-90
			190-10B	90-100
			190-11B	100-120
			190-12B	120-140
140-220+	IV elCc	Farbe: 10 YR 4/4; Grobboden wie darüber; Feinboden min. c3; Primärcarbonat und möglw. Sekundärcarbonat; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; schwerer grabbar als darüber; w4 wg3; Feinboden und grobboden dichter OSL je A & B	190-10	163-180
			190-11	180-200
			190-1	36
			190-2	49
			190-4	73
			190-1DS	35
			190-2DS	82
		Dünnschliff		

**Anhang 87:** Profilbeschreibung Profil 191

<b>Profil: 29/9/191</b>				
<b>Datum:</b> 28.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Nördlich Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701437 4729630 Kulminationsbereich der Seitenmoräne oberhalb der Schutzhütte, 1270 m NN.				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich der Seitenmoräne, Seitenmoräne fällt etwa 20° Richtung Süd, Exposition Profil WNW.				
<b>Vegetation:</b> Niedrige Steineichen, Dornbüsche, Gräser.				
<b>Profilübersicht:</b> Anmerkung (14.7.2010): Hautlage?? Grobbodenanteil noch mal überprüfen und evtl. Feinboden beproben. Profil breiter machen!				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-2	Ahc	Farbe: 10 YR 5/4; Sekundärcarbonat, min c3; Krümelgefüge; Streureste; schwach bis mittel humos; Grobbodenanteil min. 10 %, grusigkiesig, v. a. Feingrus; wf2 wg2; scharfe Untergrenze; Feinboden: schwach sandig, stark tonig.	n. b.	n. b.
2-56	elCv	Farbe: 10YR 4/6, tw. Hellbraun; Feinboden wie darüber, c2, Sekundärcarbonat; Grobboden an Unterseite carbonatisiert (siehe Foto); Polyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 20 %, viel Feingrus, sonst Grus, Kies und wenige Steine; Wurmröhren viele Poren und Risse; Durchmesser der Aggregate ca. 2 bis 4 mm; Feinboden locker gelagert; weißes hydrophobes Pilzmycel; wf 5 wg 2; Feinboden verwittert, orange-braun.	n. b.	n. b.
56-60+	elCc	Farbe: 10 YR 5/4, tw. Graubraun; Grobbodenanteil ca. 60 %; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Feinboden min. c4 (eher Primär- als Sekundärcarbonat, Feinboden grau bis schwach braun); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; locker gelagert; Aggregate ca. 2 bis 3 mm; wf2 wg1; Feinboden wie darüber.	n. b.	n. b.

**Anhang 88:** Profilbeschreibung Profil 192

<b>Profil:</b> 29/9/192				
<b>Datum:</b> 29.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> NE von Villanua, Dolmen		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 1160 m NN, Weganschnitt beim Dolmen de Letranz, 30 T 703148 4729013</p>				
<p><b>Relief:</b> Konvex-gestreckte Hangverflachung Unterhang, 5°, Exposition 190°; Profil 10° nach rechts gekippt;</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Disteln und Gräser; Bedeckungsgrad ca. 80 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 65 cm aufgeschlossen; Lithologie: anstehendes Konglomerat (Sandstein/Kalkstein), oberflächlich verwittert =&gt; bedeckter Karst.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium oder Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-5	Ah	Farbe: 10 YR2/2; Feinboden carbonatfrei_; Grobbodenanteil < 5 %; Krümelgefüge; wg1 wf6; viele Poren; wegen Wurzelfilz schwer grabbar; Feinboden schluffig und feinsandig; unscharfe Untergrenze; Grobboden: Grus und Kies.	192-1	0-5
5-58	M oder Bv	Farbe: 7,5 YR 3/4; Holzkohlereste; Grobbodenanteil < 5; wf3 wg1; Wurzeln nehmen nach unten ab (wf1 wg0); wenig Poren; dicht gelagert wegen Ton; Grobboden teilweise verwittert; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; Feinboden c0; sehr scharfe Untergrenze; weißes Pilzmycel; verschiedene Kalksand- und Kalksteine; Grobboden Grus und Kies (durch Verwitterung rund); feinsandiger Schluff.	192-2 192-3	5-30 30-65
58-65+	II emC	Anstehender Kalksandstein/Kalkstein, nicht grabbar, bedeckte Verkarstung.	n. b.	n. b.

**Anhang 89:** Profilbeschreibung Profil 193

<b>Profil: 29/9/193</b>				
<b>Datum:</b> 29.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 703086 4728751 Nordöstlich von Villanua, nördlich von Eisenbahntunnel, 1100 m üM.				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt, Hangneigung etwa 5°, 10 m hinter Profil				
<b>Vegetation:</b> Waldrand, Kiefern, Buchs, Domstrauch und Gräser, Bedeckungsgrad etwa 95 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschlossen, Till etwa 2,5 m mächtig, Exposition SSE.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-2	Ah	Farbe: 10 YR 3/4; Feinboden c0; Ameisengänge; wf5 wg3; Krümelgefüge; Poren mittel bis viel; Risse; Grobbodenanteil ca. 5 % (Grus, Kies, wenige Steine); Untergrenze scharf, schwach humos; Streureste, schluffig-feinsandig; wegen Wurzeln dicht gelagert.	n. b.	n. b.
2-34	Bv	Farbe: 10 YR 3/3; Feinboden c0; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %, z. T. stark verwittert, (Grus und Kies); Kalksandsteine und Kalksteine, keine Einregelung erkennbar; Wurzelröhren; Wurmgänge; Polyeder- bis Subpolyederggefüge; wenig Poren; Holzkohlereste bis 20 cm unter GOK; Ameisengänge; Untergrenze unscharf; kein Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden (wie darüber); wegen Ton dicht gelagert; schluffig, feinsandiger Ton.	193-1 193-2	2-17 17-34
34-48	elCv	Feinboden mit Sekundärcarbonat, min. c2; Carbonat diffus im Horizont verteilt, nach unten zunehmend; sonst wie darüber; Grobboden an Unterseite tw. carbonatisiert; scharfe Untergrenze; Holzkohlen bei 43 cm unter GOK.	193-3	34-48
48-90+	II elCck	Farbe: graubraun (feucht), weißgrau (trocken); mit Hammer schwer grabbar; Feinboden komplett mit Sekundärcarbonat konkretioniert; vollständige Verkittung; Grobboden ganzseitig carbonatisiert; Grobbodenanteil ca. 35 %; Kalksandsteine und Kalksteine, Grus bis kantige Steine; Kittgefüge; wenig bis mittel Poren; Grobboden z. T. verwittert.	193-4	48-60

**Anhang 90:** Profilbeschreibung Profil 194

<b>Profil: 29/9/194</b>				
<b>Datum:</b> 31.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> 30 T 701081 4729301		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b>                  Nordwestlich von Villanua, Osthang westlich der äußersten Seitenmoräne; Profil im Boden unterhalb von Mauer, 7 m unterhalb von Profil weitere Mauer. Exposition 90°. 1206 m ü M.</p>				
<p><b>Relief:</b>                  Unterhang, gestreckt-gestreckt, 20° geneigt; östlich hinter Mauer: &lt; 10°; Mauer streicht N-S</p>				
<p><b>Vegetation:</b>                  Lichter Kiefernwald mit niedrigen Laubbäumen und Büschen, Gräser; Bedeckungsgrad &lt; 5 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b>                  Profil 140 cm aufgeschlossen, mit Bohrstock 60 cm erweitert; kein Ah ausgebildet; Lithologie: ksf, ksm (k-g) hauptsächlich k und kg; sa.                  Mauer: 140 cm hoch, auf der Westseite reicht das Kolluvium bis 20 cm unter Maueroberkante.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-140 (+60)	M	Farbe: 10 YR 4/3; direkt unter Mauer locker gelagert, darunter dichter durch Tongehalt; wg2 wf2 Feinboden carbonatfrei über gesamtes Profil; Feinboden: schluffig, feinsandig, schwach kiesig; Polyedergefüge; viele Poren; Wurzelgänge; Grobboden z. T. stark verwittert; viele Fein- und Mittelporen; Grobporen mittel; Grobbodenanteil <5 % (Grus, kantig bis kantengerundet); keine Carbonatisierung des Grobbodens; Holzkohlestückchen und -flitter nach unten in Anzahl und Größe zunehmend.	194-1	0-20
			194-2	20-40
			194-3	40-60
			194-4	60-80
			194-5	80-100
			194-6	100-120
			194-7	120-140
		DS 194	100	

**Anhang 91: Profilbeschreibung Profil 195**

<b>Profil: 29/9/195</b>				
<b>Datum:</b> 31.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 1213 m üM, 30 T 701118 4729292 Nordwestlich von Villanua, westlich der äußersten Seitenmoräne.</p> <p><b>Relief:</b> Unterhang, gestreckt-gestreckt, Hangneigung &lt; 10 °. Hang mit Profil fällt steil (45 bis 60 °) zu schmalen Bachbett.</p> <p><b>Vegetation:</b> Lichter Forst (parallel und eng gepflanzte Kiefer) mit Wiese, Gräser, Disteln, Brombeeren. Im Hang um das Profil keine Vegetation.</p> <p><b>Profilübersicht:</b> Profilunterkante ca. 400 cm unter GOK, Profil 140 cm aufgeschlossen. Kolluvium und Hauptlage im Übergangsbereich vermischt.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über gekappter Parabraunerde über Basislage				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
260-300	M	Farbe: 10 YR 4/3 bis 3/3 (feucht); Feinboden c0; nicht humos; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; w2 wg1; viele Poren; schluffiger Ton, feinsandig, schwach kiesig; Grobbodenanteil < 2%; Wurmrohren; Wurzelgänge; Grobboden teilweise stark verwittert; keine Carbonatisierung des Grobbodens; Lithologie: Kalksandsteine und Sandsteine; scharfe und wellige Untergrenze, taschenförmig (nach rechts unten, konkav).	195-1	0-40
300-377	II fBt°Cc	Farbe: 2,5 Y 5/3 bis 4/3; Toncutane (?) an Steinen und in Hohlräumen/Poren (siehe Foto); leicht feucht; Außenflächen der Aggregate zum Teil rotbraun, innen eher grau; Grob- und Feinboden locker gelagert; Sekundärcarbonat in Grobporen, Rissen und entlang von Wurzelgängen ausgefällt; schwach feinsandiger Ton; Polyedergefüge; Grobboden eher hangparallel eingeregelt, Fallwinkel 20 bis 40 °, aber auch verstellte Steine/Grus; Grobbodenanteil ca. 40%; Grus, kantige Steine, nur schwach kantengerundet; viele Risse und Poren (v. a. Hohlräume zwischen Grobboden); Sekundärcarbonat an der Unter- und Hangseite von Grobboden, Häufigkeit und Ausmaß nimmt nach unten zu; w1 wg2; Carbonatanteil im Feinboden nimmt von oben (c2 bis c3) nach unten zu (min. c4).	195-2 195-3	40-80 80-117
377-400+	III elCc	Farbe: 2,5 YR 4/4 bis 5/4; trockener als darüber; Grobboden: Grus (keine Steine wie darüber); Grobbodenanteil min. 50%; sehr wenig Feinboden; Horizont sehr ähnlich zu Profil 29/9/166; scharfe und wellige (wegen Grobboden) Obergrenze; Grobboden ganzseitig mit Sekundärcarbonat aber sehr intial ausgebildet, einzelne Punkte (1 mm) oder an Wurzelbahnen; grusiger, feinsandiger Ton, Feinboden grusiger als darüber; wenig Poren und Risse; sehr dicht gelagert; mit Hammer schwer grabbar; Grobboden plattig; hangparallel eingeregelt; w1 wg 1; Polyeder; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt. Dünnschliff	195-4  DS 195-1	117-140  66

**Anhang 92:** Profilbeschreibung Profil 196

<b>Profil: 29/9/196</b>				
<b>Datum:</b> 31.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 1180 m üM, 30 T 701140 4729262 Nordwestlich von Villanua, am Ufer des episodischen Wildbachs westlich der äußersten Seitenmoräne.</p>				
<p><b>Relief:</b> Unterhang, 45 °, gestreckt-gestreckt</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Büsche, Gräser</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen, gekappter Überhang, anthropogen induzierte Erosion des Hanges, gekapptes Profil. Unterer Teil des Basislagenkomplexes von Profil 195</p>				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtief e
		Farbe: graubraun; Feinboden min. c4; Lithologie: plattige, kantige Steine/Grus/Blöcke (kantig), Kalksandsteine aus Flysch, Kalksteine; mehrere Schichten mit mehr bzw. weniger Feinboden; Grobboden ganzseitig carbonatisiert (adrigé Überzüge); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; viele Poren; von der Seite mit Hammer grabbar.	n. b.	n. b.

**Anhang 93:** Profilbeschreibung Profil 197

<b>Profil: 29/9/197</b>				
<b>Datum:</b> 31.08.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> 1200 m üM, 30 T 701435 4729391 Nordwestlich von Villanua, ca. 20 m NE der Schutzhütte am Weg ins Tal nach Villanua.				
<b>Relief:</b> Innenhang der äußersten Seitenmoräne, fällt 30° in Richtung 120°; Fallwinkel der Schichten im Till 20°, Fallrichtung 240°.				
<b>Vegetation:</b>				
<b>Profilübersicht:</b> Diamiktischer Till, Lithologie: Kalksandsteine, Kalksteine, meist plattig aber auch gerundete und kantige Steine. Mit Sekundärcarbonat verkitteter Till, nur mit Meißel grabbar.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe

**Anhang 94:** Profilbeschreibung Profil 198

<b>Profil: 29/9/198</b>				
<b>Datum:</b> 01.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt am Hang		
<b>Lage:</b> 1137 m üM, 30 T 701522 4729269 Nördlich von Villanua am Innenhang der äußeren Seitenmoräne.				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt, 30°; Exposition 100°				
<b>Vegetation:</b> Lichter niedriger Steineichenwald mit vereinzelt Kiefern, Dornbusch, Buchs und Gräsern. Bedeckungsgrad 100 %				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschlossen; starke Niederschläge in der vorherigen Nacht; Till am Hang; Lithologie: Kalksteine, Sandsteine, Mergel; Till diamiktisch: Grus, Kies, Steine (kantig bis stark gerundet). Deckschicht über Till? => siehe Einregelung!				
<b>Bodentyp:</b> Till mit Hauptlage , Hauptlage (A1) teilweise anthropogen erodiert, Bt bleibt zurück, Sekundärcarbonat fällt nun in Bt aus (da geringmächtigeres Profil) => Tonverlagerung eher fossil, Sekundärcarbonatanreicherung rezent.				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-2	Ah	Farbe: 10 YR 4/3 bis 3/2; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Feinboden frei von Primärcarbonat aber Sekundärcarbonat (c1 bis c2); wf4 wg2; Grobbodenanteil <5 %; h1 bis h2; feinsandiger Schluff; viele Risse und Poren; scharfe und ebene Untergrenze	198-1	0-2
2-9	Al-Bv	Farbe: 7,5 YR 4/4 bis 3/4; grusiger stark toniger schwach feinsandiger Schluff; Poly- bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 %, kiesig und grusig, zum Teil stark verwittert; Feinboden frei von Primärcarbonat; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt (ca. 1 mm).	198-2	2-9
9-21	Bt+elCv	Farbe: 7,5 YR 4/6; grusig-kiesiger schwach feinsandiger Ton; Toncutane; Polyedergefüge; scharfe keil- bis taschenförmige Untergrenze; Wurmgänge und Wurzelröhren; Grobbodenanteil ca. 5 % (wie darüber); wf3 wg1; viele Poren (fein, mittel und grob); Aggregate 1 bis 3 mm; zum Teil stark verwitterter Grobboden	198-3	9-21
21-34	Il elCv	Farbe: 7,5 YR 5/6, im trockenen Zustand graubraun; Feinboden min. c4, Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Grobbodenanteil ca. 20 %, Grus, Kies und Steine; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Aggregate ca. 1 bis 3 mm; wf2 wg1; Feinboden: grusiger, schluffiger und feinsandiger Ton; geringe Tonverlagerung; Toncutane; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt; scharfe Untergrenze; viele Poren und Risse.	198-4	21-34
34-90+	Il elCkc	Farbe: 2,5 Y 5/4; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; viele Poren; Verwitterung des Feinbodens nimmt nach unten ab; Grobbodenanteil ca. 50 %: Grus, Kies, Steine (kantig bis stark gerundet); Feinboden wie darüber.	198-5	34-57
		DS-1 DS-2	198-6 DS198-1 DS198-2	57-90 13 64

## Anhang 95: Profilbeschreibung Profil 199

<b>Profil:</b> 29/9/199				
<b>Datum:</b> 01.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Sorripas/Senegüé		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> NNW vom Campingplatz UTM: 30 T 718376 4715463				
<b>Relief:</b> Unterhang, 20 ° gestreckt-gestreckt, Exposition Ost.				
<b>Vegetation:</b> Kiefernforst, hangparallel in Reihen gepflanzt, Baumabstände innerhalb der Reihe ca. 1 m, Reihenabstand zwischen 2 und 4 m; Buchs, Dornbusch, Gräser; Mosse; Bedeckungsgrad ca 70 bis 80 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 150 cm aufgeschlossen; anstehender Mergel ca. 160 cm unter GOK, vergesellschaftet mit saiger stehenden Flyschsandstein (siehe Foto: unten rechts) Lithologie: Mergel und Flyschsandstein; ungergletschertes Gebiet, hohe Niederschläge in der vorherigen Nacht; Profil in Runsensystem, Grabenrißes im Hang; Hang teilweise anthropogen terrassiert, Mauerreste, wahrscheinlich ehemalige Weidenutzung; Terrassen nur wenige Meter breit; Profil gekappt, mehrere Lagen aufgeschlossen; alle Untergrenzen im Profil sind scharf und nach links geneigt; Mergel bricht kantig.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina über Basislagenkomplex über anstehendem Flysch				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-1	eAh	Farbe: 2,5 Y 4/2 bis 4/3; (alternativ: sehr geringmächtiger Ah); möglicherweise gekappt, baumbewuchs sehr jung; baumdurchmesser 10 bis 20 cm; Humusgehalt gering; Krümelgefüge; Grobboden wie darunter; Streureste; sehr geringmächtig; schluffig, schwach feinsandig; Feinboden carbonathaltig => Primärcarbonat, Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; w4 wg1.	n. b.	n. b.
1-74	elCc	Farbe: 2,5 Y 3/3; Feinboden min. c4, Primärcarbonat; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden (Steinen), nach unten zunehmend; Polyedergefüge; Wurmrohren und Wurzelgänge; Sekundärcarbonat in den Poren; grusiger, feinsandiger schluffiger Ton; wenig Poren, Grobboden eher hangparallel eingeregelt ca. 20°; Lithologie: Flyschsandstein, plattig, Grus bis kantige Steine; w3 wg1; Grobbodenanteil ca. 15 % nach unten 20 %.	199-1 199-2 199-3	1-25 25-50 50-74
74-100	II elCc	Farbe: 2,5 Y 4/3; Grobbodenanteil ca. 15 % (weniger als darüber und darunter); Polyedergefüge; Feinboden min. c4 (Primärcarbonat) und sehr viel Sekundärcarbonat an den Aggregaten und in Poren und Rissen; ausgeprägte Poren; Adern ähnliche Kalkpseudomycele; Grobboden tendenziell hangparallel eingeregelt; w2 wg1; Porenanteil mittel; Grobboden plattige, grusig bis kiesige Steine; schwach feinsandiger Ton; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Steinen, sehr deutlich ausgeprägt. Krustenbildung des Kalkes an Grobboden in Verbindung mit Ton; Feinboden nur schwach verwittert.	199-4	74-100
100-150	III elCc	Farbe: 2,5 Y 5/4 bis 4/4; Grobbodenanteil >50 %, Grus, kantige Steine bis kantige Blöcke, hangparallel eingeregelt (10 bis 30°); Sekundärcarbonat wie darüber; Feinboden min. c4; Feinboden nur schwach verwittert; grusiger feinsandiger Ton; sehr dicht gelagert, wenig Poren; w1 wg1.	199-5	100-150
150-164	IV elCc	Farbe: 2,5 Y 5/3 bis 5/4; Übergangsbereich zum darunter anstehenden Mergel; Polyedergefüge; Grobbodenanteil des Sandsteins nimmt deutlich bis auf 0 % ab; Lithologie: Sandsteine, gelb verwitternde Schluffsteine; Grobboden teilweise hangparallel eingeregelt; Feinboden wie darüber; mehr Poren als darüber (wenig bis mittel).	199-6	150-164
164-189	IV elCc	Farbe: wie darüber, verwitterter Mergel; Feinboden mit Sekundärcarbonat in Rissen und Poren (adrig durchzogen); Porenanteil mittel; Feinboden wie darüber; Feinboden min c4, Primärcarbonat; frei von Grobboden; Ausgangsgestein: Mergel; Polyedergefüge.	199-7	164-189
189-210+	IV emCc	Farbe: 2,5 Y 4/2 bis 3/2; anstehender Mergel; Polyedergefüge aus Ausgangsgestein vererbt; Feinboden: Ton; saiger stehender Flyschsandstein; Feinboden min. c4 (Primärcarbonat); Sekundärcarbonat nur im oberen Bereich des Horizontes.	199-8	189-210

**Anhang 96:** Profilbeschreibung Profil 200

<b>Profil: 29/9/200</b>				
<b>Datum:</b> 02.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701898 4729646 Nördlich von Villanua, nahe Bunker, 1133 m NN.				
<b>Relief:</b> Ca. 150 bis 200 m breite Verebnung im Hang				
<b>Vegetation:</b> Dornbusch, kleine Steineichen, Buchs, Gräser, Thymian; Bedeckungsgrad ca. 50 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 30 cm aufgeschlossen; Rundhöckerlandschaft (Roche moutonnées); kein till; anstehender Kalksandstein stark verkarstet (bedeckter Karst); Kalkstein vergesellschaftet mit Konglomeraten und Kalksandsteinen; keine Gletscherschrammen erhalten				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-12	M	Farbe: 7,5 YR 3/4 (eher röter); holzkohleflitter; Feinboden c0; kein Sekundärcarbonat; kein Grobboden; Feinboden: schluffig-sandig, kein Ton; Feinboden sehr loker gelagert; Krümel-, Subpolyeder- und Polyedergefüge; wf4 wg1; viele Grobporen wegen lockerer Lagerung.	n. b.	n. b.
12-30+	II meCc	Kalksandstein; bedeckter Karst; massiv, nicht grabbar; min c4; nur sehr schwach oberflächlich verwittert; Sekundärcarbonat teilweise an Außenseite ausgefällt.	n. b.	n. b.

**Anhang 97:** Profilbeschreibung Profil 201

<b>Profil:</b> 29/9/201				
<b>Datum:</b> 02.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701686 4729484, 1135 m üM Nördlich von Villanua am Wegrand zur Schutzhütte auf der Seitenmoräne.				
<b>Relief:</b> Mittelhang, gestreckt-gestreckt, 40° geneigt, Exposition 130°.				
<b>Vegetation:</b> Siehe Profil 202				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen; Till über Anstehendem (ca. 2 m unter GOK); Mauerreste obenauf, gravitativ verlagertes Till; Grobboden diamiktisch, Grus, Kies, Steine, Großblöcke, größtenteils kantig, nur wenige grundete, chaotisch gelagert; Feinboden frei von Primärcarbonat, aber sekundärcarbonathaltig (c1 bis c2); ab 100 cm unter GOK Feinboden min. c4 (Primär- und Sekundärcarbonat); Grobboden im Profil an Unterseite carbonatisiert, nimmt nach unten zu; Farbe 5 YR 4/6.				
<b>Bodentyp:</b> Kalkbraunerde oder Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-80	Bcv?	Polyedergefüge; Poren mittel bis viel; Insektenröhren; Grobboden cahotisch gelagert, schluffig, schwach tonig.		
80-95	II Bcv	Durch Hangsturz fossiler Bcv, Polyedergefüge.		
95-110	eCvc			

**Anhang 98: Profilbeschreibung Profil 202**

<b>Profil: 29/9/202</b>				
<b>Datum:</b> 02.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701714 4729475, 1110 m üM Nördlich von Villanua, am Weg zur Schutzhütte auf der Seitenmoräne.				
<b>Relief:</b> Mittelhang, konvex-konvex, 40° geneigt, Exposition 140° SE				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Buchs, vereinzelt Kiefern, Bedeckungsgrad 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 2 m aufgeschlossen				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über gravitativ verlagertem Schutt über fossiler Braunerde aus Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-5	Ach	Farbe: 7,5 YR 4/4 bis 4/6; Feinboden sekundärcarbonathaltig (c1 bics c2); sehr stark durchwurzelt w5 wg3; Krümelgefüge; sehr locker gelagert; Grobbodenanteil ca. 10 % (Grus und Kies); Grobboden an der Unterseite carbonatisiert; Feinboden: schwach toniger, schwach sandiger Schluff.	202-1 202-1B	0-5 0-5
5-20	Bcv	Farbe: 5 YR 4/4; Sekundärcarbonat (c1) im Feinboden; Polyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %; Holzkohlenreste; w3 wg2; Wurmrohren; Wurzelgänge; mittel bis viel Fein- und Mittelporen; Grobboden kiesig und grusig; lehmiger Ton.	202-2 202-2B	5-20 5-20
20-100	II xCc	Farbe: 7,5 YR 3/3; Feinboden frei von Primärcarbonat, Sekundärcarbonat im Feinboden (c1 bis c2), ca. 1 mm groß; Grobboden an der Unterseite mit Sekundärcarbonat, ca. 1 mm pockenartig über gesamte Unterseite von Grobboden ausgefällt; w2 wg1; Grobbodenanteil > 95 %; sehr viele Grobporen, Grobporen feinbodenfrei; Grobboden chaotisch gelagert; Lithologie: Kies und Grus, Steine kantig bis gerundet, Blöcke, Konglomerat (kalkhaltig), Kalksandsteine, Sandsteine, wenige stark verwitterte, nur oberflächlich angewittert, größtenteils schlagfest; Einzelkom- bis Subpolyedergefüge; Feinboden nimmt auf den unteren 10 cm des Horizontes zu, wahrscheinlich durch Poren und Risse nach unten durchgefallen; Untergrenze sehr scharf.	n. b.	n. b.
100-130	III fBv/Cc	Farbe: 7,5 YR 4/3; Feinboden c1-c2; Sekundärcarbonat in Poren (c1 bis c2); Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Poren mittel bis viel (Fein- und Mittelporen); Trockenrisse; Wurmrohren und Wurzelgänge; schwach schluffiger, schwach feinsandiger Ton; Untergrenze scharf und wellig (wegen Grobboden); w1 wg1; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Grobbodenanteil 15 bis 20 % (Kies, Grus, Steine, Blöcke, kantig bis gerundet; Holzkohlereste bei 100 und 110 cm unter GOK.	202-3 202-4 202-3B 202-4B	100-115 115-130 100-115 115-130
130-200+	IV elCkc	Farbe: 2,5 Y 4/4 bis 5/4; Grobboden ganzseitig carbonatisiert, sehr ausgeprägte Carbonatisierung an der Unterseite; Grobbodenanteil ca. 60-70 %, Grus (viel Fein- und Mittelgrus), Kies, Steine, Blöcke, kantig bis gerundet => Till; Ameisenröhren und Wurzelgänge; w4 wg1; Lithologie: Kalk- und Kalksandsteine; Polyeder- bis Kittgefüge; Feinboden z. T. mit Sekundärcarbonat verkittet; mehr Feingrus als darüber; dicht gelagert; stark grusiger Lehm.	202-5 202-6 202-7 202-5B 202-6B 202-7B	130-148 148-175 175-200 130-148 148-175 175-200
		Dünnschliff	DS202-1	123

Anhang 99: Profilbeschreibung Profil 203

<b>Profil: 29/9/203</b>				
<b>Datum:</b> 02.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701706 4729014 Nördlich Villanua, 1056 m NN				
<b>Relief:</b> Kulminationsbereich, Exposition Süd				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Buchs, Gräser, Dornbusch und Nedalbüümchen, Bedeckungsgrad 80 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 35 cm aufgeschlossen; Grundmoräne auf Rundhöckern: Lithologie: Kalksandstein und Konglomerate, erratische Blöcke obenauf (roter Schiefer, rotes Konglomerat => Till).				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina oder Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-30	Ach	Farbe: 5 YR 3/2; Feinboden sekundärcarbonathaltig (c1 bis c2); Krümelgefüge; sehr trocken; mittel bis viel humos; Streureste innerhalb der oberen 4 cm; wf5 wg1, nimmt mit Tiefe auf wf1 wg1 ab; Untergrenze scharf und wellig (wegen Anstehendem); Grobbodenanteil ca. 1 % (Kies und Grus); viele Poren; Klüfte, zum Teil feinbodenfrei; Feinboden: schluffig, schwach feinsandig.	203-1	0-30
30-35+	II meC	Anstehender Kalksandstein, in Klüften verwittert, lässt sich teilweise herausbrechen, oberflächlich nur schwach verwittert, Sekundärcarbonat in Klüften ausgefällt, bedeckter Karst.		

Anhang 100: Profilbeschreibung Profil 204

<b>Profil: 29/9/204</b>				
<b>Datum:</b> 03.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1093 m NN 30 T 701961 4726320				
<b>Relief:</b> Mittelhang, Weg ca. 16° geneigt, gestreckt-gestreckt, Markorelief sehr unruhig, Terrasierungen ober- und unterhalb.				
<b>Vegetation:</b> Kiefern, Dornbusch, Gäser, Bedeckungsgrad 30 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen, Till, Anstehendes nicht erreicht. Südlich von Villanua, Innenhang der östlichen Seitenmoräne.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-2	Ah	Farbe: 7,5 YR; Krümelgefüge; wf3 wg1; Feinboden carbonatfrei, kein Sekundärcarbonat; Ameisengänge; scharfe Untergrenze; Grobbodenanteil ca. 5 %; schwach toniger Schluff.	n. b.	n. b.
2-25	Bv+elCv	Farbe: 7,5 YR 4/4; stark schluffiger Ton; schwach ausgeprägte Toncutane an Grobboden und an Aggregaten; Makroporenanteil mittel; Polyedergefüge; Feinboden c0 - c1, kein Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %; Risse; wf3 wg1; Ameisengänge; Kies, Grus und wenige Steine (gerundet); Untergrenze scharf und wellig, parallel zur GOK (nach links geneigt).	204-1 204-2	2-12 12-25
25-40	elCc	Farbe: 10 YR 4/4, Farben: fleckig, darüber und darunter gemischt; Polyedergefüge; Poren wie darüber; Grobbodenanteil ca. 10 %; Verwitterung des Feinbodens von oben nach unten abnehmend; Untergrenze unscharf und zackig; Feinboden min. c4, Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt, Kalkkonkretionen < 1 mm, Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, Kalkpseudomycel; wf1 wg1; viele Risse; Makroporen; Grobboden teilweise stark verwittert, diamiktisch, Grus, Kies und Steine (kantig bis stark gerundet); zum Teil beginnende Verkittung des Feinbodens.	204-3	25-40
40-80+	elCkc	Farbe: 2,5 Y 5/3; Carbonatgehalt im Feinboden min. c4, Grobboden ganzseitig carbonatisiert, v. a. an der Unterseite; Porenanteil mittel; wf1 wg0; Feinboden wie darüber; Grobbodenanteil 10-20 %; Polyeder- bis Kittgefüge. Dünnschliff	204-4 Ds204-1	40-60 50

**Anhang 101:** Profilbeschreibung Profil 205

<b>Profil:</b> 29/9/205				
<b>Datum:</b> 05.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> Nördlich von Castiello de Jaca, Exposition N, 941 m üM, 30 T 700766 4723244</p>				
<p><b>Relief:</b> Oberhang direkt unterhalb des Kulminationsbereichs der Endmoräne; 10°, konvex-konvex.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Dornbusch, Gräser, Buchs (frühere Weidenutzung); Bedeckungsgrad 100 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 90 cm aufgeschlossen; Richtung Innenhang der Endmoräne.</p> <p>Überlegung (14.7.2010): Schichtwechsel im Profil?: Hauptlage auf Till?</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde bzw. Kalkbraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-6	Ah	Farbe: 10 YR 3/4; Feinboden c0, kein Sekundärcarbonat; Krümelgefüge; wf5 wg1; Grobbodenanteil ca. 5 %; Untergrenze scharf und eben; locker gelagert; viele Poren wegen Krümelgefüge; Feinboden: Schluff.	205-1	0-6
6-50	Bv	Farbe: 7,5 YR 3/3; Feinboden c0, kein Sekundärcarbonat; Polyedergefüge; Grobbodenanteil 5 bis 10 % (Kiese und Gruse, beide v. a. Fein- und Mittel); Porenanteil mittel; Grobboden nicht eingeregelt; wf4 wg2; Untergrenze diffus und gerade nach links kippt; Feinboden grusiger toniger Schluff.	205-2 205-3 205-4	6-20 20-35 35-50
50-60	Bcv	Farbe: 7,5 YR 3/4; schwach ausgeprägte Toncutane; Porenanteil mittel bis viel; Polyedergefüge; Grobboden zum Teil stark verwittert (Kies und Grus), Kalksandsteine und rote Schiefer; Holzkohleflitter; Sekundärcarbonat in Feinboden ausgefällt, kein Primärcarbonat; wf3 wg1; Untergrenze: scharf, gerade und nach links geneigt; grusger, schwach schluffiger Ton; Grobbodenanteil ca. 15 %; keine Einregelung erkennbar.	205-5	50-60
60-90+	eICc	Farbe: 7,5 YR 4/4 bis 4/5; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden ausgefällt; Grobbodenanteil ca. 20 %; viele Poren; Feinboden min. c4 Primär- und Sekundärcarbonat; Kalkpseudomycelien; Grobbode: Till, diamiktisch, mehr Grus als Kies, Steine und Blöcke; Lithologie: Sandsteine und Schiefer, Toncutane an Grobboden; dicht gelagert, schwer grabbar; Polyedergefüge; schluffiger Ton.	205-6 205-7	60-75 75-90

**Anhang 102: Profilbeschreibung Profil 206**

<b>Profil: 29/9/206</b>				
<b>Datum:</b> 05.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Straßenanschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 700772 4722731, 915 m üM Innerhalb der Ortschaft im Neubaugebiet				
<b>Relief:</b> Relief anthropogen gestört.				
<b>Vegetation:</b> Garten, 100 % Bedeckungsgrad.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 125 cm aufgeschlossen.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium oder Pararendzina in Basislage über gekappter Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-25	eAch	Farbe: 7.5 YR 3/2; Krümel bis Polyedergefüge; w4 wg1; Grobboden eher hangparallel eingeregelt; Feinboden c4 Primär- und Sekundärcarbonat, weißes Sekundärcarbonat an Profilwand ausgefällt; Grobboden plattig, Grus, an Unterseite carbonatisiert (Carbonatisierung auch im Kolluvium => kein eindeutiger Ausschlussgrund für Kolluvium); Grobbodenanteil 7 %, v. a. Flysch, kantig und plattig, wenig Kies; stark schluffiger Ton; Untergrenze scharf und eben; dichte Lagerung; Porenanteil variiert (wenig bis viel), Anzahl nimmt von oben nach unten ab.	206-1	0-13
			206-2	13-25
25-75	eMc	Farbe: 10 YR 3/4; Feinboden c3, Primär- und Sekundärcarbonat; Grus; plattige Steine, ebenfalls oberflächenparallel eingeregelt; Steine bis Großblöcke ebenfalls oberflächenparallel eingeregelt, Lithologie: Grus und plattige Steine: Flysch, Steine und Großblöcke: roter Kalksandstein (fein) und Konglomerat, Grobbodenanteil ca. 20 %; Tonscherben und Holzkohlen; Polyedergefüge; wenig Poren; locker gelagert; Feinboden wie darüber; w2 wg2; Untergrenze scharf und eben.	206-3	25-38
	eICc		206-4	38-50
			206-5	50-63
			206-6	63-75
75-125+	II fBv <sup>t</sup> Cc	Farbe: 5 YR 4/4-6; Polyedergefüge; Trockenrisse; Porenanteil mittel; Wurmrohren und Wurzelgänge; Toncutane an Grobporen und Aggregaten; w0 wg0; Grobbodenanteil 15 bis 20 %, v. a. Kiese und gerundete Steine, Lithologie: Kalksandsteine und Sandsteine, teilweise sehr stark verwittert; Feinboden frei von Primärcarbonat, wenig Sekundärcarbonat im Feinboden (kleine weiße Konkretionen, Durchmesser < 1 mm); Grobboden nicht eingeregelt; grusig, kiesiger Ton; relativ locker gelagert trotz des Tonanteils.	206-7	75-88
			206-8	88-100
			206-9	100-113
			206-10	113-125

Anhang 103: Profilbeschreibung Profil 207

<b>Profil: 29/9/207</b>				
<b>Datum:</b> 05.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Candanchú		<b>Aufschluß:</b> Aufschluss in Baugrube		
<p><b>Lage:</b> 30 T 704188 4741573 Nordwestlich von Candanchú auf dem Nordhang des La Raca, 2097 m NN.</p> <p><b>Relief:</b> Unterhang, 10° geneigt, gestreckt-konvex, Exposition 30° Nord.</p> <p><b>Vegetation:</b> Gräser, 100 % Bedeckungsgrad.</p> <p><b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen; Lithologie: Konglomerat, Brekzie (siehe Foto), weinroter Schiefer; Weidenutzung; Horizonte sehr kalt (Permafrost in der Tiefe?).</p>				
<b>Bodentyp:</b> Ranker				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-30	Ah	Feinboden auf den oberen 20 cm eher grau, ab 10 cm unter GOK rötlich, mit der Tiefe zunehmnd; wf5 wg0; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Boden sehr kalt; stark humos; Grobbodenanteil ca. 25 %, Blöcke, Steine, grusiger Quarz (Fein- bis Mittelgrus), grobe Sandsteine (Kalkstein-brekzie mit Calciteinlagerung => schwach kalkhaltig); Feinboden carbonatfrei, kein Sekundärcarbonat; locker gelagert wegen Gefüge; Untergrenze scharf und eben; viele Poren wegen Krümelgefüge.	207-1 207-2 207-3	0-10 10-20 20-30
30-50	Cv	Farbe: schwach rötlich-braun; Feinboden wie darüber; wf4 wg0; Grobbodenanteil ca. 25 %; grüner Schiefer, sonst wie darüber; Subpolyeder- bis Krümelgefüge; schwach humos; viele Poren wegen Gefüge; Grobboden keine Einregelung erkennbar; Feinboden c0; Untergrenze scharf und wellig; Grus, Steine, Blöcke, Grobboden wie darüber.	207-4 207-5	30-40 40-50
50-80	imCv	Roter Schiefer aus dem Anstehendem verwittert, Carbonatfrei, teilweise stark verwittert, Struktur noch erhalten, Eisenausfällungen durch Verwitterung => rostfleckig.	207-6	50-80

Anhang 104: Profilbeschreibung Profil 208

<b>Profil: 29/9/208</b>				
<b>Datum:</b> 09.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Sorripas		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718747 4715431, 827 m üM Profil nördlich von Campingplatz an Hangkante.				
<b>Relief:</b> Profil an Hangkante; Unterhang ca. 10° geneigt, kippt 12° nach Norden; gestreckt-konvex; Exposition Süd.				
<b>Vegetation:</b> Oberhalb Profil: Kiefernforst (parallel gepflanzt), Gräser, Buchs, Dornbusch, Steineichen, Bedeckungsgrad ca. 30 %; Unterhalb Profil: Weide/Grünland.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm aufgeschlosse; Lithologie: Kalkstein und Kalksandstein aus Flysch, autochthon bzw. paraautochthon keine Erratika.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina aus Kolluvium über Basislagenkomplex				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-2	eAh	Farbe: 2,5 Y 3/3; Horizont nicht durchgehend ausgeprägt und lückenhaft; schwach humos; Streureste; wf4 wg1 (je nach Vegetationsbedeckung); Feinboden min. c4 (Primärcarbonat); Grobbodenanteil < 5 %; locker gelagert; viele Poren und Risse; feingrusiger schwach feinsandiger toniger Schluff.	n. b.	n. b.
2-23	eM oder eCv	Farbe: 2,5 Y 4/3; schwach humos; Grobbodenanteil ca. 5 % (Grus); Wurmröhren; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Grobboden chaotisch gelagert, z. T. hangparallel; mittel bis viel Poren; wf3 wg1; keine Carbonatisierung an der Unterseite von Grobboden; Untergrenze scharf und Oberflächenparallel (nach rechts geneigt); grusiger feinsandiger stark toniger Schluff.	208-1 208-2	2-12 12-23
23-30	II eICc	möglicherweise Übergangshorizont: Feinboden wie darüber, Grobboden wie darunter (Art); Grobboden eher chaotisch gelagert (Frosthub).	208-3	23-30
30-90	II eICc	Farbe: 2,5 Y 4/3; hoher Grobbodenanteil min. 50 %, ausschließlich Grus, tw. kantengerundet durch Verwitterung; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, teilweise in Grobporen ausgefällt; Grobboden hangparallel eingeregelt (dazwischen chaotisch gelagerter Grobboden); wenig Poren; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; wf1 wg0; Feinboden wie darüber; Feinboden min. c4; vermutlich Basislage.	208-4	30-90
90-160+	III eICn	Farbe: 2,5 Y 4/2; Grobbodenanteil min. 50 % (Grus, Steine, Blöcke), eher hangparallel eingeregelt; wf3 wg1; Ameisengänge; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Porenanteil mittel; Grobboden an Unterseite tw. Carbonatisiert; Feinboden: grusiger, sandig-schluffiger Ton.	208-5	90-160

**Anhang 105:** Profilbeschreibung Profil 209

<b>Profil:</b> 29/9/209				
<b>Datum:</b> 09.09.2009		<b>Bearbeiter:</b> R. Endler, F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Sorripas		<b>Aufschluß:</b> Hanganschnitt in Rinne		
<p><b>Lage:</b> 30 T 718621 4715130, 815 m üM          Profil an der Zufahrtsstraße zum Campingplatz</p>				
<p><b>Relief:</b>          Hangneigung ca. 10°, schwach konvex-konex; Exposition Süd.</p>				
<p><b>Vegetation:</b>          Grünland/Wiese, Bedeckungsgrad um das Profil auf Grund von Erosion und Trockenheit 0 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b>          Profil 100 cm aufgeschlossen, grusiger Schutt obenauf, Kalksandstein und Kalkstein aus Flysch.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-100	eMc	Farbe: 2,5 Y 5/4; feinsandiger schluffiger Ton; Sekundärcarbonat in Poren ausgefällt; Kalkpseudomycel; Grobboden bildet geringmächtige (ca. 2 cm) Schichten, v. a. Grus, kaum Kies; keine Wurzeln; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; einzelne Steine (siehe Profilaufnahme) an Unterseite mit Sekundärcarbonat; Grobbodenanteil < 5 %; viele/sehr viele Poren; Wurmgänge und Trockenrisse; Feinboden min. c4 (Primär und teilweise Sekundärcarbonat); Schneckengehäuse.	n. b.	n. b.

**Anhang 106:** Profilbeschreibung Profil 210

<b>Profil:</b> 29/9/210				
<b>Datum:</b> 30.08.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Peña		<b>Aufschluß:</b> Aufschluß in Schottergrube		
<b>Lage:</b> Terrassenprofil, ca. 555 m üM 30 T 690719 4694283				
<b>Relief:</b> Gestreckt-gestreckt, 0°				
<b>Vegetation:</b> Buchsbaum (bis 3 m), Dorneichen und Gräser.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil ca. 5 m aufgeschlossen; Steinmauer aus fluvialen Steinen direkt hinter Profil, grobbodenarme hangende Schicht über (glazi-?)fluvialen Schotter, Anstehendes nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde über Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-2	Ah	Farbe: gräulich rotbraun; geringmächtiger Ah; Subpolyeder- bis Krümelgefüge; c0; Steine obenauf; schwach humos.	210-1	0-2
2-52	Al-Bv	Koharantgefüge (Kolluvium?); sehr fest da sehr trocken; heller als darunter; c0; Porenanteil mittel (Grob- und Mittelporen); viele Grobwurzeln, Feinwurzeln mittel; Grobbodenanteil ca. 5 %, Sandstein und vergruster Granit, v. a. Mittelgrus und Kies (fein bis mittel); deutliche Untergrenze, Holzkohlefitter.	210-2 210-3 210-4 210-5 210-6	2-12 12-22 22-32 32-42 42-52
52-68	II Bvt	wenig Grobbodem, ca. 5 %; locker, gut grabbar; c0; Toncutane, auch an Grobboden; Grobboden: wenig Feinkies und Feingrus; Subpolyedergefüge; Wurzelgänge, kleine Wurmrohren; viele Mittelporen; Untergrenze scharf und wellig.	210-7 210-8	52-60 60-68
68-84	III Bvt	Grobbodenanteil min. 60 %, Schotter, Lithologie: divers (Granit, Kalkstein...); Feinboden c0; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Tonhätchen auf Grobboden, ganzseitig; Granit zu Grus verwittert; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; viele Poren (v. a. Mittelporen); viele Wurzeln (mehr als darüber); Untergrenze scharf und wellig; Feinboden locker gelagert.	210-9	68-84
84-120	III elCv	heller als darüber; Grobbodeanteil wie darüber; Feinboden: locker gelagert; viele Poren; Subpolyedergefüge.	210-10	84-120
120-500+	III elCck	Schotter: Kies, Steine und Blöcke; Granit zu Grus verwittert; geringer Feinbodeanteil; sehr wenig Wurzeln (nur in Spalten); Fein- und Grobboden verkittet.		
		DS 210-1	DS210-1	40
		OSL		
		210-1 A und B	210-1	40
		210-2 A und B	210-2	55

**Anhang 107: Profilbeschreibung Profil 211**

<b>Profil: 29/9/211</b>				
<b>Datum:</b> 30.08.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b>		<b>Aufschluß:</b> Profil an Hangkante		
<p><b>Lage:</b> 30 T 701205 4729008 Außenhang der Seitenmoräne westlich von Villanúa, 1215 m NN.</p>				
<p><b>Relief:</b> Expositon 280°, Hang oberhalb von Profil ca. 20° geneigt schwach konvex-gestreckt,</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Buchs, Dornbusch, Gräser, Preiselbeeren, kleine Hartlaubbüsche oberhalb.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen</p>				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde oder Phänoparabraunerde (Kolluvium über gekappten Bt)				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-2	Alh	Farbe: 10 YR 6/4 (trocken) graubeige; sehr geringmächtig; Streureste; Krümel- bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 %, Fein- bis Mittel- -Grus-/Kies, schwach humos; viele Poren und Röhren; w5 wg3; Feinboden c0.	211-1	0-2
2-12	Al-Bv (oder M?)	Farbe: beigebraun 10 YR 5/4 bis 4/4 (trocken), 10 YR 3/3 (feucht); Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %, Kes (f, m und g); Wurmrohren, viele Poren; Subpolyeder - bis Polyedergefüge; Holzkohlen; w3 wg1; Feinboden toniger Schluff, c0; Untergrenze deutlich und wellig.	211-2	2-12
12-38	Bt	Farbe: 5 YR 4/4 (trocken), 7,5 YR 4/4 (feucht), deutlich röter als darüber; Grobbodenanteil ca. 20 %, nimmt nach unten zu, v. a. Kies, tw. stark verwittert, Lithologie: verschiedene Sandsteine; Polyedergefüge; schwach schluffiger Ton; c0; w3; viele Risse, v. a. Trockenrisse; viele Mittelporen; Wurmrohren; Toncutane, auch an Grobboden; Untergrenze: wellig, bei Carbonatanteil scharf, bei Farbe diffus.	211-3 211-4	12-25 25-38
38-60	II Bt+eIcV	Farbe: variiert je nach Tongehalt, Mischung aus darunter und darüber; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; Ton von darüber eingetragen; Tonanteil (und Farbe) nimmt nach unten zu, nach unten Ton fleckig verteilt; Grobbodenanteil >50 %, viel Feingrus, aber auch Mittel- und Grobgrus, Kiese und Steine; Toncutane an Grobboden, tw. Sekundärcarbonat an Grobboden (US und HS) ausgefällt; viele Grob- und Mittelporen; w3 wg1; UG wellig bis zapfenförmig, deutlich bis scharf; Feinboden c2 (oben) bis c4 (unten).	211-5 211-6	38-50 50-60
60-100+	II eIcKc	Farbe: 10 YR 7/3 bis 7/4; Grobbodenanteil > 50 %, Kies, Grus und Steine; sehr fest gelagert, schwergrabbar; beginnende Verkittung des Feinbodens mit Sekundärcarbonat; Feinboden min. c4; Einzelkorn- bis Kittgefüge; Carbonatisierung des Grobbodens ganzseitig, US und HS am deutlichsten ausgeprägt; w1 wg0; viele Poren und Gänge.	n.b.	n.b.

**Anhang 108:** Profilbeschreibung Profil 212

<b>Profil: 29/9/212</b>				
<b>Datum:</b> 31.08.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Villar		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701749 4729552 Westliche Seitenmoräne bei Villanua 1122 m NN				
<b>Relief:</b> Hangneigung ca. 16°, gestreckt-gestreckt.				
<b>Vegetation:</b> Steineichen, Hartlaubgewächse, Dornbusch, Buchs, Gräser.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 165 cm aufgeschlossen.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde-Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe
0-4	Alh	Farbe: 7,5 YR 3/2; Krümelgefüge; wf4 wg0; Streureste; Wurmrohren, viele Poren und Risse; Grobbodenanteil 5 bis 10 %; Kies und Grus, schwach humos.	212-1	0-4
4-21	Al-Bv oder M	Farbe: 7,5 YR 4/4; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %; Kies und Grus; feinsandiger, toniger Schluff; wf4 wg1; weißes trockenes Pilzmycel, v. a. an Pflanzenwurzeln; Subpolyedergefüge, bröckelig; schwach humos; scharfe Untergrenze, nach links gekippt.	212-3	4-21
21-130	II Btv	Farbe: 5 YR 4/6 (Farbe bei 30 cm); grusiger, feinsandiger, schluffiger Ton, Tonanteil nimmt nach unten zu; Grobbodenanteil ca. 25 bis 30 %; Toncutane (?) an Aggregaten und Grobboden; Mittelporen: wenig bis mittel; Polyedergefüge; wf3 wg2; Wurmrohren und Wurzelgänge; Grobboden: Kies und Grus, kanitge Steine, tw. stark verwittert, chaotisch gelagert, Till (diamiktisch), Blöcke neben Profil, Lithologie: Sandsteine, Kalksandsteine.	212-4 212-5 212-6 212-7 212-8 212-9 212-10	21-35 35-50 50-65 65-80 80-95 95-110 110-130
130-160+	II elCv	Farbe: 10 YR 4/4 (Feinboden grau-braun fleckig, Flecken möglicherweise wegen Toneintrag; graue Flecken bei höheren Carbongehalt; Maskierung?); Grobbodenanteil ca. 50 %; im oberen Bereich Feinboden ca. c1 bis c2, ab 150 cm min c4; wf2 wg2; Grobboden: Kies und viel Grus, Steine, tw. Stark verwittert; chaotisch gelagert, nach unten Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; im oberen Bereich geringe Verbraunung; Carbonatisierung des Grobbodens nach unten ganzseitig.  Probe 212-2 gibt's nicht (Beschriftungsfehler...)	212-11	130-160

Anhang 109: Profilbeschreibung Profil 213

<b>Profil: 29/9/213</b>				
<b>Datum:</b> 01.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 701219 4729765 1221 m NN, Periglazialbereich westlich der Seitenmoräne.				
<b>Relief:</b> Makrorelief oberhalb von Profil unruhig, Unterhang, ca. 20 bis 25° geneigt.				
<b>Vegetation:</b> Verbuschter Nadelwald (Stammdurchmesser bis ca. 50 cm), Haselnuss, Vogelbeerbaum, Buchs, Hartlaubgewächse.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 150 cm aufgeschlossen.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Kolluvium über gekapptem Bt über anstehendem Sandstein (c0)				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-5	Ah	Farbe: 7,5 YR 4/3; c0; Krümelgefüge; Streureste; deutliche Untergrenze; Grobbodenanteil ca. 5 %, Kies und Steine; viele Ameisen und Gänge; Würmröhren; locker gelagert; wf3 wg3; viele Grop- und Mittelporen; Feinboden: sandiger Schluff.	213-1	0-5
5-30	M	Farbe: 7,5 YR 3/3; c0; scharfe, wellige, zapfenförmige Untergrenze, leicht nach rechts gekippt; wf4 wg1; locker gelagert; viele Poren und Risse; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; tw. Streureste; Holzkohlen; Wurmgänge; Wurzelröhren; Grobboden 5 bis 10 %, stark verwitterter Sandstein, Grobboden: Kies, Grus und Steine.	213-2	5-15
			213-3	15-30
30-80	II M(?)	Farbe: 5 YR 3/1 bis 3/2; scharfe Untergrenze, nach rechts gekippt; c0; Feinboden wie darüber (etwas weniger Ton); fester gelagert als darüber, bröckelig; Subpolyeder- bis Polyedergefüge; Toncutane (wenig); viele Poren (mittel bis grob); wf1 wg1; Grobbodenanteil max. 5 %, weniger als darüber, Grus, Kies, Steine, stark verwittert; Wurmgänge, Wurzelröhren.	213-4	30-40
			213-5	40-50
			213-6	50-60
			213-7	60-70
80-130	III Btv	Farbe: 7,5 YR 4/4(weniger tonige Bereiche) -3/4 (tonigere Bereiche); grusiger, feinsandiger, toniger Schluff; deutliche Toncutane; c0; Subpolyeder bis Polyedergefüge; sehr viele Poren (Grob- und Mittel-); Grobbodeanteil ca. 25 %, Grus (k-kg, g durch Verwitterung), Sandstein stark verwittert; wf2 wg1.	213-9	80-105
			213-10	105-130
130-140	Cvt	stärker verwittert als darunter; Lehm; Toncutane, Basislage??; Grobboden tw. verstellt; Grobbodenanteil ca. 40 bis 50 %.	213-11	130-140
140+	IV Cv	Anstehender Sandstein, stark verwittert; c0(I); Abschuppung des angewitterten Grobbodens vom Anstehenden.	213-12	140-150

**Anhang 110: Profilbeschreibung Profil 214**

<b>Profil: 29/9/214</b>				
<b>Datum:</b> 03.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1215 m üM, 30 T 717352 4718994				
<b>Relief:</b> Exposition 320°, Hangneigung ca. 18°, Weg 7° bis 9°; Hang: gestreckt-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Dichter Kiefernwald (30 bis 40 cm Durchmesser); Buchssträucher				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 140 cm aufgeschlossen; Aufschluß außerhalb der maximalen Vergletscherung; Terrassierungen um das Profil; starke Niederschläge in der vorigen Nacht, Profil feucht; Relief oberhalb des Profils wegen dichter Vegetation nicht klar ersichtlich.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-8	Ah	Farbe: 10 YR 3/3 (oben), 10 YR 3/2-4/4 (unten), von oben nach unten heller; Feinboden c2 bis c3, nimmt nach unten zu; Streureste; Krümel- bis Polyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 %, Flysch (Sandstein-Kalkstein), Grus; Grobboden oberflächenparallel eingeregelt; wf3 wg2; viele Grobporen, wenig Mittelporen; viele Risse (Schrumpfrisse); Wurzelgänge und Wurmrohren; h2 bis h3; Holzkohleflitter bei 18 cm unter GOK.	214-1	0-8
8-30	M		214-2	8-16
			214-3	16-30
30-44	II fBvSw-Cv	Farbe: 10 YR 4/4, farblich homogen; Feinboden c0 bis c4; Grobbodenanteil <5% (deutlich weniger als darüber); wf2 wg1; ausgeprägtes Polyedergefüge, Kantenlänge der Aggregate 5 bis 10 mm; Toncutane (Stresscutane?); Grobboden eher oberflächenparallel eingeregelt; Feinboden: sehr tonig; Grobboden: Grus, stark verwittert; Risse; Wurmgänge; Wurzelrohren; viele Makroporen; trockener als darunter.	214-4	30-44
44-80	III fCvSw-Cv	Farbe: 10 YR 4/4; Grobboden eher chatosich eingeregelt; Grobbodenanteil ca. 15 %, Grus, plattige Steine; viele Grobporen, wenig Mittelporen; deutliche Toncutane (Stress?); Wurmrohren und Wurzelgänge; Grobboden weniger stark verwittert als darüber; sehr tonig; Grobboden tw. mit Toncutanen; Mittellage oder Basislage; wf2 wg1.	214-5	44-62
			214-6	62-80
80-140	III Sd-elC	Farbe: 10 YR 4/4, 2,5 Y 4/4 bis 5/2, oben eher braun marmoriert, nach unten grau marmoriert; Toncutane (sehr wenig, nach unten gar keine mehr); Grobbodenanteil ca. 15 bis 20 %; mehr Feingrus als darüber, Grus, kantige Steine, schwach hangparallel eingeregelt; Polyedergefüge; dichter gelagert als darüber; sehr wenig Mittelporen, Grobporenanteil mittel (weniger als darüber); wenige Risse; Regenwürmer; Feinboden min. c4; wf1 wg1.	214-7	80-110
			214-8	110-140
		Dünnschliff (Stechrahmen)	DS214-1	27

**Anhang 111: Profilbeschreibung Profil 215**

<b>Profil: 29/9/215</b>				
<b>Datum:</b> 03.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Escuer Alto		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1186 m üM 30 T 717470 4719247				
<b>Relief:</b> Hang: gestreckt-konvex; unruhiges Makrorelief; Terrassierungen; Hangneigung ca. 15 bis 20° oberhalb von Profil; Exposition 310°; Hang fällt in Richtung 310°.				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald, Buchs, Dornbusch.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 65 cm aufgeschlossen; Till; Bäume auf ca. 20 cm hohen Podest, Hinweise auf Kappung des Profils.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-7	Ah	Farbe: 10 YR 4/4 (orangener als darunter); Horizont im linken drittel des Aufschlusses stark erodiert; Streureste; Krümel- bis Subpolyedergefüge, tw. Polyedergefüge (v. a. im Bereich der Untergrenze); viele Makroporen; Grobbodenanteil < 5 %, Grus, z. T. stark verwittert; Feinboden c0 bis c1; wf2 wg1; Holzkohleflitter; grusiger, feinsandiger, schluffiger Ton; scharfe Untergrenze.	215-1	0-7
7-18 18-28	Bv+elCv	Farbe: 10 YR 4/3; Feinboden tw. Carbonathaltig; oben c0, nimmt nach unten auf c2 bis c3 zu; Toncutane (?) an Aggregaten und an der Oberseite von Grobboden; Polyedergefüge; harte Aggregate; grusiger, feinsandiger Ton; diamiktisch; Grobbodenanteil ca. 15 bis 20 %, Grus, Kies, Steine (Lithologie: vergruster Granit, Kalkstein, Sandstein); Risse, Röhren (Wurm und Wurzel); wenige Mittel- und Grobporen; wf2 wg2; deutlich weniger Feingrus als darunter; scharfe Untergrenze.	215-2 215-3	7-18 18-28
28-39 39-50	elCv	Farbe: 10 YR 4/4 und 4/6; Feinboden c4; Sekundär- und Primärcarbonat; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden; tw. Toncutane an Grobboden und an Aggregaten; Grobbodenanteil ca. 20 bis 25 %; mehr Grus (v. a. Feingrus) als darüber, Kies, Grus und Steine, eher chaotisch gelagert; geringe Verbraunung und geringer Toneintrag von darüber, Verbraunung und Toneintrag nehmen nach unten ab => Marmorierung; Polyeder- (v. a. oben) bis Subpolyedergefüge; Aggregate sehr fest; wf1 wg1; Pilzmycel; zapfenförmige und deutliche Untergrenze; Risse; wenig Mittel- und Grobporen; Wurmrohren und Wurzelgänge; Feinboden: mehr Feingrus, weniger Ton als darüber, schluffig.	215-4 215-5	28-39 39-50
50-65+	elCc	Farbe: 2,5 Y 5/4 und 6/4; Till; wf1 wg1; Fein- und Grobboden wie darüber; Sekundärcarbonat an der Unterseite und Hangseite von Grobboden; feingrusiger, feinsandiger, schluffiger Ton, aber kein Toneintrag; Pilzmycel; Aggregate sehr bröckelig; Subpolyeder bis initiales Kittgefüge (Carbonat).	215-6	50-65

Anhang 112: Profilbeschreibung Profil 216

<b>Profil: 29/9/216</b>				
<b>Datum:</b> 08.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Aratores		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 1100 m üM 30 T 699469 4724633				
<b>Relief:</b> Hang ca. 8° geneigt; gestreckt-konvex; sehr unruhiges Makrorelief, starke Runsenerosion.				
<b>Vegetation:</b> Ca. 3 m hohe Kiefern, Buchs, Gräser, Dornbusch.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 105 cm aufgeschlossen; Kolluvium(?) über anstehendem Flysch/Mergel; Profil außerhalb der maximalen Vergletscherung; Hang stark erodiert; anstehender Flysch und Flyschschutt in Runsen; Holzkohlen über das ganze Profil.				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Pararendzina oder Kolluvium über Flysch				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-40	eAh/Bv-elCv oder eMc	Farbe: 10 YR 4/4 - 4/3; Poyledergefüge, oben eher Krümelgefüge; w4 wg2; wurmröhren und Wurzelgänge; Trockenrisse; wenig Poren; Aggregate sehr bröckelig; Grobbodenanteil < 5 %, v. a. Grus; c1 bis c2; Feinboden: grusiger Ton; Holzkohlen nehmen in Anzahl nach unten zu.	216-1	0-20
			216-2	20-40
			216-3	40-60
40-105+	elCc	Farbe: 10 YR 4/4; deutliche (rezente) Kalkpseudomycelien; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; Polyeder- Koharäntgefüge; sehr feste Aggregate; Verbraunung und Verlehmung durch Sekundärcarbonat maskiert; viele Holzkohlen; Grobbodenanteil 5 bis 10 %; schwer grabbar wegen hohen Tonanteil; feinsandiger Ton; min. c4.	216-4	60-80
			216-5	80-105
			DS 216-1 und 216-2	18
			OSL	55
			216-1	85

**Anhang 113: Profilbeschreibung Profil 217**

<b>Profil: 29/9/217</b>				
<b>Datum:</b> 08.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Villanua		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> Westlich von Villanua am Osthang 30 T 700330 4729488, 1550 m üM				
<b>Relief:</b> Gestreckt-konvex, Mittelhang, welliges Makrorelief, Hang fällt NO ca. 50°, Hangneigung ca. 26°				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald, Gräser, Dornbusch, Hagebutten, Forstnutzung.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil ca. 100 cm aufgeschlossen; starke Niederschläge in der Nacht vor Aufnahme, Boden auf den oberen 7 cm feucht.				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-4	Ah	Farbe: 10 YR 4/4; Krümelgefüge; locker gelagert; rechts tw. Erodieret; schwach humos; wf 2 wg1; Streureste; sehr schluffig und feinsandig; Grobbodenanteil < 2 %.	217-1	0-4
4-20	Al-Bv	Farbe: 10 YR 4/4 bis 5/4 (ähnlich darüber); c0;	217-2	4-10
20-39	Bvt	Wurmröhren und Wurzelgänge; mittel bis viel Mittel- und Grobporen; trockenrise; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Grobbodenanteil < 2 % (sehr gering); Grobboden verwitterter Sandstein; scharfe Schichtuntergrenze, Horizontgrenze scharf, feinsandiger, schluffiger Ton; wf3 wg1.	217-3 217-4 217-5	10-20 20-30 30-39
39-60	Bt+elCv	Farbe: 2,5 Y 3/3 und 10 YR 4/3 bis 4/4; c0 bis c1 (Carbonatgehalt nur sehr schwach ausgeprägt); Trockenrisse; Polyedergefüge; Wumgänge; Wurzelröhren; Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Reste von Sekundärcarbonat (schmutzig) an der Unterseite und Hangseite von Grobboden; scharfe Obergrenze; weniger Poren als darüber (wenig bis mittel Grob- und Feinporen); wf3 wg1; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %; Grus bis kantige Steine (Flysch-Kalk(sand)stein); Schichtuntergrenze scharf, Horizontuntergrenze deutlich, zapfenförmig; greift in C über; Ton, grusig, feinsandig.	217-6 217-7	39-50 50-60
60-100+	Il elCv	Farbe: 2,5 Y 5/2; farbliche Marmorierung des Feinbodens; bräunliche ca. 3 mm breite Adem im olivbeigen Feinboden => Toneintrag; deutlich mehr Grobboden als darüber, > 30 %, plattige Steine und Grus (Flysch); Feinboden c3 bis c4, nach unten zunehmend; Toncutane (Eintrag von darüber); wenig bis mittel Poren (Mittel- und Grobporen); Kalkpseudomycel im Feinboden; Grobboden an Unterseite carbonatisiert; weniger Trockenrisse;	217-8 217-9	60-80 80-100

Anhang 114: Profilbeschreibung Profil 218

<b>Profil: 29/9/218</b>				
<b>Datum:</b> 11.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch		
<b>Ort:</b> Ribagorcana Tal		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<p><b>Lage:</b> 1714 m NN, Exposition WNW 31 T 316010 4712960</p>				
<p><b>Relief:</b> Kulminationsbereich Seitenmoräne, Relief: gestreckt-konvex.</p>				
<p><b>Vegetation:</b> Lichter Kiefernwald, Weide, Klee, Gräser; Bedeckungsgrad 100 %.</p>				
<p><b>Profilübersicht:</b> Profil 40 cm aufgeschlossen; Granitblöcke bis 5 m Durchmesser, unverwitterter Till, viel Granit und Grus im Profil. Granit an der Oberfläche teils verwittert, dort rostfleckig.</p>				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-27	Ah-Bv	Farbe: 2,5 Y 4/3 - 4/4 (trocken), 2,5 Y 3/3 (feucht); Krümelgefüge, sehr kleine Aggregate, eher Einzelkornggefüge; wf 3wg2; Grobbodenanteil 5 bis 10 %; Granit, Grus, Kies und Steine; Grobboden teilweise stark verwittert; Streureste, wenig Poren; Untergrenze: eben, deutlicher farblicher Übergang; Feinboden: grusiger, sandiger Schluff.	218-1 218-2	0-13 13-27
27-40	II Cv	Farbe: 5 Y 5/2 - 5/3 (trocken), 5 Y 4/2 (feucht); verwitterter Granit; c0; hoher Grobbodenanteil > 60 %; diamiktisch: Kies, Grus und Steine; schwer grabbar.	218-3	27-40
		Mischprobe unverwitterter Till (ca. 20 m südlich)	218-4	

Anhang 115: Profilbeschreibung Profil 219

<b>Profil: 29/9/219</b>				
<b>Datum:</b> 11.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Abay		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 761 m NN Exposition SE; Neigung ca. 0,5 - 1°; gestreckt-gestreckt. 30 T 695639 4715061				
<b>Relief:</b> Terrasse südlich von Abay				
<b>Vegetation:</b> -				
<b>Profilübersicht:</b> Profil auf 240 cm aufgenommen, Baugraube ca. 500 cm aufgeschlossen; Oberboden fehlt wegen Bauarbeiten.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-80	Cv	Farbe: 10 YR 4/2 - 4/4; Feinboden: grusiger feinsandiger Ton, in den oberen 40 cm mehr Feinsand als darunter; Koharantgefüge; Grobbodenanteil > 50 %, Kies, sg-g Steine, Lithologie verschieden, Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, Toncutane an Grobboden (Stresscutane wegen Koharantgefüge?), Oberfläche des Grobbodens sehr glatt/poliert; kaum Poren; Trockenrisse; Feinboden c1 - c2, nimmt nach unten zu, Krusten an Grobboden > c4; Schichtuntergrenze scharf; Horizontuntergrenze deutlich, greift leicht über; an Schichtuntergrenze ca. 10 cm mächtiger rotbrauner Streifen => fossiler Boden?	219-1 219-2	0-40 40-80
80-220	II eCv	Farbe: 5 Y 5/3 und 8/2, marmoriert; verwitterter Mergel; wenig Poren; Sekundärcarbonat in Poren	219-3 219-4	80-100 100-120
220+	eCn	Farbe: blaugrau; schlagfester anstehender Mergel; > c4.	219-5	220-240

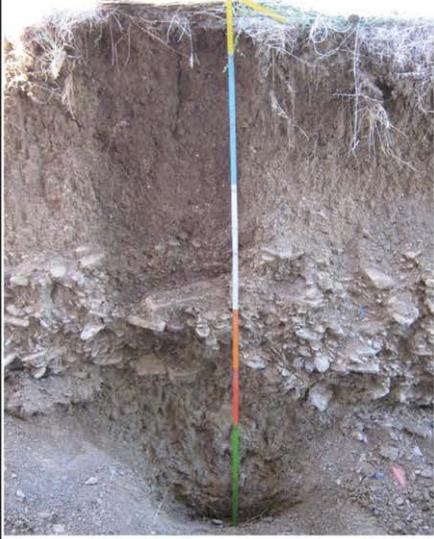
**Anhang 116: Profilbeschreibung Profil 220**

<b>Profil: 29/9/220</b>				
<b>Datum:</b> 13.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Banaguas		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> Profil hinter Maschinenhalle 30 T 697266 4717273, 822 m üM				
<b>Relief:</b> Glacis, Gestreckt-konvex; Exp. 230°				
<b>Vegetation:</b> Ehemaliges Getreidefeld				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 88 cm aufgeschlossen;				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe cm
0-38	Ap	Farbe: 5 YR 4/4 bis 4/6 (feucht); auf den obersten 5 cm bröckeliges Plattengefüge, darunter Koharänt- bis Polyedergefüge; Wurmrohren und Wurzelgänge; wenig Grobporen, wenig bis mittel Mittelporen; teilweise Trockenrisse; Grobbodenanteil ca. 2 bis 3%, Grus und Steine, Toncutane an Steinen; Feinboden fest gelagert, schwer grabbar; Feinboden c2 bis c3; feinsandiger stark toniger Schluff; teilweise Kalkpseudomycel im Feinboden und an Grobboden (uneinheitlich verteilt).	220-1 220-2	0-19 19-38
38-81	II Bct+elCv	Farbe: 5 YR 4/4; Toneintrag in fossil Sekundärcarbonat angereicherte Basislage); Basislage; deutliche Toncutane an Steinen, ganzseitig; Grobbodenanteil min 40 bis 50 %; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, schmutzig, darüber Toncutane; Toncutane an Aggregaten; Feinboden min. c4; Grobboden tendentiell oberflächenparallel eingeregelt (kippen wie am Glacis nach hinten ins Profil); Grus, plattige Steine; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; Mittel- und Grobporen: mittel bis viel; Wurzelgänge und Wurmrohren; schmutziges Sekundär(?)carbonat im Feinboden; scharfe Schichtobergrenze; Feinboden: feinsandiger schluffiger Ton; Horizontgrenze: diffus; farblicher Übergang, mamoriert zum Cv, Horizontgrenze kippt nach rechts.	220-3 220-4	38-58 58-81
81-88+	II elCc	Farbe: 2,5 Y 5/4 - 5/3 und 8/1 (olivfarbenen Anteile) teilweise braun wie darüber; Basislage, Grobboden wie darüber; Toneintrag; Toncutane an Unterseite von Grobboden; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, tw. Schmutzig, eher weiß; Kalkpseudomycelien im Feinboden.	220-5	81-88

Anhang 117: Profilbeschreibung Profil 221

<b>Profil: 29/9/221</b>				
<b>Datum:</b> 13.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Abay		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> 779 m NN, Baugrube in Abay 30 T 696351 4715955				
<b>Relief:</b> Unterhang, Relief durch Baumaßnahmen gestör, konkav-konvex.				
<b>Vegetation:</b> Ehemaliger Acker				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen; Mergel anstehend.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Mergel				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-34	Ap	Farbe: 2,5 Y 4/4; Grobbodenanteil ca. 2 %; Flysch, grusig, plattig; Polyedergefüge, auf den obersten 5 cm Krümelgefüge; viele Wurmrohren, trockenrisse; c4; Calciumcarbonatkonkretionen > 1 mm Durchmesser, innen weiß; wf2 wg0; feinsandiger Ton (Sekundärcarbonat als "Feinsand"?).	221-1 221-2	0-17 17-34
34-68	eCvc oder eMc	Farbe: 2,5 Y 5/3; Wurmrohren; mittel bis viele Mittelporen, wenig Grobporen; Grobbodenanteil ca. 2 %; Sekundärcarbonatkonkretionen 5-6 mm im Durchmesser; c4; fst gelagert; Ton, eher Sekundärcarbonathaltig als feinsandig.	221-3 221-4	34-51 51-68
68-110	II eICc	Farbe: 2,5 Y 8/1; deutlich weißfleckig (Sekundärcarbonat), pulverig, Sekundärcarbonatkonkretionen 5-6 mm Durchmesser; primäre Gesteinsstruktur noch erkennbar; Regenwurmgänge und Wohnhöhlen mit viel Kot.	221-5	68-110
110+	II emCc	Mergel, anstehend; Sekundärcarbonat in Rissen/Klüften ausgefällt; Sekundärcarbonat pulverig wie darüber.	221-6	110-120
		Dünnschliff	221-1DS	36

**Anhang 118: Profilbeschreibung Profil 222**

<b>Profil: 29/9/222</b>				
<b>Datum:</b> 13.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Abay		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> 779 m NN, Baugrube in Abay 30 T 696341 4715955				
<b>Relief:</b> Unterhang, Relief durch Baumaßnahmen gestört, konkav-konvex.				
<b>Vegetation:</b> Ehemaliger Acker				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 165 cm aufgeschossen, ca. 10 m westlich von Profil 221.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-36	Ap	Farbe: 2,5 Y 4/4; scharfe Untergrenze, eben; Grobbodenanteil ca. 2 bis 2 %, Fein- bis Mittelgrus; viele Wurmgänge; Sekundärcarbonatkonkretionen 1-3 mm; wf2 wg0; auf den obersten 4 cm Krümelgefüge, darunter Polyedergefüge; Trockenrisse; wenig bis mittel Mittelporen, wenig Grobporen; feinsandiger Ton (ähnlich wie in Profil 221 Sekundärcarbonat als Feinsand).	222-1 222-2	0-18 18-36
36-67	eMc	Farbe: etwas dunkelbrauner als darüber; weniger Regenwürmer als darüber; sehr schwach ausgeprägte Toncutane; Sekundärcarbonatkonkretionen mit 3-6 mm, ca. 3% Anteil, innen pulverig weiß, außen schmutzig; Trockenrisse; mittel Mittelporen; wf1 wg1; Grobboden wie darüber; sehr schwache Lessivierung mit Toncutanen; Subpolyeder bis Polyedergefüge, bröckelig; Feinboden c4; weiße Kalkpseudomycelien; Feinboden wie darüber; beginnende Verkittung des Feinbodens.	222-3 222-4	36-51 51-67
67-116	II eIcC	Fluvialer Schotter; auf den oberen ca. 16 cm schwacher Toneintrag, Toncutane an Grobboden; Grobbodenanteil > 50 %; min. c4; Kalkpseudomycelien im Feinboden; Sekundärcarbonatkrusten an der Unterseite von Grobboden, nach unten in Ausmaß zunehmend; Grobboden annähernd horizontal gelagert, Schichtobergrenze fällt nach rechts.	222-5 222-6	67-77 100-116
116-150	III Sw-eIcV	Farbe: 5 Y 6/3 - 5/3; Mergelreste mit Kies, rostfleckig marmoriert; Sekundärcarbonatkonkretionen ähnlich Lösskindel, 4-6 mm Durchmesser; Mittelporenanteil mittel; polierte Kiese; keine Sekundärcarbonatkrusten an Grobboden; Feinboden: Ton; Grobbodenanteil ca. 10 %.	222-7	116-130
150-170+	IV Sw-eIcV	Feucht, riecht modrig/muffig; mehr Sand und Kies als darüber; rostfleckig; kein Sekundärcarbonat an Grobboden.	222-8	150-165

Anhang 119: Profilbeschreibung Profil 223

<b>Profil: 29/9/223</b>				
<b>Datum:</b> 13.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Abay		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> Tunnelbaustelle SW Abay, 756 m üM 30 T 695639 4715061				
<b>Relief:</b> Oberboden abgeschoben.				
<b>Vegetation:</b> -				
<b>Profilübersicht:</b> Baugrube ca. 8 m tief, ca. 2 m grobbodenarmes Substrat über 6 m mächtigen Flussschotter, wobei deutliche rötliche Färbung des Flussschotter auf den oberen 4 m (Toneintrag und Verwitterung), untersten 1,5 - 2 m des Schotterpaketes grau, Anstehende nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-70	Bvt	Farbe: 2,5 YR 4/6 - 3/6; c0; deutliche weinrote Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Grobboden: Schotter (Kies, Steine g-sg, poliert, kein Sekundärcarbonat.	223-1	0-20
70-110+	Bt+Cv	Farbe: marmoriert grau-oliv, Toncutane: Farbe wie darüber Grobboden wie darüber; Feinboden tw. mit Toncutanen durchzogen; deutliche Tonanreicherung.  Dünnschliff Sammelprobe Feinboden von Acker oberhalb	223-1DS 223-SA	15 0-30

Anhang 120: Profilbeschreibung Profil 224

<b>Profil: 29/9/224</b>				
<b>Datum:</b> 13.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Abay		<b>Aufschluß:</b> Baugrube		
<b>Lage:</b> Tunnelbaustelle SW Abay 756 m üM, 30 T 695639 4715061				
<b>Relief:</b> gestreckt-gestreckt				
<b>Vegetation:</b> Getreideacker				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 75 cm aufgeschlossen				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über gekappter Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
0-26	Ap	Farbe: 5 YR 4/6; Ap aus Kolluvium; Grobbodenanteil ca. 5 %; sehr schwer grabbar (trocken und tonig); c0;	224-1 224-2	0-26 26-52
26-52	M	Grobboden: Kies, sg-g Steine, stark verwittert; Koharantgefüge; sehr dicht und fest; kaum Poren, scharfe ebene Untergrenze; feinsandiger, schluffiger Ton.		
52-75+	II Bvt	Farbe: 2,5 YR 4/6 -3/6 (rötlich braun); feinsandiger Ton; gut grabbar trotz Ton, Trockenheit und Grobbodenanteil; Sekundärcarbonat an der Unterseite von Grobboden, schmutzig, in Verbindung mit rezenter Tonverlagerung; Feinboden unterhalb von Grobboden teil schwach carbonathaltig, sonst Feinboden c0; Grobbodenanteil 15 bis 20 %, Kies, g-sg Steine, stark verwittert, Lithologie divers; sehr deutliche Toncutane an Grobboden (auch Unterseite, siehe Fotos) und an Aggregaten; Polyedergefüge; Trockenrisse; wenig Poren, Kalkpseudomycelien im Feinboden.	224-3	52-75
		Dünnschliffe	224-1DS 224-2DS 224-3DS	60 35 63

Anhang 121: Profilbeschreibung Profil 225

<b>Profil: 29/9/225</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> 894 m NN UTM: 30 T 701015 4721602				
<b>Relief:</b> Hang schwach konkav- schwach konvex, Exposition Ost, Hangneigung ca. 4°.				
<b>Vegetation:</b> Acker				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 80 cm aufgeschlossen.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über glaziofluvialen Schotter				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertief e
0-46	eMc	Farbe: 2,5 Y 4/3; scharfe Untergrenze; obere 5 cm Krümelgefüge, darunter Polyeder- bis Subpolyederggefüge, Aggregate sehr bröckelig; Grobbodenanteil ca. 10 %, Grus, Kies, teils kg, Lithologie: Flysch, eher oberflächenparallel eingeregelt; Trockenrisse; wenig Mittel- und Grobporen; wf2 wg1; Grobboden teils Sekundärcarbonatkrusten nur an der Oberseite => gedreht/verstellt; Wurzelgänge und Wummröhren; Feinboden min. c4; viel Feingrus, schluffiger Lehm.	225-1 225-2	0-23 23-46
46-80+	Il eCkc	Farbe: 10 YR 4/3 (feucht), wegen Calciumcarbonatgehalt weiß bis olivgrau-gelbgrau; Grobbodenanteil min. 50 %, keine Einregelung erkennbar, Lithologie divers, glaziofluvialer Schotter, Kies, g-sg Steine, Blöcke; Kittgefüge; deutliche Sekundärcarbonatanreicherung, v. a. im Feinboden; an Unterseite von Klastern Kalkpseudomycelien und fossile Toncutane; Feinboden min. c4; wf1 wg0; Feinboden nicht bestimmbar (diamiktisch, viel Grus/Kies); Toncutane (deutlich) im Feinboden und an der Unterseite von Grobboden (bedeckt von Sekundärcarbonatkrusten).	225-3	46-80

Anhang 122: Profilbeschreibung Profil 226

<b>Profil: 29/9/226</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Terrassenkante		
<b>Lage:</b> 30 T 701008 4722019 897 m üM				
<b>Relief:</b> Unterhang, ca. 4°, Exposition 45°, schwach konkav-schwach konkav,				
<b>Vegetation:</b> Dornbusch, Buchs, Gräser, Moose, Bedeckungsgrad ca. 100 %.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 100 cm aufgeschlossen, bei ca. 150 bis 200 cm glaziofluvialer Schotter.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Basislage				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-45	M	Farbe: 7,5 YR 3/4; Grobbodenanteil ca. 5 %, Grus, plattig, Lithologie: Flysch, hangparallel eingeregelt; Polyeder- bis Subpolyedergefüge; auf den obersten ca. 10 cm Krümelgefüge; Trockenrisse; wf4 wg2; Wurmgänge und Wurzelröhren; locker gut grabbar (=>Al?); Toncutane (?) an Grobboden, v. a. der Unterseite; Feinboden c4; wenig Mittel- und Grobporen; bröckelig gelagert; Trockenrisse; feinsandiger toniger Schluff.	226-1 226-2	0-23 23-45
45-100+	II eICc	Farbe 7,5 YR 4/4; Toncutane (?) an Unterseite von Grobboden, ebenso Sekundärcarbonat (siehe Fotos); Grobbodenanteil > 50 %, Grus, plattige Steine; Kalkpseudomycel im Feinboden; grobboden hangparallel, kippt nach hinten, Lithologie: Flysch; Wurmkot; Subpolyedergefüge; Feinboden c4, nimmt nach unten zu; Feinboden wie darüber; wenig bis mittel Mittelporen; Sedundärcarbonatkrusten an der Unterseite von Grobboden, nach unten auch ganzseitig und initiale Verkittung des Feinbodens; wegen Grobbodenanteil schwer grabbar; Obergrenze scharf und eben; oben wf3 wg 1, nach unten wf2 wg0; von 45 bis 65 cm locker gelagert, mehr Grobboden, verstellt.	226-3 226-4	45-65 65-100

Anhang 123: Profilbeschreibung Profil 227

<b>Profil: 29/9/227</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 946 m üM 30 T 700641 4721908		 A photograph showing a soil profile excavation. A vertical measuring rod with orange, blue, and yellow sections is placed against the soil face. The soil is light brown and appears to be a colluvium overlying bedrock. There are some roots and small stones visible in the soil.		
<b>Relief:</b> Unterhang, ca. 15°, konkav-gestreckt; Exposition Profil ca. 60°; Hang fällt in Richtung 45°				
<b>Vegetation:</b> Garrigue, Dronbusch, Buchs, Gräser, Hagebutte, Bedeckungsgrad ca. 50 %, Steinpflaster.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm aufgeschlossen; Steinpflaster um das Profil, Hang terrassiert, Steinhütte ca. 15 m südlich vom Profil.				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über BL bzw. Anstehendem				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-100	eMc	Farbe: 10 YR 4/3; Holzkohlefitter und ziegelrote Gesteins(?)stücke über die gesamte Schicht verteilt; Wurmrohren und Wurzelgänge; wenig Poren; Feinboden c4, Sekundärcarbonat im Feinboden, 3 bis 4 mm Durchmesser; Grobbodenanteil ca. 5 bis 10 %; wf2 wg1; Grobboden teilweise carbonatisiert, teilweise Carbonatisierung des Grobboden nur an der Oberseite der Klasten (=> Verstellung => Kolluvium); Lithologie: Flyschsandstein (parautochthon), Grus, plattig, k-kg; tw. Toncutane (?) an Grobboden; Polyedergefüge; Aggregate sehr hart; Trockenrisse; feinsandiger, schwach schluffiger Ton (weniger Ton als darunter);	227-1 227-2 227-3	0-35 35-70 70-100
100-160+	II eCvc	Farbe: 2,5 Y 5/3 - 4/3; Feinboden c4; Grobbodenanteil 20 %; feinsandiger Ton; Sekundärcarbonatkrusten an der Unterseite von Grobboden; Kalkpseudomycelien im Feinboden, Sekundärcarbonat 4 - 5 mm im Durchmesser; Basislage (eher) oder anstehender Flysch; wenig Mittelporen; Wurmrohren und Wurzelgänge, nehmen nach unten in Anzahl ab; Koharant- bis Polyedergefüge.	227-4 227-5	100-130 130-160

**Anhang 124:** Profilbeschreibung Profil 228

<b>Profil:</b> 29/9/228				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 953 m NN 30 T 700614 4721877				
<b>Relief:</b> Mittelhang, ca. 15°, konkav-gestreckt;				
<b>Vegetation:</b> Garrigue, Dronbusch, Buchs, Gräser, Hagebutte, Bedeckungsgrad ca. 50 %, Steinpflaster.				
<b>Profilübersicht:</b> Anstehender Flysch (kalksandstein, verwittert plattig); plattige Abschuppung; Flyschschichten ca. 20 cm mächtig; starker Oberflächenabfluss, Steinpflaster.				
<b>Bodentyp:</b>				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe
		Anstehender Flysch	228-1	
		Mergel bei Bewässerungskanal/Tunneleingang	228-2	

**Anhang 125:** Profilbeschreibung Profil 229

<b>Profil: 29/9/229</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Castiello de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 922 m NN 30 T 700737 4721638				
<b>Relief:</b> gestreckt-konvex; Runsensystem, ca. 2 bis 3 m tief; Proflexposition 130°, Hang ca. 16° geneigt.				
<b>Vegetation:</b> Garrigue, Dronbusch, Buchs, Gräser, Hagebutte, Bedeckungsgrad ca. 40 %, Steinpflaster.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 60 cm aufgeschlossen, Terrassierungen und Mauern oberhalb				
<b>Bodentyp:</b> Kolluvium über Basislage				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-29	eMc	Farbe: 10 YR 4/4; Polyedergefüge; Grobbodenanteil ca. 5 %, tendentiell hangparallel eingeregelt aber auch verstellt (Sekundärcarbonatkrusten nur an Oberseite von Klasten); Sekundärcarbonat im Feinboden, c4; Wurmröhren und Wurzelgänge; Grobboden: Grus aus parautochthonen Flysch; teilweise Toncutane an Grobboden; w3 wg0; feinsandiger Ton; wenig Mittelporen; Trockenrisse; deutliche Untergrenze, gerade; Kalkpseudomycel; Sekundärcarbonatkonkretionen im Feinboden mit 2 bis 3 mm Durchmesser.	229-1 229-2	0-15 15-29
29-50	II eMc	Grobbodenanteil ca. 20 %; Lithologie wie darüber; Grobboden chaotisch gelagert, nur schwach hangparallel; sonst wie darüber.	229-3	29-50
50-60+	III eCc	Farbe: 10 YR 4/4; Grobbodenanteil > 50 %; Polyeder- bis Kittgefüge; Trockenrisse; wenig bis mittel Mittelporen; Toncutane an Grobboden (Ton bedeckt dort Sekundärcarbonat); schmutzige Sekundärcarbonatkrusten an der Unterseite und Hangseite von Grobboden, teilweise pockenartig ausgeprägt; feinsandiger Ton, Feinboden zwischen den Klasten deutlich braun, tw. weiß fleckig wegen Sekundärcarbonat; weniger Wurzelröhren als darüber; Kalkpseudomycelien im Feinboden; Feinboden min. c4; Grobboden im oberen Bereich eher chaotisch, im unteren Bereich eher hangparallel.	229-4	50-60

## Anhang 126: Profilbeschreibung Profil 230

<b>Profil: 29/9/230</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Hostal de Ipies		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 713 m NN 30 T 712522 4702008				
<b>Relief:</b> Proflexposition 320°, Hang fällt in Richtung 60°; solifluidal verlagerte Schicht ca. 4° geneigt, fluvialer Schotter 0°.				
<b>Vegetation:</b> Steineichen bis 5 m Höhe, Gräser, Dornbusch				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 160 cm aufgeschlossen, gesamter Aufschluß ca. 230 cm hoch und 100 m lang; anthropogen gegrabener Hangkante, Mauer oberhalb von Profil; Solifluidal verlagerte und grobbodenreiche Schicht über schwer grabbaren fast grobbodenfreien Sediment (evtl- Löss, c4, Kalkpseudomycel und vermeintlichen Lösskindel, siehe Detailfotos) über fluvialen Sediment. Anstehende nicht erreicht.				
<b>Bodentyp:</b> Pararendzina				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probtiefe cm
0-40	eAhc/elC c	Farbe: 10 YR 5/6 - 4/6; Diskussion ob Kolluvium oder Basislage; Lehm (feinsandig, schluffig, viel Ton); Grobbodenanteil ca. 20 %; Kalkpseudomycel; Feinboden c4; wenig bis mittel Mittelporen; Wurmgänge, Wurzelröhren und Tierhöhlen bis ca. 6 cm Durchmesser; auf den obersten 5 cm Krümelgefüge, darunter Subpolyeder- bis Kittgefüge; starke Ver kittung des Feinbodens, nach unten zunehmend; Grobboden: Kies und viel Grus., Lithologie: Granit, (Kies bzw. sg Steine), Flysch (hangparallel eingeregelt); wf1 wg1; Profil schwer grabbar.	230-1	0-20
			230-2	20-40
40-140	II elCkc	Farbe 10 YR 5/6 - 4/6; Feinboden wie darüber; c4; Kalkpseudomycel, Lösskindel bis 4 cm Durchmesser, v. a. in der unteren Hälfte; viele Wurmgänge (Durchmesser bis 10 mm), Tiergänge (40 bis 50 mm) und Wurzelröhren; Grobbodenanteil < 1 %, Grus; Schichtobergrenze scharf, wellig bis zapfenförmig; Schichtuntergrenze eben; auf den unteren 10 cm teilweise Toncutane in den Hohlräumen, an Grobboden und Aggregaten, viel Wurmlösung; Verbraunung in den Gängen; verfüllte Wurmgänge eher bräunlich; Kitt- und Koharantgefüge (Subpolyedergefüge?); sehr schwer grabbar; Holzkohlen bei 130 cm.	230-3	40-60
			230-4	60-80
			230-5	80-100
			230-6	100-120
			230-7	120-140
140-160+	III elCck	Flussschotter; Grobbodenanteil > 50 %, v. a. Kiese und Steine g-sg, Lithologie divers (u. a. Granit); tw. Toncutane in der Obergrenze; Untergrenze nicht erreicht; sehr wenig Feinboden; Kittgefüge; Grobboden an Unterseite und Hangseite carbonatisiert, teilweise ganzseitige Verkrustung.  Dünnschliffbeprobung:	n. b.	n. b.
			230-1DS	63
			230-2DS	108
			OSL: A und B	230-1OSL

Anhang 127: Profilbeschreibung Profil 231

<b>Profil: 231</b>				
<b>Datum:</b> 20.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Urbanizacion Santiago		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 982 m üM UTM: 30 T 701414 4725980				
<b>Relief:</b> Hang hinter Profil 23°; Neigung Weg 10°; gestreckt-gestreckt; Makrorelief wellig, Exposition 300°.				
<b>Vegetation:</b> Kiefernwald bis 40 cm Stammdurchmesser; vereinzelt Buchs.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 110 cm aufgeschlossen; Grobbodenname Schicht mit hohem Feinsand- und Schluffanteil über Till, Anstehendes nicht erreicht. Lessivierung dominanter pedogener Prozess.  OSL bei 60 cm Dünnschliff 231-1DS bei 40 cm				
<b>Bodentyp:</b> Parabraunerde mit Eluvialhorizont in Hauptlage und Illuvialhorizont im Till				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probentiefe cm
0-10	Ah	Farbe: 7,5 YR 4/4; schwach humos; Streureste, Holzkohlen; Krümelgefüge; wf2 wg3; Grobbodenanteil ca. 2 %; Grobboden stark verwittert, Grus und Kies, Lithologie divers; Feinboden relativ locker; scharfe wellige Untergrenze; viele Poren, tw. mit 3 bis 4 cm Durchmesser; Regenwurmlösung; c0; stark feinsandiger Schluff.	231-1	0-10
10-25	Bv-AI	Farbe: 7,5 YR 4,5/6; c0; Untergrenze wellig, und diffus, farblicher Übergang; weißes Pilzmycel; wf2 wg3; Regenwurmgänge und Wurzelröhren; viele Makroporen; Grobbodenanteil ca. 2 bis 3 %, stark verwittert, Kies und Grus, Lithologie: divers; Holzkohlen; trockener als darüber; bröckelig und locker, Sub- bis Polyedergefüge; tw. Toncutane an Grobboden (Hangseite); kiesiger, stark feinsandiger, schwach toniger Schluff.	231-2	10-25
25-71	Bvt	Farbe: 7,5 YR 4/6; auf den oberen 30 cm des Horizontes feucht, darunter trocken; c0; deutliche Toncutane an Aggregaten und Grobboden; Polyedergefüge; viele Makroporen; viele Regenwurmgänge und Wurzelröhren; Grobbodenanteil ca. 5 %, sehr stark verwittert, kein Sekundärcarbonat an Grobboden; weißes Pilzmycel; im feuchten Zustand locker grabbar, kiesiger, stark schluffiger, stark feinsandiger Ton.	231-3 231-4 231-5	25-40 40-55 55-71
71-84	II Bt+elCv	Farbe und Feinboden wie darüber; Grobbodenanteil ca. 20 %; Till; c0; Toneintrag, Toncutane an Grobboden und Aggregaten, schwächer ausgeprägt als darüber; Grobboden stark verwittert; Polyedergefüge; viele Makroporen; trockenrisse; Grobboden z. T. an der Unterseite carbonatisiert, Sekundärcarbonatkrusten an Klasten mit Ton bedeckt; Untergrenze scharf, nach rechts gekippt, zapfenförmig, leichter farblicher Übergang (wegen zapfenförmiger Tonverlagerung und Verwitterung); wf2 wg2.	231-6 231-7	71-84 84-97
97-110+	elCkc	Grobbodenanteil ca. 30 bis 40 %, nimmt nach unten zu; c4; Toneintrag und Verwitterung an zapfenförmiger Obergrenze, kaum Verwitterung außerhalb der Zapfen, Verwitterung in den Zapfen als adrige Überzüge an Grobboden; diamiktischer Till, initiales Kittgefüge im Feinboden; Sekundärcarbonat an der Unterseite und Hangseite von Grobboden; viele Makroporen, unten tw. Trockenrisse; Tongehalt nimmt nach unten leicht zu. Dünnschliff OSL A&B	231-8  231-1DS 231-1 231-2	97-110  40 40 60

**Anhang 128: Profilbeschreibung Profil 232**

<b>Profil: 29/9/232</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Wildpark Piedrafita de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718381 4730561 1384 m NN				
<b>Relief:</b> Hang 22°, Unterhang, schwach konvex - schwach konvex; Makrorelief wellig; Exposition Profil 100°.				
<b>Vegetation:</b> Älterer Baumbestand, Mischwald Kiefern, Buchs, Farn, Gräser.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 120 cm aufgeschlossen; Holzkohlen bei 80 cm unter GOK; Bläcke neben dem Profil (stark verwitterter Sandstein).				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-6	Ah	Farbe: dunkler als darunter; Krümelgefüge; wf5 wg2; Streureste; locker gelagert; Grobbodenanteil < 2 %; Sandstein; viele Mittel- und Grobporen; c0; Feinboden wie darunter; Streureste; schwach humos.	232-1	0-6
6-46	Al+Bt	Farbe: 8,75 YR 4/4; Krümel- bis Polyedergefüge; wf4 wg3; schwach ausgeprägte Toncutane an Grobboden und an Aggregaten; Aggregate sehr bröckelig; Pilzmycel; Grobbodenanteil ca. 3 bis 4 %, Grus aus Sandstein, stark verwittert (verwittert gelb); Horizont- und Schichtuntergrenze scharf, nach links gekippt; in den Aggregaten wenig Poren, zwischen den Aggregaten viele Mittel- und Grobporen wegen Lagerung; an der Untergrenze sehr viel Grobboden, annähernd Steinlage; c0; Regenwurmröhren und Regenwurmkot; Feinboden etwas schluffiger als	232-2 232-3	6-26 26-46
46-80	II fBv <sup>t</sup> Bv	Farbe: 7,5 YR 4/4; viele Holzkohlen an der Untergrenze; sehr ausgeprägte Toncutane an Aggregaten und Grobboden; viele Mittelporen und Feinporen; Regenwurmgänge und Wurzelröhren; Grobbodenanteil wie darüber (3 %); wf1 wg1 Grobboden stark verwittert; c0; Schichtuntergrenze scharf wegen Grobboden, Horizontuntergrenze diffus da Tonverlagerung übergreift; feinsandiger, stark schluffiger Ton.	232-4 232-5 232-6	46-57 57-68 68-80
80-120+	III fBv <sup>t</sup> Bv	Hoher Grobbodenanteil > 50 % (Till?), sehr stark verwittert (Sandstein); Polyedergefüge; ausgeprägte Toncutane an Grobboden und Aggregaten; weniger Poren als darüber; c0; wf0 wg1.  Dünnschliff  OSL je A & B	232-7  232-1DS  232-1 232-2 232-3	80-120  55  42 70 50

Anhang 129: Profilbeschreibung Profil 232

<b>Profil: 29/9/232</b>				
<b>Datum:</b> 14.09.2010		<b>Bearbeiter:</b> F. Hirsch, S. Schuhart		
<b>Ort:</b> Wildpark Piedrafita de Jaca		<b>Aufschluß:</b> Weganschnitt		
<b>Lage:</b> 30 T 718381 4730561 1384 m NN				
<b>Relief:</b> Hang 22°, Unterhang, schwach konvex - schwach konvex; Makrorelief wellig; Exposition Profil 100°.				
<b>Vegetation:</b> Älterer Baumbestand, Mischwald Kiefern, Buchs, Farn, Gräser.				
<b>Profilübersicht:</b> Profil 120 cm aufgeschlossen; Holzkohlen bei 80 cm unter GOK; Bläcke neben dem Profil (stark verwitterter Sandstein).				
<b>Bodentyp:</b> Braunerde-Parabraunerde				
Tiefe cm	Horizont	Beschreibung	Proben Nr.	Probertiefe
0-6	Ah	Farbe: dunkler als darunter; Krümelgefüge; wf5 wg2; Streureste; locker gelagert; Grobbodenanteil < 2 %; Sandstein; viele Mittel- und Grobporen; c0; Feinboden wie darunter; Streureste; schwach humos.	232-1	0-6
6-46	Al+Bt	Farbe: 8,75 YR 4/4; Krümel- bis Polyedergefüge; wf4 wg3; schwach ausgeprägte Toncutane an Grobboden und an Aggregaten; Aggregate sehr bröckelig; Pilzmycel; Grobbodenanteil ca. 3 bis 4 %, Grus aus Sandstein, stark verwittert (verwittert gelb); Horizont- und Schichtuntergrenze scharf, nach links gekippt; in den Aggregaten wenig Poren, zwischen den Aggregaten viele Mittel- und Grobporen wegen Lagerung; an der Untergrenze sehr viel Grobboden, annähernd Steinlage; c0; Regenwurmröhren und Regenwurmkot; Feinboden etwas schluffiger als	232-2 232-3	6-26 26-46
46-80	II fBv <sup>t</sup> Bv	Farbe: 7,5 YR 4/4; viele Holzkohlen an der Untergrenze; sehr ausgeprägte Toncutane an Aggregaten und Grobboden; viele Mittelporen und Feinporen; Regenwurmgänge und Wurzelröhren; Grobbodenanteil wie darüber (3 %); wf1 wg1 Grobboden stark verwittert; c0; Schichtuntergrenze scharf wegen Grobboden, Horizontuntergrenze diffus da Tonverlagerung übergreift; feinsandiger, stark schluffiger Ton.	232-4 232-5 232-6	46-57 57-68 68-80
80-120+	III fBv <sup>t</sup> Bv	Hoher Grobbodenanteil > 50 % (Till?), sehr stark verwittert (Sandstein); Polyedergefüge; ausgeprägte Toncutane an Grobboden und Aggregaten; weniger Poren als darüber; c0; wf0 wg1.  Dünnschliff  OSL je A & B	232-7  232-1DS  232-1 232-2 232-3	80-120  55 42 70 50

**Anhang 130: Laborwerte Profil 100**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %										Boden- art	pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub>
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
100-1	Ach	0-6	4,4	8,3	21,4	34,1	18,0	12,3	10,3	40,7	25,3	Lt2	7,4	4,7	7,1	
100-2	Bv-elCv	6-18	7,2	7,5	22,4	37,1	19,6	9,8	7,7	37,1	25,8	Lt2	7,5	2,1	8,3	
100-3	II Bv-elCv	18-30	13,7	7,4	17,4	38,5	14,4	10,3	9,2	33,8	27,7	Lt2	7,5	3,0	11,7	
100-4	II Bv-elCv	30-40	12,6	7,0	15,6	35,2	17,0	9,5	9,4	35,9	29,0	Lt2	7,5	2,6	11,6	
100-5	II Bv-elCv	40-50	9,8	7,3	18,4	35,4	15,3	8,8	9,4	33,4	31,1	Lt2	7,6	2,5	14,1	
100-6	II Bv-elCv	50-60	8,0	8,6	17,6	34,2	15,5	9,9	8,3	33,6	32,2	Lt2	7,7	3,0	18,1	
100-7	II elCkc	60-70	23,4	10,1	10,2	43,6	11,8	9,5	8,0	29,3	27,1	Lts	7,6	5,0	38,3	
100-8	II elCkc	70-80	44,5	9,7	4,0	58,2	5,7	7,1	7,1	19,9	21,9	LS4	7,7	6,4	51,5	
100-9	II elCkc	80-90	39,4	17,8	5,6	62,8	5,5	5,1	5,9	16,5	20,7	LS4	7,7	6,9	63,3	
100-10	II elCkc	90-100	46,9	15,2	4,2	66,3	5,0	5,5	5,6	16,1	17,6	LS4	7,7	7,0	58,8	
100-11	II elCkc	100-110	38,6	22,6	4,5	65,7	3,5	6,0	5,7	15,3	19,1	LS4	7,7	7,3	59,8	
100-12	II elCkc	110-120	34,1	20,7	5,2	60,1	3,6	6,6	6,3	16,4	23,5	LS4	7,7	7,0	57,0	
100-13	II elCkc	120-130	30,0	19,1	6,3	55,5	8,5	6,5	8,2	23,2	21,4	LS4	7,7	7,1	60,4	
100-14	II elCkc	130-140	36,6	13,3	4,4	54,4	5,4	8,6	9,6	23,5	22,1	LS4	7,7	6,7	54,0	
100-15	II elCkc	140-150	43,4	14,2	3,2	60,7	2,5	6,0	7,9	16,4	22,8	LS4	7,7	6,7	60,1	
100-16	II elCkc	150-160	42,7	15,5	5,7	63,9	5,1	6,1	5,9	17,1	19,1	LS4	7,8	7,2	62,1	
100-17	II elCkc	160-180	30,9	14,7	7,9	53,5	7,5	9,7	9,2	26,3	20,2	LS4	7,8	6,6	53,0	
100-18	II elCkc	180-200	13,4	6,9	7,6	27,8	8,2	16,8	14,8	39,8	32,4	Lt2	7,8	5,8	50,9	
100-19	III felCv	200-220	23,8	7,2	4,2	35,2	8,9	19,3	15,4	43,6	21,1	LS2	7,8	7,1	65,1	
100-20	III emCn	220-240	4,9	2,8	3,9	11,6	9,6	23,4	25,2	58,2	30,2	Tu3	n.b.	6,0	53,1	

**Anhang 131: Laborwerte Profil 101**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %										Boden- art	Elemente in mg/kg		pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub>
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T	Fe <sub>T</sub>		Mn <sub>T</sub>				
101-1	Bv-Ah	0-14	2,3	8,8	21,6	32,7	23,1	12,2	8,4	43,7	23,6	LS2	31222	573	6,6	2,0	1,6	
101-2	Bv-Ah	14-28	1,3	9,0	19,3	29,7	21,6	12,6	9,4	43,6	26,7	Lt2	33207	536	6,7	1,6	1,2	
101-3	II Bv-elCv	28-43	2,1	7,5	19,6	29,3	21,4	12,2	8,3	42,0	28,8	Lt2	32921	538	7,6	1,7	2,5	
101-4	II Bv-elCv	43-58	5,2	6,9	16,2	28,3	19,2	11,9	10,1	41,2	30,5	Lt2	30978	543	7,7	2,0	10,0	
101-5	III fM <sup>*</sup> Cc	58-68	0,4	4,5	12,5	17,3	18,5	13,8	11,2	43,5	39,2	Lt3	32994	382	7,7	1,1	5,8	
101-6	III fM <sup>*</sup> Cc	68-78	0,7	4,4	13,8	18,9	17,0	14,0	11,5	42,5	38,7	Lt3	30304	266	7,7	1,2	7,4	
101-7	III fM <sup>*</sup> Cc	78-88	1,0	4,0	11,7	16,8	18,7	13,6	11,3	43,6	39,6	Lt3	29024	280	7,7	1,5	10,3	
101-8	IV felCv <sup>*</sup> Cc	88-98	1,1	4,2	15,8	21,1	15,0	14,1	12,2	41,2	37,7	Lt3	27443	282	7,8	2,4	17,9	
101-9	IV felCv <sup>*</sup> Cc	98-108	4,3	6,1	14,6	24,9	14,9	14,5	11,1	40,6	34,5	Lt2	24364	254	7,8	3,3	27,2	
101-10	IV felCv <sup>*</sup> Cc	108-118	8,0	7,6	11,6	27,2	16,7	13,7	9,8	40,1	32,7	Lt2	30545	502	7,8	4,3	38,2	
101-11	IV felCv <sup>*</sup> Cc	118-128	12,1	9,9	13,6	35,6	13,5	12,9	8,7	35,0	29,3	Lt2	21247	204	n.b.	4,3	36,4	
101-12	V fBt+elCv <sup>*</sup> Cc	128-140	7,4	11,5	13,8	32,6	15,3	14,5	11,0	40,8	26,6	Lt2	18169	208	n.b.	4,9	41,8	
101-13	VI elCc	140-148	6,8	12,6	15,7	35,0	16,6	15,7	8,9	41,2	23,7	LS2	14191	188	n.b.	5,8	48,8	
101-14	VI elCc	148-158	28,5	18,8	12,4	59,7	7,2	7,7	7,9	22,8	17,5	LS4	21869	245	n.b.	6,5	55,7	
101-15	VI elCc	158-168	19,4	17,1	13,7	50,3	12,3	11,0	8,2	31,4	18,3	LS3	24564	220	n.b.	6,5	55,0	
101-16	VII elCc	168-180	40,0	18,8	5,0	63,8	5,3	4,7	5,1	15,1	21,1	LS4	20015	613	n.b.	6,1	61,5	
101-17	VIII elCc	180+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

**Anhang 132: Laborwerte Profil 107**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T				
107-1	eAh	0-13	9,5	9,5	13,7	32,7	16,6	19,7	14,4	50,7	16,6	Uls	7,5	6,4	40,2
107-2	elCc	13-26	6,0	8,1	11,1	25,1	17,6	21,2	15,8	54,5	20,3	Lu	7,7	5,6	34,8
107-3	elCc	26-39	5,7	7,4	10,9	24,0	16,0	22,6	16,6	55,2	20,9	Lu	7,7	5,5	42,5
107-4	elCc	39-50	5,7	8,3	11,5	25,5	17,2	22,5	15,8	55,5	19,1	Lu	7,0	5,3	41,8
107-5	elCc	50-67	6,8	9,7	12,6	29,1	17,1	21,5	15,4	54,0	16,9	Uls	7,8	5,2	42,2
107-6	elCc	67-82	8,8	10,7	14,2	33,7	16,9	20,7	13,5	51,1	15,2	Uls	7,7	5,1	44,3
107-7	elCc	82-97	11,1	11,3	13,6	36,0	16,0	20,5	12,2	48,7	15,4	Slu	7,8	4,9	41,8

**Anhang 133: Laborwerte Profil 108**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
108-1	eAh	0-10	11,2	12,5	18,3	42,0	19,4	15,5	11,6	46,4	11,6	Slu	7,2	38,4
108-2	eAh	10-20	8,2	11,4	20,3	40,0	21,0	14,8	11,0	46,9	13,2	Slu	7,2	23,6
108-3	eAh	20-30	7,3	9,2	16,5	33,0	23,5	2,8	27,0	53,3	13,7	Uls	7,3	32,9
108-4	elCc	30-40	10,2	9,4	16,9	36,6	19,0	15,7	14,9	49,6	13,8	Slu	7,4	38,6
108-5	elCc	40-52	10,4	9,8	15,7	36,0	17,9	15,9	15,3	49,1	15,0	Slu	7,5	38,8
108-6	elCc	52-60	9,0	10,4	20,6	40,1	18,5	15,5	10,9	44,9	15,0	Slu	7,6	42,1
108-7	elCc	60-70	9,8	12,1	16,8	38,8	18,0	16,7	6,5	41,2	20,0	Ls2	7,6	46,3
108-8	elCc	70-80	10,8	12,0	14,7	37,5	19,4	13,5	10,4	43,3	19,2	Ls2	7,7	44,7
108-9	elCc	80-90	12,9	12,8	16,3	42,1	14,0	17,7	14,3	46,1	11,9	Slu	7,8	44,1
108-10	elCc	90-100	11,6	12,4	16,8	40,8	20,7	16,3	11,3	48,3	10,9	Slu	7,9	40,1

**Anhang 134: Laborwerte Profil 110**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
110-1	Ap	0-13	0,8	2,8	17,8	21,4	29,7	4,1	7,7	41,6	9,0	9,6	18,4	37,0	Lt3
110-2	Ap	13-30	0,8	2,6	18,0	21,3	29,4	4,3	7,5	41,2	9,1	9,7	18,7	37,5	Lt3
110-3	Bv-elCv	30-45	0,4	2,1	19,4	22,0	30,4	4,0	7,1	41,5	8,8	10,0	17,7	36,5	Lt3
110-4	Bv-elCv	45-60	1,9	5,4	17,6	24,9	24,9	4,4	8,7	38,0	9,1	10,5	17,5	37,1	Lt3
110-5	II elCv	60-80	3,3	6,8	17,6	27,7	22,3	5,4	10,8	38,5	9,0	8,9	15,9	33,8	Lt2
110-6	III elCc	80-95	7,5	12,8	15,8	36,1	17,2	6,6	13,2	37,1	8,3	6,2	12,4	26,8	Lt2
110-7	III elCc	95-115	8,8	16,0	13,3	38,1	14,9	7,9	15,6	38,4	8,1	5,0	10,4	23,5	Ls3
110-8	III elCc	115-130	11,1	16,0	12,5	39,6	12,1	6,9	16,3	35,3	9,2	4,9	11,0	25,1	Lt2
110-9	III elCc	130-150	9,1	14,0	10,7	33,8	12,8	10,6	17,6	41,1	9,6	4,8	10,7	25,1	Lt2

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>			
110-1	Ap	37560	696	n.b.	918	18250	n.b.	1230	1317	n.b.	528	638	7,6	2,5	5,3
110-2	Ap	36294	607	n.b.	756	15784	n.b.	1254	1102	n.b.	589	502	7,6	2,4	7,0
110-3	Bv-elCv	38675	712	n.b.	776	15821	n.b.	1353	1194	n.b.	596	581	7,7	2,1	4,4
110-4	Bv-elCv	33926	564	n.b.	619	15333	n.b.	1109	1142	n.b.	468	491	7,7	3,3	15,7
110-5	II elCv	26890	393	n.b.	434	14994	n.b.	824	1127	n.b.	288	369	7,7	5,0	32,1
110-6	III elCc	18852	296	n.b.	197	10275	n.b.	330	787	n.b.	171	235	7,8	6,7	54,6
110-7	III elCc	14579	267	n.b.	138	7857	n.b.	146	580	n.b.	162	180	7,8	7,4	64,5
110-8	III elCc	15267	281	n.b.	94	8951	n.b.	85	681	n.b.	93	140	7,9	7,6	39,7
110-9	III elCc	14757	266	n.b.	112	7771	n.b.	90	519	n.b.	92	116	7,8	7,5	61,0

**Anhang 135:** Laborwerte Profil 111

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
111-1	eAh	0-13	5,6	4,3	12,8	22,7	21,0	15,9	11,2	48,1	29,2	Lt2	7,7	16,9
111-2	Bv-elCv	13-26	6,1	4,2	12,6	22,9	21,5	15,7	12,5	49,7	27,4	Lt2	7,7	20,8
111-3	Bv-elCv	26-40	7,5	0,5	12,6	20,5	18,3	19,5	12,7	50,5	28,9	Lu	7,7	18,6
111-4	II elCv	40-65	6,3	4,4	13,2	23,9	19,9	16,7	12,5	49,1	27,0	Lt2	7,7	16,3
111-5	III elCv	65-80	6,7	4,5	14,5	25,8	20,8	14,9	11,7	47,4	26,8	Lt2	7,7	25,2
111-6	IV elCc	80-100	15,1	14,5	12,9	42,5	15,0	12,1	9,8	36,9	20,6	Ls3	7,7	50,6
111-7	IV elCc	100-120	16,6	9,7	12,6	38,9	16,7	13,0	10,4	40,0	21,1	Ls2	7,7	51,9
111-8	IV elCc	120-140	13,0	6,5	11,3	30,7	17,6	15,2	12,9	45,7	23,6	Ls2	7,7	51,7

**Anhang 136:** Laborwerte Profil 117

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Bodenart	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT		T
117-1	Ah	0-7	7,4	12,4	26,1	45,9	22,2	3,7	6,5	32,5	7,7	5,4	8,5	21,6	Ls3
117-2	Al	7-17	9,5	11,1	22,6	43,2	22,2	3,8	6,3	32,2	7,3	7,0	10,3	24,6	Ls3
117-3	Al	17-28	7,0	11,2	22,5	40,7	21,9	3,7	5,8	31,4	7,4	7,6	13,0	27,9	Lt2
117-4	II Btv	28-38	3,7	7,0	18,9	29,7	19,4	2,3	5,3	26,9	6,5	11,4	25,5	43,4	Lts
117-5	III Bt+elCv	38-65	8,2	6,2	13,6	28,0	15,0	2,8	6,8	24,6	8,3	12,8	26,3	47,4	TI
117-6	III elCck	65-95	18,3	9,0	10,9	38,2	12,3	2,9	6,7	22,0	8,5	11,8	19,6	39,9	Lts

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub>	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>				Mn <sub>D</sub>
117-1	Ah	27267	637	n.b.	508	13962	n.b.	534	937	n.b.	508	541	6,1	1,4	0,0
117-2	Al	32516	687	n.b.	524	16685	n.b.	533	1121	n.b.	463	597	6,1	0,6	0,0
117-3	Al	30353	718	n.b.	544	15974	n.b.	557	1040	n.b.	495	555	6,1	0,6	0,0
117-4	II Btv	50592	808	n.b.	972	23702	n.b.	967	1496	n.b.	559	610	6,2	0,9	0,0
117-5	III Bt+elCv	49665	752	n.b.	696	25684	n.b.	911	1605	n.b.	444	576	7,1	1,8	9,1
117-6	III elCck	44765	735	n.b.	641	15005	n.b.	608	1060	n.b.	296	330	n.b.	n.b.	21,3

**Anhang 137:** Laborwerte Profil 123

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %							Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %		
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU				U	T
123-1	Ah	0-7	2,1	3,2	10,7	15,9	23,1	20,4	12,6	56,2	27,9	Lu	7,7	15,7
123-2	Bv-elCv	7-34	1,6	3,2	12,5	17,3	23,8	15,6	10,7	50,1	32,6	Tu3	7,6	≥c4
123-3	Bv-elCv	34-68	3,7	4,7	12,4	20,8	21,7	15,0	10,5	47,2	32,0	Lt2	7,6	22,9
123-4	II elCck	68-160	10,1	11,1	14,0	35,2	14,7	13,9	10,4	39,1	25,8	Lt2	7,7	35,5
123-5	III emCn	160-180	2,6	1,5	1,4	5,5	4,4	23,2	29,0	56,6	37,9	Tu3	7,8	52,3

**Anhang 138:** Laborwerte Profil 127

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Bodenart	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
127-1	Ap	0-17	0,4	13,9	24,1	38,4	22,5	3,9	6,5	32,9	6,3	8,2	14,3	28,8	Lt2
127-2	Ap	17-33	0,9	11,8	25,4	38,2	19,7	3,4	6,1	29,1	6,6	7,9	18,1	32,7	Lts
127-3	Bt	33-38	0,5	6,7	21,0	28,2	19,3	3,0	5,3	27,6	6,9	10,3	26,9	44,2	Lts
127-4	II Bt+elCv	38-88	1,9	6,5	16,0	24,4	18,8	2,3	6,5	27,5	7,7	12,1	28,3	48,0	TI
127-5	II Bt+elCv	88-135	1,2	4,2	12,7	18,1	19,9	5,3	10,3	35,5	8,6	11,9	25,9	46,4	Tu2
127-6	III emCn	135-140	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>			
127-1	Ap	26148	580	159	936	15025	240	720	1276	54	355	467	7,0	1,0	0,4
127-2	Ap	26414	461	181	1020	15962	237	761	1400	64	363	471	6,7	0,9	0,1
127-3	Bt	35867	415	143	1074	19739	248	1147	1903	33	310	383	7,1	0,8	0,2
127-4	II Bt+elCv	34186	384	69	897	21229	133	1001	1997	5	264	401	7,7	2,5	15,6
127-5	II Bt+elCv	32641	436	47	693	17327	110	1019	1415	2	332	339	7,8	3,8	26,1
127-6	III emCn	18955	284	10	198	7035	51	297	625	0	120	159	7,8	n.b.	46,5

**Anhang 139:** Laborwerte Profile 140, 141, 142

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>	Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>	Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew. %					in Gew. %					in Gew. %
140-1	eAhc	0-19	6,2	1,0	141-1	Ach	0-2	5,94	0	142-1	Ach	0-2	5,1	0,8
140-2	eCck	19-60	6,3	7,2	141-2	Ach	2-26	6,9	0	142-2	Bcv	2-13	4,0	1,1
140-3	eCck	60-100	n.b.	n.b.	141-3	elCck	26-56	n.b.	n.b.	142-3	Bcv	13-24	4,2	0,0
140-4	eCck	100-120	n.b.	n.b.						142-4	Bcv	24-35	5,8	0,5
140-5	eCck	120-180	n.b.	n.b.						142-5	Bv+elCv	35-46	7,0	6,7
140-6	eCck	180-200	n.b.	n.b.						142-6	elCc	46-56	n.b.	14,8
										142-7	elCc	56-67	7,1	18,8

**Anhang 140:** Laborwerte Profile 146 und 147

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>	Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew. %					in Gew. %
146-1	eAh	0-1	n.b.	n.b.	147-1	Ah	0-2	6,7	0,6
146-2	eAh	1-11	7,1	3,8	147-2	Bcv	2-15	6,7	0,2
146-3	eAh	11-21	7,1	8,7	147-3	Bcv	12-22	6,5	0,2
146-4	elCv	21-31	7,2	11,2	147-4	Bcv	22-32	6,4	0,6
146-5	elCv	31-46	7,3	18,3	147-5	Bv+elCv	32-42	6,6	2,3
					147-6	II elCv	42-52	7,0	2,7
					147-7	II elCv	52-62	7,1	26,3
					147-8	II elCv	62-72	7,3	14,9
					147-9	II elCv	72-82	7,3	14,2
					147-10	II elCc	82-100	n.b.	n.b.

**Anhang 141:** Laborwerte Profil 149

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
149-1	eAch	0-10	3,8	7,2	4,7	15,8	28,6	15,2	11,0	54,7	29,5	Lu	6,3	7,4
149-2	eAch	10-20	10,6	7,3	17,5	35,4	22,9	13,0	9,5	45,3	19,3	Ls2	6,5	22,3
149-3	elCkc	20-30	10,0	9,0	18,0	37,1	18,4	11,3	8,0	37,7	25,2	Lt2	6,8	40,4
149-4	elCkc	30-40	11,2	9,5	2,0	22,7	26,6	15,2	12,1	53,9	23,4	Lu	6,9	26,5
149-5	emC	40-60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 142:** Laborwerte Profil 155

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
155-1	eAhc	0-17	3,1	3,2	7,5	13,9	14,2	16,8	14,9	45,9	40,2	Lt3	7,0	16,6
155-2	eICck	17-42	1,5	1,5	6,3	9,3	11,3	18,4	19,1	48,8	42,0	Lt3	6,9	22,9
155-3	emC	42+	11,5	8,9	1,9	22,4	5,5	22,6	25,0	53,1	24,5	Lu	7,4	40,8

**Anhang 143:** Laborwerte Profil 158

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
158-1	Ah	0-5	5,3	11,0	25,3	41,6	18,8	11,7	8,4	38,9	19,5	Ls3	5,5	0,0
158-2	Bv	5-14	1,9	8,1	23,0	33,0	19,0	11,9	9,3	40,3	26,8	Lt2	5,9	0,0
158-3	Bv	14-24	1,9	8,7	22,1	32,8	20,2	10,2	6,9	37,3	29,9	Lt2	5,9	0,0
158-4	II Cv	24-36	1,7	9,9	20,5	32,2	15,8	9,7	5,9	31,4	36,5	Lt3	5,4	0,0
158-5	II Cv	36-48	2,0	10,5	18,0	30,4	16,9	9,8	6,1	32,8	36,9	Lt3	5,6	0,0
158-6	II eICck	48+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 144:** Laborwerte Profil 159

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
159-1	Ah	0-2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
159-2	Bv-Cv	2-15	4,2	8,4	24,5	37,1	22,2	11,7	7,2	41,2	21,6	Ls2	6,3	1,6
159-3	eICck	15-26	8,4	9,8	24,1	42,3	13,8	10,6	8,6	33,0	24,7	Ls3	7,2	15,0
159-4	eICck	26-41	13,8	10,6	22,4	46,8	14,8	11,9	7,7	34,4	18,8	Ls3	7,2	31,9
159-5	eICck	41-48	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 145:** Laborwerte Profil 162

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
162-1	Ah	0-6	5,5	9,6	21,6	36,6	20,3	12,4	10,0	42,7	20,6	Ls2	4,8	0
162-2	Bv	6-16	7,2	8,9	19,6	35,7	17,1	13,1	9,9	40,1	24,1	Ls2	4,8	0
162-3	Bv	16-26	8,8	10,5	19,7	39,0	19,4	12,7	10,4	42,4	18,6	Ls2	4,9	0
162-4	Bv	26-36	11,5	8,8	16,2	36,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,9	0
162-5	Bv	36-46	12,8	7,5	14,3	34,6	14,5	12,9	9,1	36,5	28,8	Lt2	5,5	0
162-6	Bv	46-56	10,7	10,2	16,0	36,9	12,5	11,8	9,0	33,3	29,7	Lt2	6,5	0
162-7	eICc	56-68	18,7	15,0	19,8	53,5	10,4	12,2	8,2	30,7	15,7	Sl4	7,1	9,9
162-8	eICc	68-80	14,9	18,7	18,5	52,1	14,9	16,2	8,1	39,3	8,6	Sl3	7,3	11,7

**Anhang 146:** Laborwerte Profil 163

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
163-1	Alh	0-7	6,5	11,2	23,9	41,6	17,8	13,7	9,0	40,4	17,9	Ls2	4,7	0,0
163-2	Alh	7-17	11,3	10,2	24,2	45,7	12,7	10,6	10,1	33,4	20,9	Ls3	4,7	0,0
163-3	Bvt	17-27	5,5	8,5	16,2	30,2	7,4	11,4	12,2	31,0	38,9	Lt3	4,5	0,0
163-4	Bvt	27-37	4,0	7,1	14,4	25,5	10,5	13,2	11,2	34,9	39,6	Lt3	4,7	0,0
163-5	Bvt	37-47	4,0	5,5	12,2	21,7	9,2	13,8	12,2	35,2	43,1	Lt3	5,0	0,0
163-6	Bvt	47-57	2,5	4,8	12,4	19,7	6,9	12,0	13,1	32,1	48,2	Tu2	5,1	0,0
163-7	Bvt	57-67	2,3	3,3	12,0	17,6	10,7	14,3	14,8	39,8	42,6	Lt3	5,5	0,0
163-8	Bvt	67-77	1,7	7,3	13,3	22,3	5,8	13,3	14,4	33,5	44,2	Lt3	5,3	0,0

Anhang 147: Laborwerte Profil 164

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
164-1	Ah	0-8	13,4	18,9	18,0	50,3	13,0	10,0	7,3	30,3	19,4	Ls3	5,4	0,0
164-2	Bv	8-16	8,3	9,2	17,4	34,9	14,3	11,4	9,3	35,0	30,1	Lt2	5,6	0,0
164-3	Bv	16-26	6,9	9,1	15,8	31,8	14,1	9,8	8,2	32,1	36,1	Lt3	5,9	0,0
164-4	Bv	26-36	9,5	10,0	14,8	34,3	13,2	9,5	7,0	29,7	36,0	Lts	6,9	0,3
164-5	eICkc	36-46	12,7	12,9	14,7	40,3	13,8	11,3	7,4	32,4	27,2	Lt2	7,4	7,1
164-6	eICkc	46-56	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	7,8
164-7	eICkc	56-66	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5	12,1
164-8	eICkc	66-76	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5	24,9
164-9	eICkc	76-86	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,6	16,5
164-10	eICkc	86-100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,7	25,1
164-11	eICkc	100-120	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5	36,2
164-12	eICkc	120-140	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5	36,0
164-13	eICkc	140-160	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,6	28,5

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
164-1	Ah	40685	665	n.b.	1008	19001	n.b.	832	1525	n.b.	455	580
164-2	Bv	44254	736	n.b.	1384	22292	n.b.	1028	1903	n.b.	589	658
164-3	Bv	50782	769	n.b.	1297	24319	n.b.	1163	2173	n.b.	521	651
164-4	Bv	49769	847	n.b.	1308	24383	n.b.	1200	2123	n.b.	572	678
164-5	eICkc	44014	685	n.b.	638	19563	n.b.	612	1609	n.b.	278	554
164-6	eICkc	38725	612	n.b.	927	16618	n.b.	788	1337	n.b.	348	437
164-7	eICkc	33209	517	n.b.	499	12250	n.b.	376	833	n.b.	231	316
164-8	eICkc	30519	495	n.b.	477	13864	n.b.	343	764	n.b.	204	295
164-9	eICkc	33897	557	n.b.	518	12583	n.b.	380	723	n.b.	241	316
164-10	eICkc	29131	501	n.b.	473	11098	n.b.	318	720	n.b.	198	263
164-11	eICkc	21603	379	n.b.	615	8923	n.b.	457	760	n.b.	214	188
164-12	eICkc	23315	390	n.b.	591	10709	n.b.	338	889	n.b.	153	223
164-13	eICkc	21847	388	n.b.	403	9434	n.b.	266	838	n.b.	121	203

Anhang 148: Laborwerte Profil 166

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
166-1	Ah	0-2	1,4	10,7	18,9	31,1	17,0	13,2	10,5	40,7	28,2	Lt2	4,7	0,0
166-2	Bv	2-20	1,9	8,9	17,8	28,6	11,9	10,8	10,3	32,9	38,5	Lt3	5,2	0,0
166-3	II Bcv	20-39	3,7	8,8	15,7	28,2	11,7	11,3	9,7	32,6	39,2	Lt3	5,8	1,3
166-4	II Bcv	39-51	7,4	7,4	13,9	28,7	11,7	12,4	9,4	33,5	37,8	Lt3	6,4	4,8
166-5	II Bcv	51-63	5,3	5,7	9,3	20,4	21,7	21,5	14,5	57,7	22,0	Lu	6,9	3,7
166-6	II eICkc	63-78	6,3	6,2	8,9	21,4	8,9	12,6	11,5	33,1	45,6	Tu2	6,9	3,5
166-7	II eICkc	78-93	10,3	6,8	11,3	28,4	8,3	12,2	11,7	32,2	39,4	Lt3	7,2	19,4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
166-1	Ah	30158	538	488	n.b.	n.b.	473	n.b.	n.b.	202	n.b.	n.b.
166-2	Bv	36889	600	464	1607	16298	499	1223	1613	123	454	499
166-3	II Bcv	37688	559	214	1643	19930	330	1131	1686	91	464	565
166-4	II Bcv	43316	582	169	1630	19023	275	1152	1496	89	448	496
166-5	II Bcv	41420	516	153	1611	16817	269	1249	1450	43	419	437
166-6	II eICkc	41656	416	55	1548	16818	153	1242	1492	4	374	412
166-7	II eICkc	33802	381	24	1098	14077	93	892	1228	1	232	301

**Anhang 149:** Laborwerte Profil 167

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
167-1	Ah	0-3	3,8	7,1	19,9	30,9	14,6	11,5	11,2	37,3	31,8	Lt2	5,9	0,0
167-2	Bv	3-13	3,3	5,5	19,5	28,2	15,3	11,7	10,4	37,5	34,3	Lt2	6,2	0,0
167-3	Bv	13-24	3,4	5,1	17,1	25,6	12,3	11,1	9,8	33,3	41,2	Lt3	6,5	0,0
167-4	Bv+elCv	24-36	10,0	5,6	11,3	26,9	12,1	12,3	10,1	34,5	38,6	Lt3	7,2	9,5
167-5	Bv+elCv	36-45	14,7	10,4	11,1	36,2	11,0	13,8	12,6	37,4	26,4	Lt2	7,3	29,3
167-6	Bv+elCv	45-55	18,2	14,1	12,4	44,7	9,2	13,0	14,2	36,4	18,9	Ls3	7,5	41,4
167-7	elCkc	55-100	20,9	15,5	15,4	51,9	13,5	13,7	10,7	37,9	10,2	Sl3	7,6	44,0

**Anhang 150:** Laborwerte Profil 170

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
170-1	eAhc	0-5	0,2	3,7	9,1	13,0	11,1	15,1	17,0	43,3	43,7	Lt3	6,8	13,6
170-2	elCc	5-30	2,8	1,9	7,7	12,4	14,7	17,8	19,3	51,8	35,8	Tu3	7,0	34,1
170-3	elCc	30-60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
170-4	elCc	60-90	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
170-1	eAhc	25953	421	240	1900	14926	122	787	1501	32	314	384
170-2	elCc	29523	441	64	1211	16022	99	812	1506	6	306	384
170-3	elCc	24950	283	25	449	12621	72	424	1037	2	135	217
170-4	elCc	22416	230	14	454	11078	58	399	868	2	123	176

**Anhang 151:** Laborwerte Profil 171

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
171-1	eAhc	0-3	7,3	5,5	17,3	30,1	14,5	10,9	8,3	33,7	36,1	Lt3	7,5	3,2
171-2	Bv+elCv	3-11	9,3	6,2	15,5	31,1	15,6	9,7	7,7	33,1	35,8	Lt3	7,5	2,6
171-3	Bv+elCv	11-22	10,6	7,7	16,5	34,8	14,8	9,4	7,2	31,3	33,9	Lt2	7,5	18,9
171-4	II elCv	22-33	11,2	8,1	16,4	35,7	14,6	9,8	8,1	32,5	31,8	Lt2	7,4	32,5
171-5	II elCv	33-50	12,2	9,1	14,6	35,9	15,2	11,7	9,4	36,3	27,8	Lt2	7,4	≥c4
171-6	II elCn	50-70	14,6	9,0	13,2	36,8	13,3	11,2	9,5	34,0	29,1	Lt2	7,5	≥c4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
171-1	eAhc	40278	722	125	1378	21540	178	897	1848	81	478	584
171-2	Bv+elCv	46078	750	101	1304	25227	184	947	2323	78	481	665
171-3	Bv+elCv	46470	733	105	1195	23639	207	853	2092	57	520	600
171-4	II elCv	47646	726	72	1626	22716	154	953	1929	29	517	568
171-5	II elCv	45131	686	45	1277	20331	109	686	1697	12	397	479
171-6	II elCn	40715	643	41	1230	20380	106	655	1532	7	395	452

**Anhang 152:** Laborwerte Profil 172

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew.%
172-1	eAhc	0-1	n.b.	n.b.
172-2	elCc	1-55	7,5	41,2
172-3	II elCc	55-61	7,6	42,2
172-4	II elCc	61-88	7,6	39,1

**Anhang 153:** Laborwerte Profil 173

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
173-1	Ah	0-4	5,3	8,1	23,3	36,7	22,4	4,7	8,5	35,6	9,4	6,2	12,2	27,8	Lt2
173-2	M	4-10	5,9	6,3	22,2	34,5	22,1	4,7	8,7	35,5	9,1	6,8	14,1	30,0	Lt2
173-3	M	10-20	4,4	6,2	20,7	31,3	21,7	4,1	8,9	34,7	10,5	8,1	15,4	34,0	Lt2
173-4	M	20-30	5,1	5,9	19,5	30,5	19,9	4,4	9,6	33,8	11,1	8,4	16,1	35,6	Lt3
173-5	II Bvt	30-41	8,0	6,9	18,7	33,6	17,4	4,7	7,5	29,5	8,9	10,0	17,9	36,8	Lts
173-6	II Bt+elCv	41-50	8,8	8,4	16,5	33,7	14,5	4,2	7,9	26,7	9,1	11,3	19,2	39,6	Lts
173-7	II Bt+elCv	50-60	9,4	11,0	16,4	36,7	14,9	4,7	8,4	27,9	9,5	9,7	16,1	35,3	Lts
173-8	II Bt+elCv	60-70	9,5	11,2	16,6	37,4	16,8	3,8	9,8	30,4	9,7	8,2	14,4	32,2	Lt2
173-9	II elCc	70-80	16,2	13,6	19,5	49,3	15,4	5,0	9,3	29,8	7,4	6,5	7,0	21,8	Ls4
173-10	II elCc	80-90	17,5	14,8	19,0	51,3	16,1	4,9	9,1	30,1	6,0	5,4	7,1	20,3	Ls3
173-11	II elCc	90-100	17,0	14,3	18,0	49,3	16,7	5,6	9,7	32,0	6,8	5,4	6,6	19,1	Ls3
173-12	II elCc	100-110	18,5	16,8	17,8	53,0	15,2	5,3	9,5	30,0	6,4	4,9	5,7	18,7	Ls4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>				Mn <sub>D</sub>
173-1	Ah	31164	612	528	2106	19778	462	944	1713	242	479	574	4,56	4,44	0
173-2	M	36087	446	564	2138	22650	685	1208	2174	139	347	383	3,7	1,35	0
173-3	M	46470	733	269	1795	24552	358	890	2033	178	567	799	4,98	1,17	0
173-4	M	41970	768	218	1144	25115	324	651	1916	104	393	740	6,32	0,87	0
173-5	II Bvt	47111	794	137	1025	27189	225	553	2096	94	383	732	6,42	0,9	0
173-6	II Bt+elCv	54224	977	66	907	23891	126	562	1863	21	347	599	7,05	n.b.	4,43
173-7	II Bt+elCv	41858	626	43	828	22603	122	669	1729	6	272	526	7,2	n.b.	18,46
173-8	II Bt+elCv	42282	643	46	637	19342	123	422	1451	6	272	482	7,26	n.b.	17,505
173-9	II elCc	37894	665	63	630	18072	128	430	1290	4	278	473	7,33	n.b.	21,2
173-10	II elCc	36045	621	21	704	16375	64	431	1157	2	299	390	7,41	n.b.	29,7
173-11	II elCc	34931	564	15	661	14918	63	360	1001	2	259	346	7,28	n.b.	30,5
173-12	II elCc	32654	554	16	598	16427	51	281	1108	2	209	368	7,2	n.b.	33,2

Anhang 154: Laborwerte Profil 174

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
174-1	Ah	0-5	6,2	9,5	22,4	38,0	20,0	3,8	8,9	32,7	10,9	7,6	10,8	29,3	Lt2
174-2	Al-Bv	5-10	6,1	6,6	22,1	34,8	22,0	3,6	8,1	33,7	10,8	8,5	12,2	31,5	Lt2
174-3	Al-Bv	10-14	6,9	6,2	20,5	33,7	19,9	3,7	8,0	31,5	10,0	9,7	15,1	34,8	Lt2
174-4	Bvt	14-24	6,9	5,8	16,7	29,3	16,8	3,7	6,9	27,4	9,5	12,1	21,7	43,3	Lts
174-5	Bvt	24-34	5,6	4,4	16,6	26,6	17,2	3,2	6,6	26,9	9,9	12,4	24,1	46,4	TI
174-6	Bvt	34-44	8,9	5,2	11,7	25,8	18,0	2,4	6,0	26,4	9,0	14,2	24,6	47,9	TI
174-7	Bvt	44-54	8,6	5,4	12,6	26,6	15,1	3,0	6,3	24,5	8,9	14,0	26,1	49,0	TI
174-8	Bvt	54-65	6,6	7,6	17,5	31,8	16,2	2,8	6,2	25,2	7,8	12,3	22,9	43,1	Lts
174-9	II Bt+elCv	65-75	9,1	8,5	17,7	35,2	18,7	3,6	8,8	31,1	9,3	9,4	15,0	33,7	Lt2
174-10	II Bt+elCv	75-85	15,9	13,3	17,1	46,3	16,7	5,5	9,8	32,1	8,2	6,1	7,3	21,7	Ls3
174-11	II elCck	85-98	19,2	14,6	15,6	49,4	12,8	5,1	10,6	28,5	8,9	5,8	7,4	22,1	Ls4
174-12	II elCck	98-110	14,7	12,4	20,2	47,3	15,3	7,8	9,5	32,6	7,6	5,1	7,5	20,1	Ls3
174-13	II elCck	110-130	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>				Mn <sub>D</sub>
174-1	Ah	33907	382	653	1633	20707	615	768	1756	128	246	353	4,4	2,7	0,0
174-2	Al-Bv	38560	552	497	1393	22983	566	772	1794	155	367	517	4,2	1,2	0,0
174-3	Al-Bv	43598	629	343	1292	24759	396	716	1907	107	455	559	4,7	1,0	0,0
174-4	Bvt	49282	640	224	1193	28092	299	719	2123	69	433	571	4,7	0,7	0,0
174-5	Bvt	59890	707	261	1396	35694	405	859	2960	72	495	651	4,8	0,6	0,0
174-6	Bvt	74130	1198	213	1447	36840	335	831	2817	71	481	648	5,1	0,6	0,0
174-7	Bvt	62459	810	167	1503	32570	265	844	2584	71	584	671	5,4	0,5	0,0
174-8	Bvt	52423	704	101	1163	29470	171	696	2179	7	450	648	6,3	1,1	4,3
174-9	II Bt+elCv	45446	607	38	1028	25268	91	568	1810	5	369	537	6,4	n.b.	12,3
174-10	II Bt+elCv	35803	552	12	862	19837	50	440	1312	2	304	401	6,5	n.b.	25,3
174-11	II elCck	30778	524	22	604	18987	57	260	1200	3	240	358	6,5	n.b.	22,8
174-12	II elCck	31375	545	15	544	16160	46	261	980	3	266	344	6,9	n.b.	32,4
174-13	II elCck	32356	533	11	575	16943	44	275	1120	2	233	367	7,2	n.b.	17,6

Anhang 155: Laborwerte Profil 175

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
175-1	Ah	0-3	8,7	9,8	23,6	42,1	21,5	4,6	8,4	34,5	9,7	7,2	6,4	23,4	Ls3
175-2	Al-Bv	3-15	9,0	10,2	22,8	41,9	20,6	4,3	7,3	32,2	8,8	8,0	9,0	25,9	Lt2
175-3	Al-Bv	15-25	13,4	10,7	21,6	45,8	16,7	2,9	6,1	25,7	8,0	8,6	11,9	28,5	Lts
175-4	Bvt	25-35	15,2	10,5	20,1	45,8	14,9	2,7	5,4	23,0	7,6	10,2	13,4	31,2	Lts
175-5	Bvt	35-46	18,2	15,2	20,0	53,3	15,6	2,9	5,7	24,3	6,2	7,0	9,2	22,4	Ls4
175-6	II elCck	46-61	19,5	14,2	20,6	54,3	17,0	4,6	8,2	29,8	5,8	4,9	5,2	15,9	SI4
175-7	II elCck	61-90	20,5	16,7	19,3	56,5	15,6	5,5	9,2	30,2	5,3	3,9	4,0	13,2	SI4
175-8	II elCck	90-120	9,7	17,7	22,1	49,5	18,7	5,9	10,9	35,5	6,2	4,1	4,7	15,0	SI4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>			Mn <sub>D</sub>
175-1	Ah	36845	763	n.b.	1060	21871	n.b.	594	1743	n.b.	542	706	5,8	0,0
175-2	Al-Bv	42022	707	n.b.	1179	n.b.	n.b.	667	n.b.	n.b.	554	n.b.	5,5	0,0
175-3	Al-Bv	48068	815	n.b.	1312	21782	n.b.	718	2009	n.b.	477	597	5,4	0,0
175-4	Bvt	48941	860	n.b.	1305	24546	n.b.	892	2048	n.b.	666	705	7,2	3,9
175-5	Bvt	46439	787	n.b.	927	16880	n.b.	773	1276	n.b.	510	550	7,3	13,7
175-6	II elCck	30175	706	n.b.	668	13768	n.b.	624	949	n.b.	412	464	7,6	33,7
175-7	II elCck	30368	493	n.b.	385	12714	n.b.	246	798	n.b.	192	277	7,7	24,9
175-8	II elCck	28311	450	n.b.	351	11996	n.b.	298	879	n.b.	177	269	7,8	28,3

**Anhang 156:** Laborwerte Profil 176

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
176-1	Ah	0-9	3,7	6,1	20,0	29,9	24,6	13,9	9,1	47,6	22,5	Ls2	4,2	0,0
176-2	Al+Bt	9-26	3,5	4,2	19,9	27,6	20,8	14,2	11,4	46,4	26,0	Lt2	4,2	0,0
176-3	Al+Bt	26-42	6,4	4,9	15,2	26,4	28,1	15,8	10,8	54,7	18,9	Lu	4,1	0,0
176-4	II Btv	42-56	11,0	9,0	15,5	35,5	16,4	15,5	11,6	43,6	20,9	Ls2	4,1	0,0
176-5	II Btv	56-70	5,5	3,8	15,2	24,5	28,4	18,9	10,9	58,2	17,3	Lu	4,1	0,0
176-6	III Btv	70-105	6,3	5,1	13,0	24,4	13,6	13,0	9,2	35,8	39,8	Lt3	4,8	0,0

**Anhang 157:** Laborwerte Profil 177

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
177-1	eIAh	0-10	5,4	6,7	11,0	23,1	14,2	16,1	14,2	44,4	32,5	Lt2	7,3	23,5
177-2	eM	10-35	1,8	3,1	6,7	11,5	13,2	17,4	14,2	44,7	43,8	Lt3	7,2	22,8
177-3	eM	35-60	1,2	2,0	6,7	9,9	14,0	16,6	14,9	45,4	44,7	Lt3	7,4	14,7
177-4	II eICc	60-90	2,2	2,9	10,0	15,1	13,8	14,2	13,3	41,3	43,7	Lt3	7,4	17,6

**Anhang 158:** Laborwerte Profil 181

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
181-1	eAh	0-3	10,0	12,5	32,7	55,2	11,4	7,5	5,0	23,8	21,0	Ls4	7,2	11,9
181-2	Bv-elCv	3-20	16,1	11,7	24,9	52,7	11,6	8,3	5,8	25,7	21,6	Ls4	7,3	9,4
181-3	Bv-elCv	20-35	7,6	10,0	27,4	45,0	12,7	9,1	5,9	27,7	27,3	Lts	7,4	15,3
181-4	Bv-elCv	35-50	9,1	10,9	21,5	41,5	14,5	10,5	7,3	32,2	26,3	Lt2	7,7	11,9
181-5	eCkc	50-90	10,8	7,5	13,0	31,4	25,1	20,3	13,2	58,6	10,0	Uls	7,8	33,7

**Anhang 159:** Laborwerte Profile 185 und 188

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>	Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew. %					in Gew. %
185-1	Ah	0-2	n.b.	n.b.	188-1	M	170-193	5,5	0,0
185-2	M	2-25	5,1	0,0	188-2	M	193-216	5,9	0,0
185-3	M	25-47	5,4	0,9	188-3	II fBt+eICv <sup>c</sup> Cc	216-270	6,3	35,1

**Anhang 160:** Laborwerte Profil 186

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
186-1	Ah	0-2	1,6	7,8	19,2	28,5	30,3	15,3	10,3	55,8	15,7	Uls	4,7	0,0
186-2	M	2-32	3,5	11,3	23,7	38,5	20,1	11,4	7,2	38,6	22,9	Ls3	5,2	0,0
186-3	M	32-57	3,2	7,7	19,4	30,4	17,9	13,2	9,5	40,6	29,0	Lt2	5,1	0,0
186-4	M	57-83	2,7	7,3	21,3	31,3	22,4	14,3	11,2	47,8	20,9	Ls2	5,0	0,1
186-5	M	83-100	1,0	8,5	21,7	31,2	22,5	13,0	10,9	46,5	22,3	Ls2	5,6	0,0
186-6	M	100-160	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 161: Laborwerte Profil 190**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bode n-	pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub>	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U					T
190-1	Ah	0-10	4,2	7,3	29,3	40,8	20,0	10,3	8,1	38,4	20,8	Ls3	4,81	4,87	0
190-2	M	10-23	4,4	5,3	27,1	36,8	21,7	10,1	7,2	39,0	24,2	Ls3	4,81	0,69	0
190-3	M	23-33	4,9	4,7	22,6	32,2	22,2	10,2	7,3	39,7	28,1	Lt2	4,77	1,06	0
190-4	M	33-43	5,1	4,6	24,2	33,9	24,5	9,9	6,4	40,9	25,2	Lt2	4,65	0,73	0
190-5	II fAl <sup>+</sup> Bt	43-53	5,3	4,3	22,1	31,6	26,6	10,8	7,2	44,6	23,8	Ls2	4,64	2,06	0
190-6	II fAl <sup>+</sup> Bt	53-60	5,9	3,7	20,1	29,7	19,5	10,6	8,0	38,1	32,2	Lt2	4,68	0,52	0
190-7	III fBt	60-70	2,8	3,5	18,4	24,6	14,4	9,9	7,3	31,6	43,8	Lt3	5,3	1,34	0
190-8	III fBt	70-80	3,7	2,4	13,7	19,9	15,9	11,6	8,4	35,9	44,2	Lt3	6,16	n.b.	0
190-9	III fBt	80-90	5,2	3,1	16,9	25,2	17,8	9,6	6,8	34,1	40,7	Lt3	6,36	n.b.	0,0
190-10	III fBt	90-100	6,3	3,8	17,0	27,1	11,5	8,4	6,9	26,8	46,1	TI	6,45	n.b.	0,0
190-11	IV fBt+Cv <sup>+</sup> Cc	100-120	7,5	3,3	12,6	23,4	17,9	12,9	10,6	41,4	35,1	Lt3	6,54	n.b.	3,5
190-12	IV fBt+Cv <sup>+</sup> Cc	120-140	6,2	3,7	16,2	26,2	13,0	10,9	8,1	32,0	41,8	Lt3	6,6	n.b.	≥c4
190-13	eICc	140-180	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	≥c4
190-14	eICc	180-220	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	≥c4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>o</sub>
190-1	Ah	20716	249	n.b.	1219	13056	n.b.	733	1818	n.b.	218	241
190-2	M	22553	248	n.b.	907	14834	n.b.	694	1960	n.b.	183	226
190-3	M	24748	235	n.b.	808	15872	n.b.	734	1912	n.b.	207	241
190-4	M	26771	239	n.b.	843	16108	n.b.	710	2086	n.b.	194	228
190-5	II fAl <sup>+</sup> Bt	30472	211	n.b.	830	17729	n.b.	691	2151	n.b.	174	234
190-6	II fAl <sup>+</sup> Bt	32249	216	n.b.	831	19384	n.b.	729	2340	n.b.	176	221
190-7	III fBt	41051	245	n.b.	1119	25671	n.b.	950	3091	n.b.	243	276
190-8	III fBt	44065	366	n.b.	1115	27907	n.b.	993	3461	n.b.	227	286
190-9	III fBt	44128	273	n.b.	965	26255	n.b.	877	3182	n.b.	211	246
190-10	III fBt	45447	404	n.b.	1114	26845	n.b.	865	3245	n.b.	257	296
190-11	IV fBt+Cv <sup>+</sup> Cc	38121	327	n.b.	1009	24800	n.b.	778	2995	n.b.	291	343
190-12	IV fBt+Cv <sup>+</sup> Cc	40285	347	n.b.	825	24261	n.b.	716	2811	n.b.	243	313
190-13	eICc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
190-14	eICc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 162: Laborwerte Profile 192 und 193**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew.%
192-1	Ah	0-5	6,4	0,0
192-2	Moder Bv	5-30	6,3	0,0
192-3	Moder Bv	30-65	6,3	n.b.
192-4	II emC	65+	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew.%
193-1	Ah	0-2	5,5	0,0
193-2	Bv	2-17	6,1	0,0
193-3	Bv	17-34	6,2	0,0
193-4	Cv	34-48	7,2	40,6
193-5	II eICck	48-60	n.b.	n.b.

**Anhang 163:** Laborwerte Profil 194

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
194-1	M	0-20	24,9	0,4	2,8	28,2	16,4	15,4	13,0	44,8	27,0	Ls2	5,8	0,0
194-2	M	20-40	14,2	4,9	6,6	25,7	18,2	15,8	12,9	47,0	27,3	Ls2	6,0	0,0
194-3	M	40-60	4,3	10,3	16,9	31,4	14,9	14,0	11,8	40,8	27,7	Lt2	5,9	0,0
194-4	M	60-80	4,8	10,9	16,9	32,6	14,9	14,1	13,0	42,0	25,4	Ls2	6,0	0,0
194-5	M	80-100	5,6	11,7	18,7	36,0	13,0	13,2	12,2	38,5	25,5	Ls3	5,9	0,0
194-6	M	100-120	5,5	11,9	18,4	35,9	14,7	12,7	10,9	38,3	25,7	Ls3	6,0	0,0
194-7	M	120-140	5,5	11,3	18,7	35,5	16,3	14,2	11,5	42,0	22,5	Ls2	5,9	0,0

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
194-1	M	31432	567	174	1438	14668	227	705	1421	54	414	517
194-2	M	32719	555	136	1392	15041	206	685	1486	57	423	531
194-3	M	33257	585	291	1353	14772	449	670	1504	88	427	537
194-4	M	33903	644	137	1420	14889	207	666	1417	64	451	559
194-5	M	30946	612	143	1517	14427	220	660	1324	39	465	555
194-6	M	31442	621	110	1597	14660	162	672	1352	39	482	575
194-7	M	31313	653	100	1584	14424	140	658	1403	33	472	569

**Anhang 164:** Laborwerte Profil 195

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
195-1	M	260-300	3,4	12,3	21,2	37,0	17,5	12,4	9,4	39,3	23,8	Ls3	6,5	0,0
195-2	II fBt <sup>c</sup> Cc	300-340	6,4	8,5	11,6	26,5	15,7	15,2	12,2	43,1	30,4	Lt2	7,1	13,5
195-3	II fBt <sup>c</sup> Cc	340-377	6,9	8,0	9,7	24,6	12,1	15,3	13,3	40,8	34,6	Lt2	7,3	22,9
195-4	III eICc	377-400	9,4	8,4	10,4	28,2	15,3	17,6	14,2	47,1	24,7	Ls2	7,4	n.b.

**Anhang 165:** Laborwerte Profil 198

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
198-1	Ah	0-2	9,0	8,4	23,2	40,5	13,2	9,0	8,4	30,6	28,9	Lt2	6,0	0,0
198-2	Al-Bv	2-9	6,3	7,3	18,7	32,3	10,7	9,8	8,8	29,3	38,4	Lts	6,5	0,8
198-3	Bt+eICv	9-21	10,7	7,5	11,7	29,9	8,0	10,5	8,7	27,2	42,9	Lts	6,8	7,7
198-4	II eICv	21-34	9,2	9,4	10,2	28,8	8,1	9,3	10,2	27,6	43,7	Lts	7,1	16,7
198-5	II eICk	34-57	9,1	12,9	10,9	33,0	13,3	11,3	12,3	37,0	30,0	Lt2	7,3	25,4
198-6	II eICk	57-90	15,8	9,9	9,3	35,0	11,7	13,5	13,1	38,4	26,6	Lt2	7,4	36,7

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
198-1	Ah	36287	553	n.b.	871	19494	n.b.	770	2156	n.b.	359	458
198-2	Al-Bv	42462	499	n.b.	854	23112	n.b.	826	2243	n.b.	309	407
198-3	Bt+eICv	44802	510	n.b.	794	23663	n.b.	985	2493	n.b.	300	376
198-4	II eICv	41268	419	n.b.	836	21506	n.b.	1073	2075	n.b.	274	354
198-5	II eICk	30822	356	n.b.	689	15028	n.b.	967	1447	n.b.	216	268
198-6	II eICk	21419	251	n.b.	440	9714	n.b.	546	1127	n.b.	109	162

**Anhang 166:** Laborwerte Profil 199

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T				
199-1	eAh	0-1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
199-2	eAh/elCc	1-25	6,2	4,6	7,3	18,2	16,3	19,6	16,3	52,1	29,7	Lu	6,5	32,9	
199-3	elCc	25-50	3,0	3,0	5,6	11,6	13,1	17,5	18,5	49,1	39,3	Lt3	6,8	29,5	
199-4	elCc	50-74	3,2	4,5	6,9	14,6	15,8	22,2	20,3	58,3	27,1	Lu	7,0	23,3	
199-5	II elCc	74-100	4,1	4,7	6,2	15,0	16,6	20,8	20,0	57,5	27,5	Lu	7,4	36,6	
199-6	III elCc	100-150	10,3	8,0	10,0	28,3	14,4	18,4	19,2	51,9	19,8	Lu	7,2	42,0	
199-7	IV elCc	150-164	7,4	5,8	6,5	19,6	16,2	18,9	19,4	54,6	25,8	Lu	7,3	38,9	
199-8	IV elCc	164-189	6,2	4,6	5,1	15,8	23,9	21,5	19,2	64,7	19,5	Lu	7,4	41,1	
199-9	IV emCc	189-210	9,0	3,9	3,9	16,9	20,6	21,7	19,5	61,8	21,3	Lu	7,3	37,7	

**Anhang 167:** Laborwerte Profil 202

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
202-1	Ach	0-5	3,1	10,1	24,8	38,0	11,0	8,8	9,1	28,9	33,1	Lts	6,5	0,3
202-2	M	5-20	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,6	0,3
n.b.	II xCc	20-100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
202-3	III fBv <sup>o</sup> Cc	100-115	2,2	7,5	26,0	35,7	10,3	9,8	8,8	29,0	35,4	Lts	6,6	1,0
202-4	III fBv <sup>o</sup> Cc	115-130	3,8	7,2	26,2	37,3	12,9	8,8	7,9	29,7	33,1	Lts	6,6	0,3
202-5	IV elCkc	130-148	2,9	6,3	25,4	34,7	10,6	8,5	8,6	27,7	37,6	Lts	6,6	≥c4
202-6	IV elCkc	148-175	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,7	≥c4
202-7	IV elCkc	175-200	26,8	18,6	13,2	58,5	8,4	9,7	9,7	27,8	13,7	SI4	6,8	≥c4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>
202-1	Ach	27046	494	n.b.	962	16566	n.b.	1100	1526	n.b.	464	515
202-2	M	30330	585	n.b.	1190	17325	n.b.	1359	1630	n.b.	454	488
n.b.	II xCc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
202-3	III fBv <sup>o</sup> Cc	34109	1256	n.b.	1254	20303	n.b.	1308	1903	n.b.	1214	1288
202-4	III fBv <sup>o</sup> Cc	34629	648	n.b.	1139	19176	n.b.	1123	1767	n.b.	828	878
202-5	IV elCkc	35849	586	n.b.	1084	18998	n.b.	1116	1689	n.b.	546	592
202-6	IV elCkc	27262	310	n.b.	770	8715	n.b.	979	827	n.b.	123	159
202-7	IV elCkc	20620	237	n.b.	544	6482	n.b.	689	613	n.b.	60	91

**Anhang 168:** Laborwerte Profil 204

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
204-1	Ah	0-2	5,8	8,7	21,8	36,3	16,2	10,9	7,7	34,8	28,9	Lt2	n.b.	n.b.
204-2	Bv+elCv	2-12	6,4	8,4	22,4	37,3	16,5	10,5	6,9	33,9	28,8	Lt2	6,7	1,6
204-3	Bv+elCv	12-25	20,0	18,5	17,0	55,5	11,1	10,8	9,2	31,0	13,5	SI4	6,8	5,6
204-4	elCc	25-40	21,3	15,7	17,6	54,6	11,1	11,8	10,4	33,3	12,2	SI4	7,5	43,9
204-5	elCkc	40-60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	42,4

**Anhang 169:** Laborwerte Profil 205

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew.%
205-1	Ah	0-6	5,6	0,0
205-2	Ah	6-20	5,4	0,0
205-3	Bv	20-35	5,3	0,0
205-4	Bv	35-50	5,7	0,0
205-5	Bcv	50-60	6,3	0,4
205-6	eICc	60-75	6,0	6,1
205-7	eICc	75-90	6,5	17,9

**Anhang 170:** Laborwerte Profil 206

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub>	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U			T	in Gew.%
206-1	eAch	0-13	3,5	6,4	18,1	28,0	16,9	9,5	8,4	34,8	37,2	Lt3	6,1	3,4
206-2	eAch	13-25	3,4	6,3	17,2	26,9	16,6	9,8	8,5	35,0	38,2	Lt3	6,5	4,2
206-3	eMc	25-38	3,6	5,9	16,8	26,2	19,3	12,7	8,5	40,6	33,2	Lt2	6,6	4,9
206-4	eMc	38-50	3,8	5,0	16,4	25,3	20,3	11,9	8,4	40,6	34,1	Lt2	6,6	3,1
206-5	eMc	50-63	3,2	4,7	16,6	24,5	27,0	12,1	7,4	46,5	29,0	Lt2	6,4	3,0
206-6	eMc	63-75	2,1	4,9	16,0	23,0	16,8	11,7	8,0	36,5	40,5	Lt3	6,2	1,3
206-7	II fBvt <sup>o</sup> Cc	75-88	2,7	5,0	15,3	23,0	13,9	9,5	6,8	30,2	46,9	Tu2	6,1	0,1
206-8	II fBvt <sup>o</sup> Cc	88-100	2,8	4,9	14,3	22,0	8,6	8,5	6,6	23,7	54,3	TI	6,1	0,1
206-9	II fBvt <sup>o</sup> Cc	100-113	1,3	4,4	14,5	20,3	13,4	9,2	6,4	29,1	50,7	TI	6,1	0,0
206-10	II fBvt <sup>o</sup> Cc	113-125	1,4	4,4	14,7	20,5	10,6	8,9	7,4	26,9	52,6	TI	6,1	0,0

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
206-1	eAch	33178	688	n.b.	860	15242	n.b.	801	1057	n.b.	478	576
206-2	eAch	35187	640	n.b.	897	16391	n.b.	808	1107	n.b.	473	601
206-3	eMc	33284	596	n.b.	882	15198	n.b.	833	1048	n.b.	482	567
206-4	eMc	n.b.	n.b.	n.b.	1070	16609	n.b.	894	1094	n.b.	542	622
206-5	eMc	38808	692	n.b.	1084	16468	n.b.	908	1055	n.b.	536	611
206-6	eMc	45919	677	n.b.	1017	18561	n.b.	833	1270	n.b.	576	620
206-7	II fBvt <sup>o</sup> Cc	49289	794	n.b.	1274	23081	n.b.	1078	1668	n.b.	587	663
206-8	II fBvt <sup>o</sup> Cc	52389	622	n.b.	1205	25255	n.b.	962	1948	n.b.	550	657
206-9	II fBvt <sup>o</sup> Cc	52170	765	n.b.	1620	25087	n.b.	1435	1812	n.b.	572	662
206-10	II fBvt <sup>o</sup> Cc	52801	803	n.b.	1236	26204	n.b.	1003	1852	n.b.	655	724

**Anhang 171: Laborwerte Profil 210**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %												Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT	T			
210-1	Ah	0-2	4,4	13,9	19,5	37,7	28,5	5,8	8,5	42,8	6,9	2,7	10,0	19,5	LS2	5,6	0,0
210-2	Al-Bv	2-12	3,3	10,6	24,0	37,9	34,0	3,4	5,9	43,3	5,5	4,6	8,7	18,8	LS2	5,8	0,0
210-3	Al-Bv	12-22	3,8	10,2	21,6	35,5	28,2	3,5	7,5	39,2	8,0	6,6	10,7	25,3	Lt2	6,0	0,0
210-4	Al-Bv	22-32	3,7	10,2	21,4	35,3	30,1	3,0	7,6	40,8	7,4	6,4	10,1	23,9	LS2	5,7	0,0
210-5	Al-Bv	32-42	3,2	9,4	18,8	31,5	28,4	3,0	7,7	39,2	9,0	7,7	12,6	29,3	Lt2	6,0	0,0
210-6	Al-Bv	42-52	2,9	9,3	22,3	34,5	28,9	2,0	5,8	36,7	7,3	7,5	14,1	28,8	Lt2	6,0	0,0
210-7	II Bvt	52-60	2,8	8,6	24,4	35,8	25,1	1,6	4,4	31,0	5,3	6,7	21,1	33,2	Lt2	5,9	0,0
210-8	II Bvt	60-68	2,9	8,8	27,0	38,7	24,7	0,6	4,0	29,3	4,3	5,7	22,0	32,0	Lts	5,9	0,0
210-9	III Bvt	68-84	2,8	11,6	30,0	44,4	13,8	2,2	3,0	18,9	4,5	8,4	23,7	36,6	Lts	6,1	0,0
210-10	III eIcV	84-120	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,8	18,2
210-11	III eIcKc	120+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 172: Laborwerte Profil 211**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %												Boden- art
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT	T	
211-1	Alh	0-2	3,1	6,9	23,2	33,2	15,5	3,8	9,8	29,2	11,7	12,1	13,8	37,7	Lts
211-2	Al-Bv	2-12	8,0	5,4	18,3	31,7	15,1	6,6	9,7	31,4	9,6	10,3	17,1	36,9	Lt3
211-3	Bvt	12-25	2,0	3,9	14,4	20,2	13,8	4,7	9,8	28,3	9,3	14,7	27,5	51,5	TI
211-4	Bvt	25-38	3,8	3,5	12,5	19,8	12,2	3,5	9,0	24,7	13,2	18,8	23,5	55,5	TI
211-5	II Bt+eIcV	38-50	7,6	4,3	10,0	22,0	11,6	7,8	10,1	29,5	12,2	16,0	20,4	48,5	TI
211-6	II Bt+eIcV	50-60	16,8	8,4	9,0	34,1	9,6	8,2	11,5	29,3	10,5	12,4	13,7	36,6	Lts
211-7	II eIcKc	60-100	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>			Mn <sub>D</sub>
211-1	Alh	33011	462	n.b.	1062	16357	n.b.	888	1922	n.b.	352	410	5,7	0,0
211-2	Al-Bv	38333	481	168	1154	18928	222	1010	2272	145	376	434	6,0	0,0
211-3	Bvt	44369	548	151	1287	21345	221	1239	2502	106	384	448	6,4	0,0
211-4	Bvt	46837	529	115	1415	21296	188	1295	2501	66	380	430	6,7	2,3
211-5	II Bt+eIcV	43818	550	90	1436	19509	164	1242	2209	27	347	403	6,8	8,6
211-6	II Bt+eIcV	34110	426	53	1193	16270	129	1027	1301	6	214	819	6,8	29,0
211-7	II eIcKc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 173: Laborwerte Profil 212**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Boden- art	pH	C <sub>T</sub> in Gew. %	CaCO <sub>3</sub>	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U					T
212-1	Alh	0-4	2,0	9,6	26,8	38,4	20,5	10,6	8,3	39,4	22,2	Ls3	5,2	2,22	0
212-2	Al-Bv	4-21	3,2	7,4	26,9	37,5	17,9	11,2	8,7	37,8	24,7	Ls3	5,26	1,89	0
212-3	II Btv	21-35	2,3	7,4	23,4	33,1	16,5	11,1	11,5	39,1	27,8	Lt2	5,46	0,48	0
212-4	II Btv	35-50	2,2	6,7	25,6	34,5	17,1	10,6	8,3	36,0	29,5	Lt2	5,62	0,43	0
212-5	II Btv	50-65	1,8	6,3	26,4	34,5	17,7	10,8	9,1	37,6	27,9	Lt2	5,42	0,39	0
212-6	II Btv	65-80	1,3	6,3	26,8	34,5	17,4	11,4	8,8	37,6	27,9	Lt2	5,47	0,39	0
212-7	II Btv	80-95	1,5	5,7	26,7	33,9	17,7	10,6	9,4	37,7	28,4	Lt2	5,47	0,38	0
212-8	II Btv	95-110	2,6	5,1	23,0	30,7	18,4	11,7	8,9	39,0	30,3	Lt2	5,56	0,38	0
212-9	II Btv	110-130	4,1	5,0	21,8	30,9	18,2	13,1	9,5	40,8	28,2	Lt2	5,48	0,46	0,0
212-10	II elCv	130-160	11,0	9,8	17,6	38,3	14,3	12,5	9,3	36,1	25,6	Lt2	5,52	n.b.	11,3

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>
212-1	Alh	26215	439	337	1163	15133	371	906	1601	197	326	404
212-2	Al-Bv	31853	449	259	1012	15148	315	832	1417	176	333	392
212-3	II Btv	31631	420	200	1059	18733	339	1007	1881	72	384	429
212-4	II Btv	33660	490	214	1164	19885	356	1022	1843	79	410	455
212-5	II Btv	34183	558	179	1028	20053	285	947	1908	78	397	477
212-6	II Btv	38487	531	236	998	21253	343	896	1949	97	380	425
212-7	II Btv	36719	516	147	1090	21510	217	940	1894	57	438	442
212-8	II Btv	37626	470	165	1147	21125	236	1088	1941	76	348	392
212-9	II Btv	38604	529	152	1073	21180	224	816	1955	77	478	509
212-10	II elCv	35461	558	71	951	16065	122	691	1132	15	374	536

**Anhang 174: Laborwerte Profil 213**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
213-1	Ah	0-5	4,2	13,3	21,1	38,6	14,7	12,7	10,4	37,8	23,6	Ls3	4,93	0,0
213-2	M	5-15	5,2	11,7	23,8	40,8	11,9	11,9	9,4	33,3	25,9	Lt2	4,84	0,0
213-3	M	15-30	3,8	10,0	18,5	32,3	14,2	11,8	11,5	37,6	30,1	Lt2	4,91	0,0
213-4	M	30-40	4,2	10,3	18,6	33,1	13,9	12,0	10,0	35,9	31,0	Lt2	5,5	0,0
213-5	M	40-50	4,1	11,6	20,7	36,4	14,1	12,1	9,3	35,4	28,1	Lt2	5,57	0,0
213-6	M	50-60	3,9	11,6	20,5	36,0	11,4	11,3	10,5	33,2	30,8	Lt2	5,41	0,0
213-7	M	60-70	4,0	11,9	21,4	37,2	10,8	11,5	10,1	32,4	30,3	Lt2	5,23	0,0
213-8	M	70-80	3,8	13,7	24,0	41,5	12,1	9,9	7,8	29,7	28,7	Lts	5,37	0,0
213-9	III Btv	80-105	3,3	17,2	27,6	48,0	12,8	10,7	7,4	30,9	21,1	Ls3	5,09	0,0
213-10	III Btv	105-130	4,5	15,7	28,5	48,7	13,7	11,0	7,2	32,0	19,4	Ls3	5,26	0,0
213-11	III Cv	130-140	3,7	15,4	26,5	45,6	16,6	11,3	7,4	35,3	19,1	Ls3	5,27	0,0
213-12	IV Cv	140-150	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 175: Laborwerte Profil 214**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT		T
214-1	Ah	0-8	3,2	4,4	9,7	17,3	16,8	5,8	11,7	34,3	12,1	10,8	25,5	48,4	Tu2
214-2	M	8-16	1,2	1,9	9,2	12,2	19,6	4,9	11,5	36,1	12,6	14,4	24,7	51,7	Tu2
214-3	M	16-30	1,6	1,5	8,8	11,9	17,1	5,4	11,8	34,2	12,3	14,4	27,2	53,9	Tu2
214-4	II fBv*Sw-Cv	30-44	0,1	0,9	10,1	11,1	19,1	6,0	10,9	36,1	12,0	14,0	26,8	52,8	Tt
214-5	III fCv*Sw-Cv	44-62	0,2	1,1	10,8	12,1	17,2	5,8	11,6	34,6	13,4	12,6	27,3	53,3	Tu2
214-6	III fCv*Sw-Cv	62-80	0,5	1,3	11,5	13,3	19,5	4,9	10,3	34,7	12,3	12,8	26,8	52,0	Tu2
214-7	III Sd-eIC	80-110	0,9	2,4	10,6	13,9	20,1	8,0	13,0	41,0	11,5	11,0	22,6	45,1	Tu2
214-8	III Sd-eIC	110-140	1,7	3,3	7,8	12,8	15,0	11,1	18,9	44,9	12,4	9,6	20,3	42,3	Lt3

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>				Mn <sub>D</sub>
214-1	Ah	33886	546	n.b.	1623	17914	n.b.	1079	2040	n.b.	440	522	6,2	6,6	1,2
214-2	M	34906	495	n.b.	1537	20591	n.b.	1090	2081	n.b.	497	556	6,5	2,9	3,2
214-3	M	39606	548	n.b.	1428	22492	n.b.	1116	2200	n.b.	530	585	6,8	1,7	3,0
214-4	II fBv*Sw-Cv	43308	660	n.b.	1897	23240	n.b.	1211	2204	n.b.	624	645	6,6	0,7	0,4
214-5	III fCv*Sw-Cv	40998	648	n.b.	1255	23537	n.b.	1024	2052	n.b.	622	685	6,9	0,8	2,6
214-6	III fCv*Sw-Cv	42010	575	n.b.	1157	23732	n.b.	989	2027	n.b.	505	549	7,1	1,2	4,5
214-7	III Sd-eIC	31652	387	n.b.	927	18616	n.b.	656	1582	n.b.	359	342	7,3	n.b.	19,4
214-8	III Sd-eIC	25676	439	n.b.	730	14417	n.b.	509	1165	n.b.	391	312	7,5	n.b.	29,2

**Anhang 176: Laborwerte Profil 215**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT		T
215-1	Ah	0-7	1,9	7,1	14,9	23,8	14,2	4,8	9,5	28,4	11,6	10,0	26,1	47,7	Tl
215-2	Bv+elCv	7-18	1,9	5,3	12,8	20,0	16,5	4,1	9,4	30,0	11,5	13,6	25,0	50,0	Tl
215-3	Bv+elCv	18-28	3,0	6,6	11,1	20,7	15,1	5,0	10,3	30,4	12,0	13,5	23,4	48,9	Tu2
215-4	elCv	28-39	4,5	7,1	10,5	22,0	15,4	6,2	12,9	34,4	11,9	11,2	20,5	43,5	Lt3
215-5	elCv	39-50	4,1	8,3	11,2	23,5	15,8	8,5	16,1	40,4	12,1	9,0	14,9	36,0	Lt3
215-6	elCc	50-65	4,2	8,1	10,4	22,7	15,6	9,5	18,2	43,3	12,4	7,7	13,8	34,0	Lt2

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %	
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>			Mn <sub>D</sub>
215-1	Ah	44677	680	n.b.	2122	26030	n.b.	1261	2577	n.b.	545	624	4,5	0,0
215-2	Bv+elCv	48183	756	n.b.	1955	28543	n.b.	1148	2671	n.b.	614	684	6,0	1,5
215-3	Bv+elCv	46149	737	n.b.	1612	23877	n.b.	992	1966	n.b.	465	451	6,5	14,9
215-4	elCv	39030	601	n.b.	1223	22678	n.b.	784	1919	n.b.	337	434	6,8	24,5
215-5	elCv	30356	416	n.b.	825	18157	n.b.	529	1447	n.b.	252	269	7,2	38,4
215-6	elCc	25725	366	n.b.	637	14878	n.b.	380	1117	n.b.	156	201	7,2	36,8

**Anhang 177: Laborwerte Profil 216**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %							Bode- n-	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %		
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU				U	T
216-1	eAh/Bv-elCv	0-20	1,6	1,8	8,4	11,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,8	2,7
216-2	Bv-elCv	20-40	1,1	1,1	6,9	9,1	12,2	11,8	13,7	37,6	53,3	Tu2	6,7	7,7
216-3	elCc	40-60	2,6	1,0	7,8	11,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,2	24,5
216-4	elCc	60-80	1,5	1,3	8,6	11,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,4	18,3
216-5	elCc	80-105	1,3	1,7	8,8	11,8	14,5	14,3	15,6	44,4	43,8	Lt3	7,5	20,1

Anhang 178: Laborwerte Profil 217

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
217-1	Ah	0-4	3,0	11,1	24,3	38,4	20,0	15,5	12,0	47,5	14,1	Slu	4,9	0,0
217-2	Al-Bv	4-10	2,1	11,1	21,5	34,7	12,9	16,7	12,7	42,3	23,0	LS2	5,2	0,0
217-3	Al-Bv	10-20	1,6	10,8	18,9	31,2	17,5	14,2	13,1	44,8	24,0	LS2	5,1	0,0
217-4	Bvt	20-30	1,6	8,3	15,7	25,6	16,0	15,7	11,9	43,6	30,9	Lt2	5,3	0,0
217-5	Bvt	30-39	1,5	6,7	14,9	23,1	13,2	15,3	12,1	40,7	36,3	Lt3	6,0	0,0
217-6	Bt+elCv	39-50	4,3	6,0	11,2	21,5	13,8	15,4	10,1	39,2	39,2	Lt3	7,2	4,7
217-7	Bt+elCv	50-60	1,2	2,7	6,5	10,5	14,5	17,7	14,0	46,2	43,4	Lt3	7,4	5,2
217-8	II elCv	60-80	1,5	4,4	8,1	14,1	10,9	20,4	11,6	42,9	43,0	Lt3	7,5	9,4
217-9	II elCv	80-100	2,7	3,3	6,1	12,1	9,8	20,6	14,6	45,1	42,8	Lt3	7,6	19,1

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>
217-1	Ah	27975	482	n.b.	2612	12107	n.b.	1229	1504	n.b.	475	463
217-2	Al-Bv	31645	519	n.b.	2272	14246	n.b.	1206	1796	n.b.	555	526
217-3	Al-Bv	33863	467	n.b.	2311	15616	n.b.	1272	1956	n.b.	530	539
217-4	Bvt	36530	527	n.b.	2370	16731	n.b.	1355	1932	n.b.	589	511
217-5	Bvt	39723	494	n.b.	2318	17923	n.b.	1477	1939	n.b.	550	426
217-6	Bt+elCv	39685	470	n.b.	1357	16039	n.b.	1213	1718	n.b.	356	354
217-7	Bt+elCv	39594	392	n.b.	1214	16452	n.b.	963	1816	n.b.	334	389
217-8	II elCv	35333	367	n.b.	935	15227	n.b.	858	1685	n.b.	266	326
217-9	II elCv	30931	347	n.b.	791	13453	n.b.	822	1433	n.b.	219	262

Anhang 179: Laborwerte Profil 219/223/224

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Bodenart	pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T				
224-1	Ap	0-26	5,7	10,5	21,8	38,0	22,4	9,6	5,9	37,9	24,1	LS3	4,6	0,8	0,0
224-2	M	26-52	4,4	10,9	21,3	36,6	13,3	8,8	6,5	28,6	34,8	Lts	4,8	0,9	0,0
224-3	II Bvt	52-75	3,0	7,9	18,0	28,9	14,1	9,0	5,5	28,6	42,6	Lts	5,2	0,6	0,0
223-1	II Bt+Cv	75-400	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,7	n.b.	0,0
223-2	II elCc	560-600	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,1	n.b.	0,0
219-1	II elCv	600-640	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,8	n.b.	0,4
219-2	II elCv	640-660	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,6	n.b.	6,4
219-3	II elCv	660-680	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,5	n.b.	25,8
219-4	III elCv	800+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>
224-1	Ap	27108	536	n.b.	1405	17410	n.b.	747	1375	n.b.	481	547
224-2	M	27704	461	n.b.	1399	18021	n.b.	806	1465	n.b.	419	529
224-3	II Bvt	42948	469	n.b.	1878	27646	n.b.	1278	2043	n.b.	401	444
223-1	II Bt+Cv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
223-2	II elCc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
219-1	II elCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
219-2	II elCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
219-3	II elCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
219-4	III elCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 180: Laborwerte Profil 220**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	fT		T
220-1	Ap	0-19	0,7	5,9	24,8	31,5	23,3	4,5	7,5	35,3	8,3	9,7	15,2	33,2	Lt2
220-2	Ap	19-38	0,5	5,8	25,4	31,6	22,8	4,4	7,7	34,9	8,2	8,9	16,4	33,5	Lt2
220-3	II Bct+elCv	38-58	5,2	4,4	16,2	25,7	18,5	5,1	9,0	32,6	9,3	11,1	21,3	41,6	Lt3
220-4	II Bct+elCv	58-81	5,5	5,4	15,8	26,7	18,3	4,5	8,4	31,2	8,8	10,8	22,4	42,1	Lt3
220-5	II elCc	81-88	7,6	6,1	14,7	28,4	16,4	5,5	11,4	33,3	9,7	9,7	18,9	38,3	Lt3

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>		
220-1	Ap	29316	806	n.b.	1105	14246	n.b.	1124	1631	n.b.	774	261	5,9	0,6
220-2	Ap	31091	1285	n.b.	741	17118	n.b.	884	1346	n.b.	609	875	6,3	0,6
220-3	II Bct+elCv	34675	865	n.b.	686	19310	n.b.	1018	1487	n.b.	549	833	6,9	5,7
220-4	II Bct+elCv	36025	847	n.b.	635	17762	n.b.	1019	1500	n.b.	485	689	7,3	20,2
220-5	II elCc	31319	661	n.b.	502	12458	n.b.	801	1063	n.b.	371	514	7,4	28,9

**Anhang 181: Laborwerte Profil 221**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %										Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	T				
221-1	Ap	0-17	2,4	3,8	8,6	14,8	16,9	17,5	14,9	49,3	36,0	Lt3	7,2	24,4	
221-2	eMc	17-34	3,9	3,1	6,4	13,5	14,7	17,1	19,0	50,7	35,8	Tu3	7,4	18,2	
221-3	eMc	34-51	0,8	2,2	5,7	8,7	10,5	18,6	20,5	49,6	41,6	Lt3	7,6	31,4	
221-4	II elCc	51-68	0,8	1,9	4,5	7,1	12,9	18,7	20,6	52,2	40,7	Tu3	n.b.	24,5	
221-5	II elCc	68-110	1,9	1,6	4,3	7,7	7,2	16,2	25,7	49,1	43,1	Lt3	n.b.	20,3	
221-6	II emCc	110-120	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>
221-1	Ap	22792	465	n.b.	353	7309	n.b.	584	753	n.b.	184	299
221-2	eMc	22487	407	n.b.	277	7909	n.b.	507	784	n.b.	151	277
221-3	eMc	22559	295	n.b.	234	7893	n.b.	456	882	n.b.	100	214
221-4	II elCc	20450	267	n.b.	163	7108	n.b.	324	693	n.b.	61	169
221-5	II elCc	17759	198	n.b.	146	6462	n.b.	226	565	n.b.	36	102
221-6	II emCc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 182: Laborwerte Profil 222**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>		
222-1	Ap	0-18	24836	468	n.b.	387	8301	n.b.	747	807	n.b.	256	354	6,6	8,3
222-2	Ap	18-36	25627	464	n.b.	439	9708	n.b.	907	970	n.b.	321	398	7,1	14,1
222-3	eMc	36-51	26606	599	n.b.	339	10795	n.b.	886	1040	n.b.	414	529	7,3	18,2
222-4	eMc	51-67	26015	646	n.b.	348	10309	n.b.	938	953	n.b.	507	592	7,3	18,7
222-5	II elCc	67-77	22327	1074	n.b.	482	8951	n.b.	1118	845	n.b.	1203	830	7,0	35,7
222-6	II elCc	100-116	18707	746	n.b.	148	5838	n.b.	320	458	n.b.	377	305	7,5	42,0
222-7	III Sw-elCv	116-130	21180	350	n.b.	198	9240	n.b.	425	811	n.b.	157	216	7,6	30,5
222-8	III Sw-elCv	130-150	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
222-9	IV Sw-elCv	150-165	20787	450	n.b.	177	8539	n.b.	352	651	n.b.	217	229	7,5	39,3

**Anhang 183: Laborwerte Profil 225**

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>P</sub>	Al <sub>O</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>P</sub>	Mn <sub>O</sub>	Mn <sub>D</sub>		
225-1	eMc	0-23	24243	556	n.b.	568	10931	n.b.	563	978	n.b.	352	416	7,0	20,1
225-2	eMc	23-46	25738	508	n.b.	563	12131	n.b.	637	1051	n.b.	329	385	7,2	25,8
225-3	II elCkc	46-80	26184	617	n.b.	346	9967	n.b.	363	818	n.b.	326	421	7,3	22,5

**Anhang 184:** Laborwerte Profil 226

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	pH	CaCO <sub>3</sub>
				in Gew.%
226-1	M	0-23	6,4	1,9
226-2	M	23-45	6,6	3,0
226-3	II e Cc	45-65	7,0	11,6
226-4	II e Cc	65-100	7,0	17,6

**Anhang 185:** Laborwerte Profil 227

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
227-1	eMc	0-35	5,1	3,0	37,7	45,8	7,7	9,7	8,7	26,1	28,1	Lts	6,5	23,3
227-2	eMc	35-70	5,1	3,1	10,4	18,6	11,9	13,6	13,9	39,5	41,9	Lt3	7,2	17,0
227-3	eMc	70-100	3,3	2,0	8,3	13,6	12,1	14,0	14,3	40,3	46,1	Tu2	7,4	15,4
227-4	II e Cc	100-130	1,7	1,4	8,4	11,5	11,9	17,7	18,9	48,6	40,0	Lt3	7,4	31,8
227-5	II e Cc	130-160	0,9	1,7	6,5	9,1	8,6	20,6	25,8	55,0	35,9	Tu3	7,5	34,6

Probe	Horizonte	Elementgesamtheite und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
227-1	eMc	28534	445	n.a.	688	13136	n.a.	869	1250	n.a.	334	412
227-2	eMc	30044	502	n.a.	686	13985	n.a.	898	1381	n.a.	394	427
227-3	eMc	33436	465	n.a.	758	14908	n.a.	974	1372	n.a.	395	427
227-4	II e Cc	24642	306	n.a.	327	10969	n.a.	438	996	n.a.	156	189
227-5	II e Cc	21488	286	n.a.								

**Anhang 186:** Laborwerte Profil 229

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %								Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew.%	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U				T
229-1	eMc	0-15	5,2	4,1	11,5	20,8	16,2	16,7	12,2	45,1	34,1	Lt2	7,5	7,3
229-2	eMc	15-29	5,0	3,1	10,0	18,1	14,4	14,0	12,5	40,8	41,1	Lt3	7,7	7,3
229-3	II e Cc	29-50	3,8	3,5	10,2	17,6	11,1	13,7	10,9	35,7	46,7	Tu2	8,4	7,3
229-4	III eCc	50-60	2,5	7,2	21,7	31,4	19,8	9,9	6,9	36,6	32,0	Lt2	8,4	7,3

Probe	Horizonte	Elementgesamtheite und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg										
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>D</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>D</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>D</sub>
229-1	eMc	28219	482	n.b.	521	12033	n.b.	713	1063	n.b.	328	398
229-2	eMc	32254	513	n.b.	617	15808	n.b.	874	1424	n.b.	379	453
229-3	II e Cc	33578	427	n.b.	624	16944	n.b.	861	1704	n.b.	334	420
229-4	III eCc	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 187:** Laborwerte Profil 230

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %									Boden- art	pH	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T			
230-1	eAch	0-20	5,0	7,3	17,1	29,4	16,4	11,9	11,3	39,6	31,0	Lt2	6,4	29,5
230-2	eICc	20-40	3,9	8,1	15,0	26,9	18,5	12,5	11,4	42,4	30,7	Lt2	6,8	28,1
230-3	II eICkc	40-60	3,8	7,3	14,3	25,4	21,1	12,4	12,1	45,7	28,8	Lt2	7,0	27,9
230-4	II eICkc	60-80	3,8	8,2	15,4	27,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,2	31,5
230-5	II eICkc	80-100	3,4	7,4	14,3	25,1	20,0	13,2	12,8	46,1	28,8	Lt2	7,0	24,9
230-6	II eICkc	100-120	2,5	5,9	12,3	20,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,2	25,9
230-7	II eICkc	120-140	2,2	6,4	12,7	21,3	16,6	15,1	13,2	44,9	33,8	Lt2	7,4	21,5
230-8	III eICck	140-160	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

**Anhang 188:** Laborwerte Profil 231

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
231-1	Ah	0-10	1,9	8,8	23,9	34,6	26,3	7,7	8,0	42,0	7,7	5,2	10,4	23,3	Ls2
231-2	Bv-Al	10-25	1,8	7,4	23,1	32,4	27,3	7,4	7,7	42,4	8,3	6,5	10,4	25,3	Lt2
231-3	Bvt	25-40	0,9	6,2	21,6	28,7	25,3	6,5	7,0	38,7	7,9	9,3	15,4	32,5	Lt2
231-4	Bvt	40-55	1,2	6,0	22,0	29,2	21,9	7,0	6,7	35,6	7,5	10,1	17,6	35,2	Lt3
231-5	Bvt	55-71	1,2	5,3	19,3	25,8	22,6	7,4	7,3	37,3	7,8	10,7	18,4	36,9	Lt3
231-6	II Bt+eICv	71-84	1,2	6,0	18,9	26,1	19,9	6,5	7,3	33,7	8,4	11,7	20,0	40,2	Lt3
231-7	II Bt+eICv	84-97	2,6	5,8	17,3	25,7	21,5	7,0	7,2	35,6	8,7	11,4	18,4	38,6	Lt3
231-8	II eICkc	97-110	14,4	15,1	20,2	49,7	7,9	10,2	11,7	29,8	10,1	5,0	5,4	20,5	Ls4

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>d</sub>			
231-1	Ah	18847	175	678	1410	10818	451	651	1488	114	216	213	4,57	2,73	0,0
231-2	Bv-Al	23387	261	253	719	13819	329	519	1572	123	265	303	4,41	0,65	0,0
231-3	Bvt	35950	266	145	892	21102	286	641	2002	79	327	338	4,54	0,41	0,0
231-4	Bvt	42571	321	124	937	24029	255	651	2385	42	391	364	4,97	0,36	0,0
231-5	Bvt	42932	388	125	924	24653	236	643	2419	40	343	364	4,88	0,43	0,0
231-6	II Bt+eICv	44073	351	74	1057	25110	140	843	2389	65	310	356	5,45	0,46	0,0
231-7	II Bt+eICv	41778	446	63	1055	23197	112	744	2171	35	332	410	6,09	1,09	3,6
231-8	II eICkc	17449	222	11	597	9241	84	413	779	1	127	167	6,71	n.b.	36,8

**Anhang 189:** Laborwerte Profil 232

Probe	Horizonte	Tiefe in cm	Textur, alle Werte in Gew. %											Boden- art	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	gT	mT	ft		T
232-1	Ah	0-6	5,6	3,8	17,0	26,5	21,0	5,9	11,4	38,3	12,6	8,3	14,3	35,2	Lt3
232-2	Al+Bt	6-26	5,2	4,0	19,0	28,2	22,7	5,5	10,3	38,5	11,5	8,8	13,1	33,3	Lt2
232-3	Al+Bt	26-46	7,0	4,7	16,0	27,7	19,1	5,5	10,4	35,0	11,2	9,3	16,8	37,3	Lt3
232-4	II fBvt*Bv	46-57	6,1	4,5	17,5	28,2	21,3	5,7	10,6	37,7	10,7	9,1	14,4	34,2	Lt2
232-5	II fBvt*Bv	57-68	6,4	5,5	18,5	30,4	22,3	5,7	10,2	38,2	10,7	7,9	12,7	31,4	Lt2
232-6	II fBvt*Bv	68-80	6,8	4,7	18,4	30,0	23,2	6,4	10,8	40,3	10,8	7,7	11,1	29,7	Lt2
232-7	III fBvt*Bv	80-120	10,2	6,8	15,0	32,0	17,5	5,2	11,3	34,0	11,8	9,1	13,2	34,0	Lt2

Probe	Horizonte	Elementgesamtgehalte und pedogene Oxide, alle Werte in mg/kg											pH	C <sub>T</sub>	CaCO <sub>3</sub> in Gew. %
		Fe <sub>T</sub>	Mn <sub>T</sub>	Fe <sub>p</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Al <sub>p</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>p</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>d</sub>			
232-1	Ah	46365	749	1105	2661	27636	999	1068	2492	211	669	803	4,2	3,39	0
232-2	Al+Bt	49703	858	993	2833	28757	945	1166	2482	175	726	804	4,02	2,57	0
232-3	Al+Bt	57669	1072	772	2745	31467	914	1240	2819	130	895	979	3,94	1,1	0
232-4	II fBvt*Bv	54644	704	531	3168	30819	695	1236	2713	96	847	894	4,06	0,53	0
232-5	II fBvt*Bv	50981	576	446	2451	29696	586	1004	2626	72	657	833	4,15	0,49	0
232-6	II fBvt*Bv	52467	710	457	2510	31108	581	963	2666	45	659	818	4,82	0,44	0
232-7	III fBvt*Bv	61494	724	248	1902	29732	416	732	2029	31	574	694	4,71	0,18	0

**Anhang 190:** Auswertung der Situmetrie mittels Eigenwerten nach Benn (2004)

Profil und Fazies	Anzahl Steine	Eigenwerte			Isotropie-index	Elongations-index
		s1	s2	s3		
110 - Basislage	50	0,66	0,27	0,07	0,11	0,59
119 - Basislage	51	0,65	0,29	0,06	0,09	0,55
135 - fluvial	41	0,56	0,32	0,12	0,21	0,43
136 - till	51	0,6	0,3	0,1	0,17	0,50
140 - till	50	0,59	0,27	0,14	0,24	0,54
142 - till	48	0,65	0,28	0,07	0,11	0,57
148 - till	30	0,78	0,11	0,11	0,14	0,86
149 - till	50	0,52	0,32	0,16	0,31	0,38
150 - till	50	0,58	0,3	0,12	0,21	0,48
152 - Hangschutt	50	0,75	0,22	0,03	0,04	0,71
152 - till	48	0,71	0,19	0,1	0,14	0,73
153 - till	47	0,6	0,28	0,12	0,20	0,53
164 - till	47	0,49	0,37	0,14	0,29	0,24
166 - Basislage	50	0,46	0,36	0,18	0,39	0,22
167 - till	50	0,48	0,34	0,18	0,38	0,29
171 - till	70	0,47	0,37	0,16	0,34	0,21
175 - Hauptlage	50	0,57	0,35	0,08	0,14	0,39
175 - till	50	0,53	0,29	0,18	0,34	0,45
195 - Basislage	50	0,5	0,38	0,12	0,24	0,24
197 - till	50	0,6	0,3	0,1	0,17	0,50
198 - till	50	0,47	0,37	0,16	0,34	0,21
180 - till	100	0,66	0,27	0,065	0,10	0,59
204 - till	49	0,51	0,37	0,12	0,24	0,27

**Anhang 191:** Morphometrie des Grobbodens

Profil und Fazies	Anzahl Steine	in %			
		kantig	kantengerundet	gerundet	stark gerundet
110 - Basislage	50	0	72	28	0
119 - Basislage	51	0	49	51	0
140 - till	50	0	28	60	12
142 - till	50	38	56	6	0
148 - till	30	20	50	30	0
149 - till	50	8	68	24	0
150 - till	50	22	64	14	0
152 - Hangschutt	50	30	68	2	0
152 - till	50	24	56	20	0
153 - till	50	32	60	8	0
164 - till	50	14	40	38	8
166 - Basislage	50	66	34	0	0
167 - till	50	34	52	14	0
169 - till	50	10	44	42	4
171 - till	50	10	44	42	4
175 - Hauptlage	50	34	38	26	2
175 - till	50	16	48	34	2
180 - till	100	26	65	9	0
195 - Basislage	50	38	58	4	0
197 - till	50	6	38	56	0
198 - till	50	34	26	38	2
204 - till	49	6	57	35	2

Anhang 192: Rohdaten Situmetrie Profile 110, 119, 135, 136, 140, 142, 148, 149 und 150

Lfn. Nr.	Profil 110 - Basislage		Profil 119 - Basislage		Profil 135 - fluvial		Profil 136 - hill		Profil 140 - hill		Profil 142 - hill		Profil 148 - hill		Profil 149 - hill		Profil 150 - hill		
	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	
1	60	4	150	6	220	20	140	20	240	28	160	12	130	34	130	10	60	20	
2	50	12	300	2	350	0	240	0	200	14	180	40	340	38	240	20	140	34	
3	60	32	80	8	330	40	240	25	240	10	300	0	160	15	170	50	120	18	
4	60	32	80	8	330	40	240	25	260	4	50	6	170	17	140	90	120	10	
5	40	10	320	42	320	25	200	0	160	0	190	12	156	10	180	24	320	69	
6	50	18	320	30	270	15	185	0	270	16	260	30	180	25	240	0	150	39	
7	40	18	160	4	270	25	105	55	170	32	150	20	210	20	280	0	140	10	
8	50	4	130	2	220	25	240	35	60	9	190	50	90	20	180	38	80	0	
9	50	14	20	32	230	65	150	45	60	2	210	16	150	18	120	16	180	44	
10	100	12	330	20	240	25	100	45	270	24	180	0	150	20	90	4	180	42	
11	300	48	330	12	255	50	150	40	220	32	200	6	140	18	210	58	150	33	
12	30	4	200	6	200	45	145	30	280	24	30	6	170	90	110	18	180	15	
13	30	14	120	24	210	20	150	30	180	26	190	16	140	42	230	18	210	38	
14	20	10	20	28	240	30	145	15	260	30	150	32	150	0	120	10	340	30	
15	50	40	40	10	300	10	100	5	230	16	170	31	180	20	90	24	240	44	
16	60	8	120	20	180	5	200	30	220	24	310	0	140	26	110	12	130	34	
17	100	18	340	20	180	25	195	5	50	20	170	10	130	18	210	90	240	18	
18	90	24	50	10	105	10	130	20	290	14	160	14	180	24	270	24	210	5	
19	90	8	110	4	230	10	130	20	140	56	240	10	180	34	210	0	90	15	
20	70	2	110	6	210	55	125	45	230	36	190	9	170	24	180	34	100	15	
21	100	16	350	12	180	10	230	5	140	0	230	18	170	20	50	20	90	28	
22	110	36	150	2	155	15	220	10	250	26	220	4	120	35	90	36	150	9	
23	0	14	0	12	215	30	135	20	70	20	160	16	180	44	90	38	100	20	
24	80	4	160	10	215	20	155	0	160	26	260	0	180	26	80	38	150	72	
25	10	12	170	8	250	30	150	20	220	28	180	2	180	18	110	4	140	12	
26	140	30	340	14	110	20	290	90	140	40	170	10	250	78	220	62	90	18	
27	100	24	130	22	105	15	130	30	230	14	180	10	150	50	120	6	70	49	
28	130	4	50	36	175	20	90	70	80	9	140	24	160	24	140	10	140	10	
29	60	10	320	42	330	10	170	50	240	62	180	12	140	26	170	64	130	34	
30	0	34	20	32	140	10	215	5	200	12	280	9	160	18	10	66	130	12	
31	120	22	40	12	335	90	180	10	170	20	190	34	160	18	140	26	160	36	
32	50	24	80	1	160	25	140	25	340	60	240	0	140	18	160	8	100	25	
33	80	12	340	4	210	55	210	45	70	28	210	30	160	8	160	0	100	25	
34	130	26	310	6	220	60	145	30	320	10	210	4	170	0	170	0	210	25	
35	110	18	110	6	235	40	210	5	300	41	140	32	150	32	150	32	0	12	
36	90	10	350	18	210	50	180	10	10	14	250	6	300	10	300	10	30	2	
37	80	20	320	20	160	25	140	25	240	48	200	34	150	24	150	24	90	8	
38	80	14	10	1	220	30	245	20	220	42	190	44	210	12	210	12	80	44	
39	0	8	320	1	210	30	180	15	250	4	180	48	160	18	60	15	100	14	
40	20	10	100	2	205	10	155	0	220	24	200	22	300	18	300	18	130	28	
41	200	6	230	10	110	40	160	15	230	54	20	12	70	14	60	14	140	14	
42	70	48	310	10	230	30	230	30	220	10	280	30	120	28	200	20	200	15	
43	120	22	330	1	250	12	100	5	250	12	180	12	100	20	100	20	100	10	
44	30	26	20	2	210	10	210	10	320	24	180	30	160	20	130	22	130	22	
45	50	14	20	1	340	18	175	20	340	18	300	22	130	14	130	14	170	0	
46	40	22	80	14	200	5	200	5	230	36	30	10	120	38	120	38	130	30	
47	100	38	330	8	180	45	180	45	250	16	260	4	110	20	100	0	130	30	
48	220	18	0	18	230	15	230	15	110	40	140	14	40	10	40	10	130	44	
49	300	24	10	14	220	40	220	40	110	12	140	14	30	38	30	38	320	10	
50	90	10	160	12	130	80	130	80	200	20	150	15	50	10	50	10	220	42	
51			160	6			150	25		50									

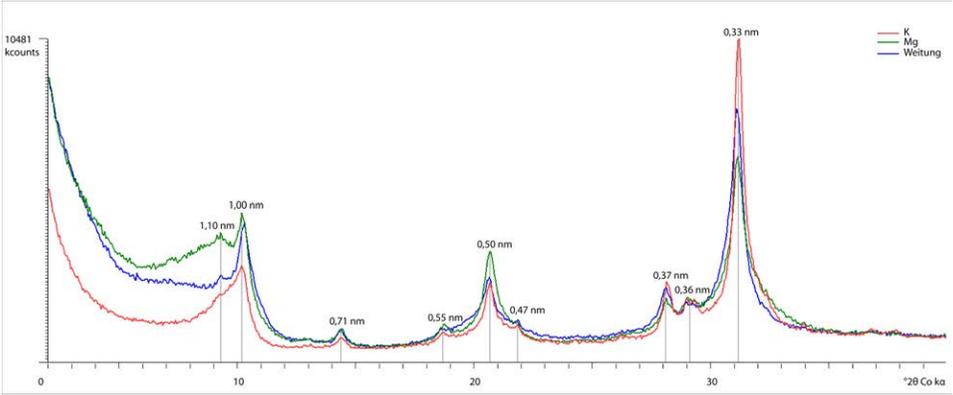
Anhang 193: Rohdaten Situmetrie Profile 152, 153, 164, 166, 167, 169 und 171

Lfn. Nr.	Profil 152 - Hangschutt		Profil 152 - rill		Profil 153 - rill		Profil 164 - rill		Profil 166 - Basislage		Profil 167 - rill		Profil 169 - rill		Profil 171 - rill Teil 1		Profil 171 - rill Teil 2		
	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	
1	220	16	150	24	270	8	180	76	240	58	130	10	180	10	250	19	90	20	
2	180	17	180	28	30	8	170	14	220	55	210	11	300	32	160	8	110	2	
3	180	18	180	28	50	4	100	22	320	50	80	30	70	12	180	0	60	18	
4	30	9	230	40	190	50	190	10	180	10	150	18	260	16	330	65	10	10	
5	270	11	220	62	40	10	200	48	140	0	330	18	180	0	200	14	80	12	
6	30	10	30	24	210	2	170	10	120	52	220	8	50	48	210	10	220	6	
7	190	20	200	38	160	34	260	34	100	8	190	9	220	20	100	32	216	66	
8	170	12	200	40	180	30	130	22	80	10	50	38	270	36	340	12	40	34	
9	180	20	240	30	280	68	370	18	210	8	90	10	120	48	180	34	60	16	
10	180	20	180	20	230	0	100	62	80	30	50	28	60	8	80	8	50	26	
11	210	14	190	4	40	35	180	20	80	12	300	4	180	0	320	32	80	2	
12	190	8	20	10	30	18	280	0	130	22	310	72	200	0	0	90	50	56	
13	170	22	170	20	280	0	260	10	320	6	30	0	330	70	300	24	140	8	
14	190	30	190	10	10	26	280	6	170	14	340	32	30	4	70	20	20	10	
15	250	10	260	68	200	36	280	8	160	16	240	14	240	16	140	22	60	4	
16	190	18	160	10	230	8	340	14	90	42	40	16	240	10	100	16	160	14	
17	190	8	230	38	180	12	340	4	50	26	200	0	240	32	190	0	280	10	
18	270	18	230	16	140	32	110	28	170	0	100	8	230	18	180	26	290	34	
19	180	24	310	4	60	4	280	18	40	14	60	10	50	10	170	0	80	8	
20	230	10	230	18	240	72	160	10	180	42	80	14	240	30	120	32	180	20	
21	210	26	290	34	230	34	140	42	40	8	260	46	180	10	180	20	140	8	
22	310	6	200	22	90	6	140	2	20	8	40	38	100	22	160	6	160	6	
23	200	18	260	40	230	8	210	40	240	36	240	35	100	45	80	20	20	20	
24	190	12	200	10	290	32	130	12	150	26	130	30	230	24	20	8	160	0	
25	290	0	280	10	280	0	210	0	30	46	10	0	150	24	160	0	280	10	
26	140	4	240	22	300	16	260	32	130	25	150	16	210	0	90	8	80	34	
27	160	6	210	10	300	28	280	28	140	46	250	22	160	18	130	10	170	10	
28	260	16	200	8	180	6	170	0	30	6	140	0	190	50	300	30	300	30	
29	210	0	200	40	230	4	150	32	60	10	100	40	50	26	190	20	60	10	
30	230	24	200	22	200	26	260	30	130	25	310	42	260	50	60	10	10	10	
31	230	20	210	50	220	0	250	10	60	10	10	56	40	10	10	44	40	44	
32	180	24	200	40	210	20	170	55	100	20	50	28	60	24	320	18	80	18	
33	190	24	160	46	220	12	160	32	110	20	120	22	250	40	80	16	160	16	
34	240	10	180	30	270	0	160	46	140	26	20	76	210	20	10	44	10	44	
35	200	12	190	46	210	0	180	52	80	12	70	11	250	10	80	32	150	24	
36	140	48	210	76	230	0	280	36	40	12	230	22	150	52	150	24	24	24	
37	190	20	160	32	140	19	240	14	280	60	80	2	200	22	0	90	20	90	
38	160	2	60	2	170	17	210	10	140	10	100	18	280	12	180	24	180	24	
39	280	4	170	26	270	4	0	20	230	12	70	4	0	90	250	24	24	24	
40	180	6	160	24	240	11	120	12	30	18	30	12	170	25	280	12	170	12	
41	180	10	180	26	230	0	240	0	310	34	80	30	300	32	80	16	160	16	
42	170	12	140	18	280	0	10	30	140	32	230	64	170	0	280	10	280	10	
43	220	26	180	10	280	2	160	18	20	62	300	36	180	10	100	34	100	34	
44	190	16	140	42	240	0	270	28	130	8	300	40	240	28	90	10	240	10	
45	180	20	180	30	230	15	230	0	90	36	180	16	290	20	330	10	330	10	
46	180	12	180	38	40	24	160	28	90	20	20	20	220	20	260	56	260	56	
47	190	24	150	38	170	20	160	24	160	10	66	310	24	240	34	110	0	110	0
48	220	12	190	14					160	30	60	24	230	22	30	14	100	0	
49	210	24	210	24					40	50	20	25	210	30	100	0	100	0	
50	200	23	200	23					90	18	320	32			90	10	50	12	
51																			

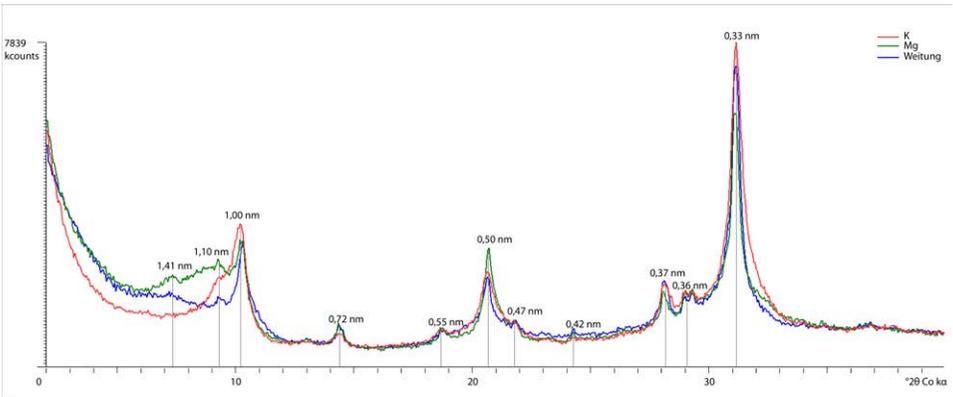
Anhang 194: Rohdaten Situmetrie Profile 175, 180, 195, 197, 198 und 204

Lfd. Nr.	Profil 175 - Hauptlage		Profil 175 - tiff		Profil 180 - tiff Teil 1		Profil 180 - tiff Teil 2		Profil 195 - Basislage		Profil 197 - tiff		Profil 198 - tiff		Profil 204 - tiff		
	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	Streichen in°	Fallen in°	
1	60	22	310	28	180	18	220	20	180	42	30	4	70	10	290	22	
2	130	20	200	60	10	52	340	6	200	2	300	24	200	30	140	24	
3	40	20	80	0	80	62	190	0	250	12	130	4	160	12	330	28	
4	320	10	30	34	10	24	190	38	130	28	330	28	160	34	50	26	
5	60	18	330	18	70	24	250	24	320	2	340	24	80	18	0	32	
6	120	46	180	64	70	26	180	14	120	32	330	32	280	14	40	18	
7	120	10	0	0	260	34	30	8	220	16	280	20	40	44	350	28	
8	120	0	180	4	170	16	140	12	230	0	20	18	200	20	90	8	
9	190	0	50	48	0	90	320	28	110	4	300	12	160	4	260	0	
10	100	70	100	58	280	10	350	10	90	4	330	38	140	0	220	2	
11	60	32	220	16	200	0	340	42	310	6	310	28	120	26	10	12	
12	140	44	350	10	40	20	130	16	130	12	140	2	270	50	120	44	
13	160	38	140	4	340	0	200	0	200	30	120	8	40	12	110	40	
14	110	44	170	10	120	0	0	12	240	10	280	36	60	0	30	14	
15	120	34	300	40	130	6	130	16	150	30	300	40	330	26	320	28	
16	110	48	0	34	150	8	350	62	90	80	250	32	180	44	90	10	
17	60	0	18	0	60	250	16	340	4	340	32	260	60	40	16	16	
18	170	0	130	22	50	8	290	42	40	16	300	28	180	18	80	52	
19	90	36	180	25	350	28	320	28	290	20	30	8	320	14	140	34	
20	50	30	180	10	310	48	40	30	250	2	310	12	180	0	10	36	
21	20	0	200	44	220	10	110	14	140	28	340	34	80	24	140	8	
22	0	4	100	34	270	62	260	28	230	4	330	18	80	26	340	12	
23	50	22	10	36	70	16	340	30	230	8	330	14	320	8	40	6	
24	120	24	90	26	110	26	20	42	260	8	190	22	200	14	0	22	
25	80	24	320	26	40	0	50	32	320	36	230	2	140	28	140	18	
26	120	58	0	10	60	32	190	8	210	4	340	14	130	22	300	16	
27	70	22	160	14	30	18	130	20	210	10	320	10	60	12	140	10	
28	150	38	180	18	0	90	340	14	280	30	200	4	170	24	0	44	
29	100	30	70	8	320	36	50	4	250	18	340	20	330	32	20	28	
30	320	0	30	20	80	46	180	20	330	28	270	8	80	40	50	46	
31	70	24	180	26	70	32	340	60	340	20	70	20	300	22	120	12	
32	60	30	190	12	340	12	310	16	280	22	200	10	260	12	340	10	
33	80	56	170	2	80	22	50	60	190	14	230	34	130	34	0	30	
34	230	28	50	76	70	24	60	52	120	32	20	12	100	4	340	16	
35	110	70	210	26	30	0	320	4	170	12	300	22	30	18	280	10	
36	150	40	120	0	40	66	350	14	180	6	20	2	130	30	340	10	
37	150	26	110	28	240	26	60	46	130	4	140	36	10	62	80	16	
38	140	20	160	30	130	10	230	4	310	24	330	24	90	34	100	20	
39	110	0	180	15	250	26	230	52	280	42	310	16	60	32	340	38	
40	130	0	60	50	140	50	160	4	110	18	110	24	90	16	140	22	
41	170	8	180	10	70	30	0	6	150	38	140	24	100	32	320	20	
42	150	28	260	30	260	48	330	16	130	6	290	46	100	10	40	36	
43	50	36	140	10	190	20	290	52	140	20	260	10	0	22	220	76	
44	90	24	50	22	320	30	36	230	2	120	14	150	12	340	14	340	14
45	180	8	60	14	90	4	220	14	200	34	340	6	150	28	290	40	
46	160	22	340	26	20	10	180	22	140	0	150	18	350	22	180	28	
47	40	10	150	14	240	22	350	26	130	10	60	18	70	20	50	4	
48	160	20	10	52	260	4	150	26	150	2	320	28	60	8	0	54	
49	50	24	350	50	180	16	340	6	280	2	80	10	240	36	50	36	
50	80	0	60	20	350	8	180	14	90	44	270	30	340	10	0	36	

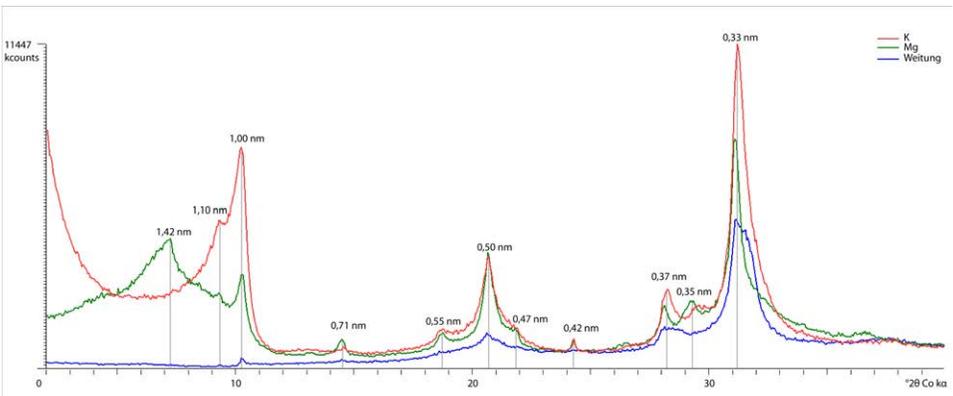
**Anhang 195: Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 13-26 cm unter GOK**



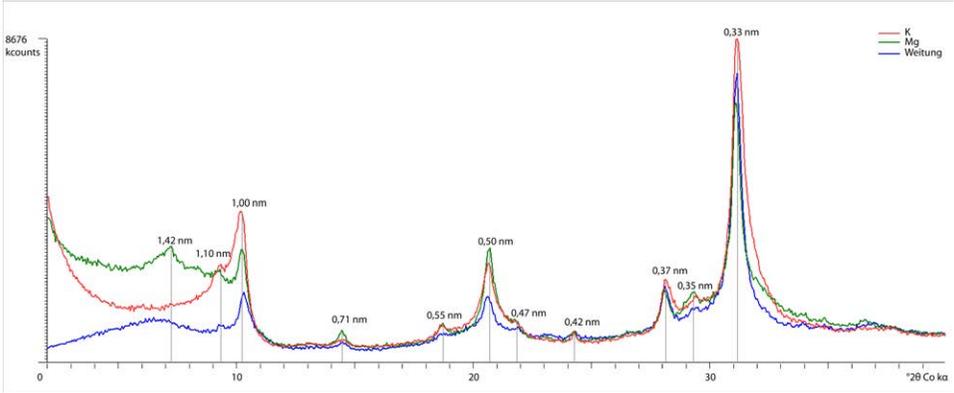
**Anhang 196: Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 63-75 cm unter GOK**



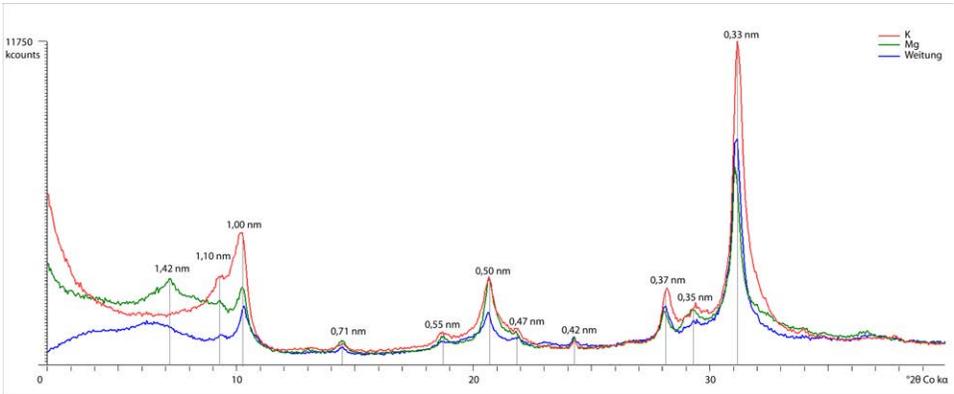
**Anhang 197: Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 68-110 cm unter GOK**



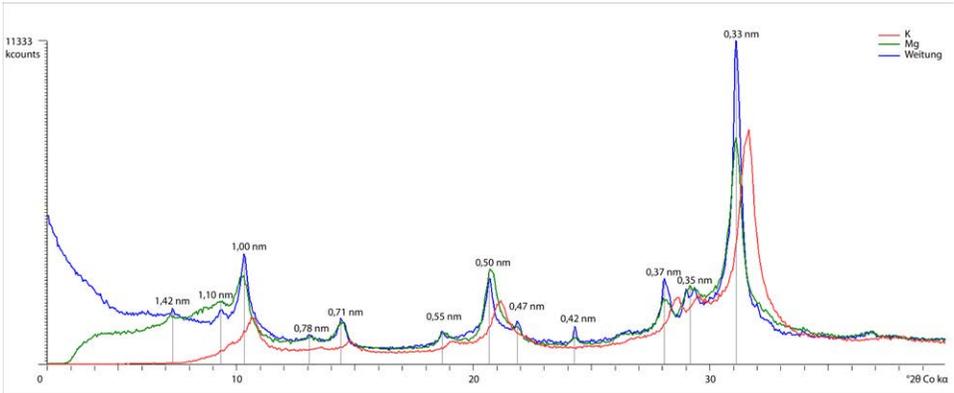
**Anhang 198:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 222, 18-36 cm unter GOK



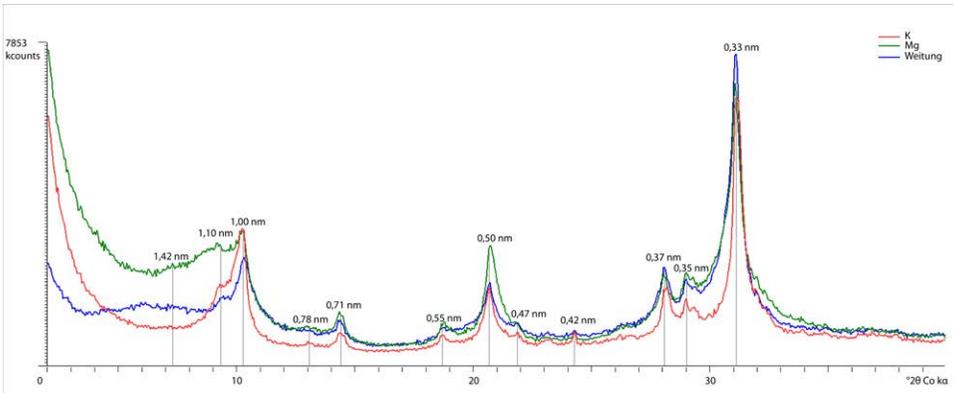
**Anhang 199:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 206, 51-67 cm unter GOK



**Anhang 200:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 224, 0-26 cm unter GOK



**Anhang 201:** Röntgendiffraktion der Tonfraktion Profil 224, 26-52 cm unter GOK



### **In dieser Reihe bereits erschienen**

- Raab, T., Raab, A., Gerwin, W., Schopper, F. (Hrsg., 2013): Landschaftswandel - *Landscape Change*. - GeoRS Vol. 01.
- Raab, T., Hirsch, F., Raab, A., Schopper, F., Freytag, K. (Hrsg., 2013): Arbeitskreis Geoarchäologie - Jahrestagung 2013, 2. - 4.5.2013, BTU Cottbus. Tagungsband und Exkursionsführer. - GeoRS Vol. 02.
- Schneider, A. (2014): Spatial and temporal development of sediment mass balances during the initial phase of landform evolution in a small catchment. - GeoRS Vol. 03.
- Sut, M. (2014): Detection and behavior of iron-cyanide complexes in soils of a former Manufactured Gas Plant site. - GeoRS Vol. 04.

# Beilage 1

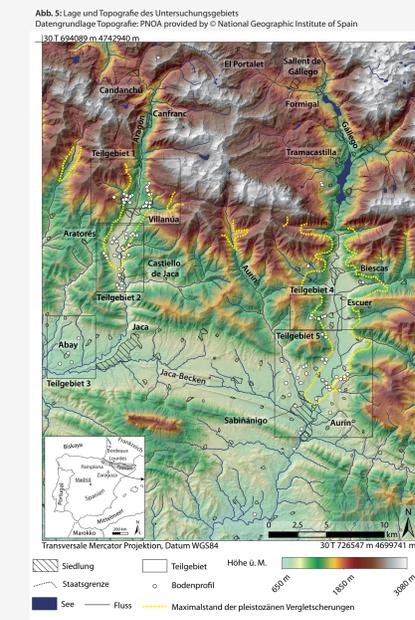


Abb. 18: Pleistozäne Geomorphologie im Untersuchungsgebiet  
 Zusammenstellung der Geomorphologie nach Barrere (1966) und Garcia-Ruiz et al. (2011); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain

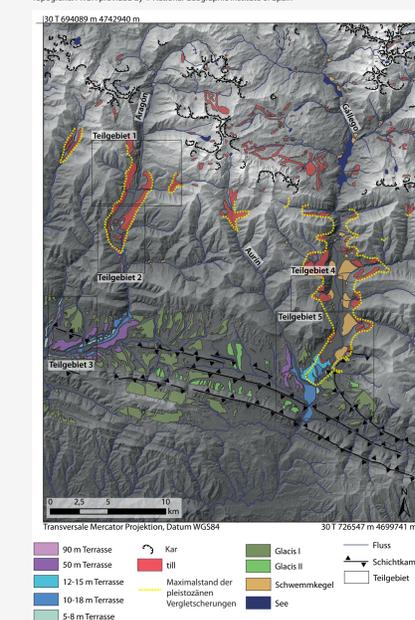
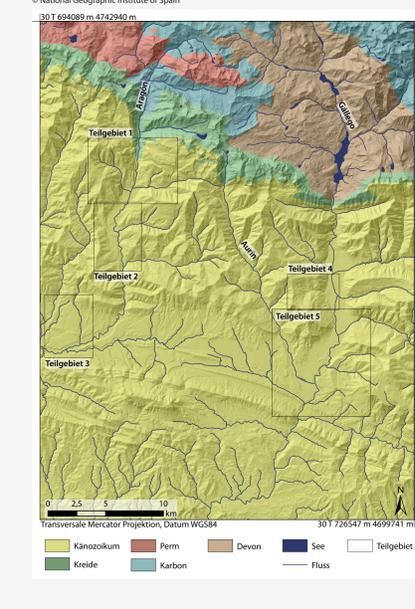
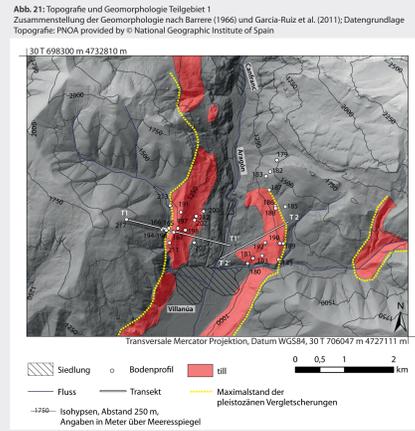


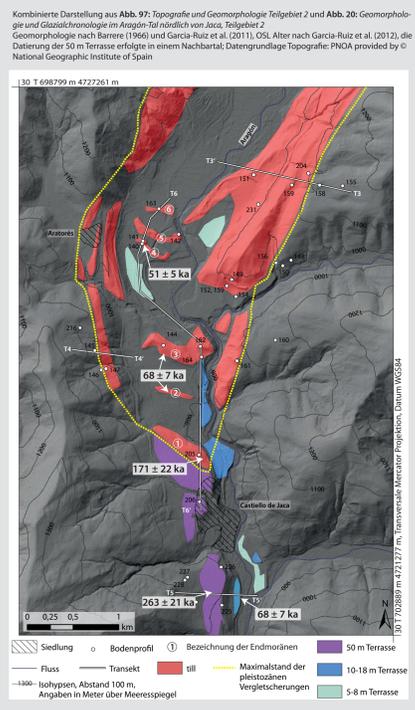
Abb. 6d: Geologie der Pyrenäen  
 Geologie des Untersuchungsgebietes nach Ternet et al. (2004); Datengrundlage Topografie: PNOA provided by © National Geographic Institute of Spain



# Teilgebiet 1



# Teilgebiet 2



# Teilgebiet 3

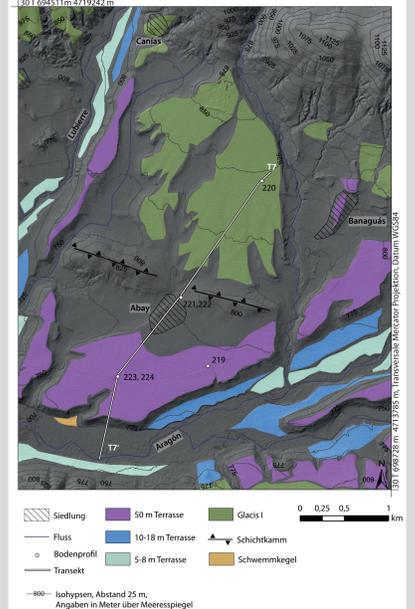


Abb. 22: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 1  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

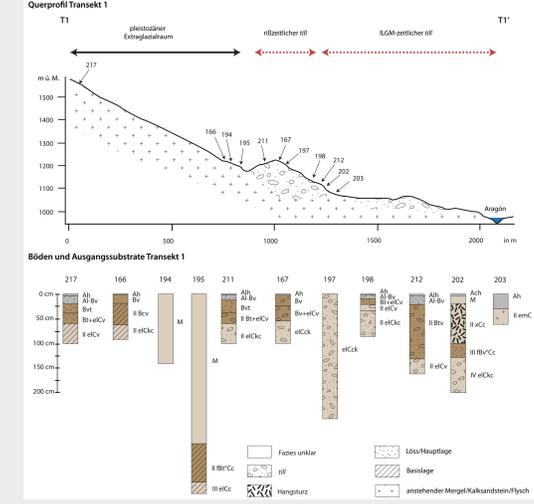


Abb. 98: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 3  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

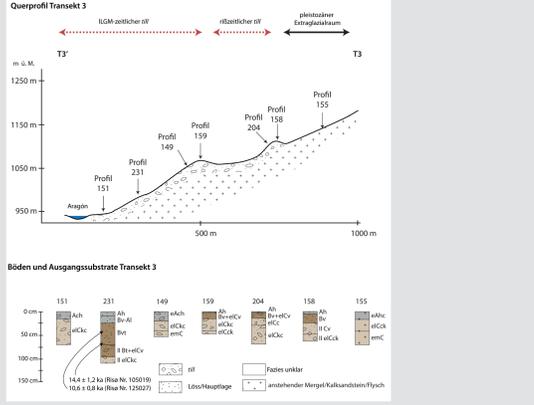
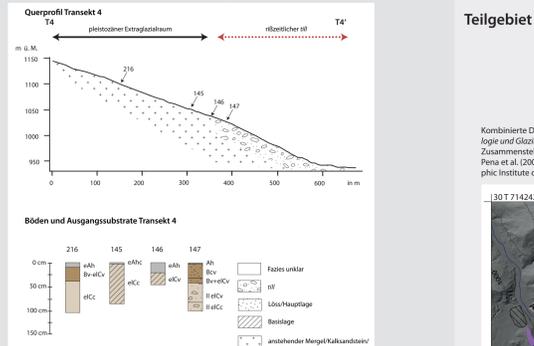


Abb. 138: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 4  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu



# Teilgebiet 5

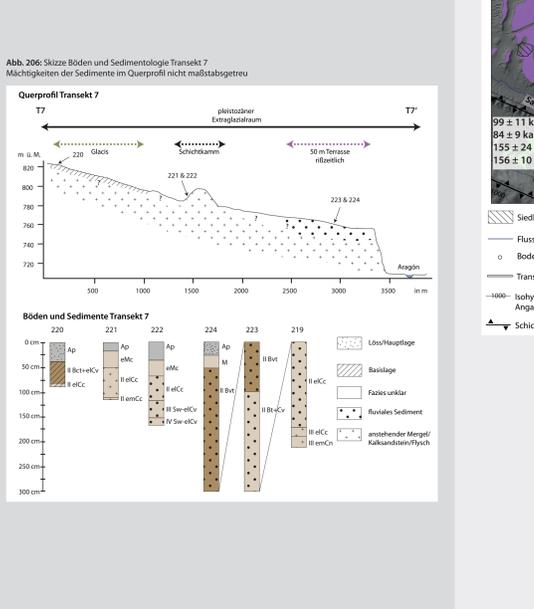


Abb. 23: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 2  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

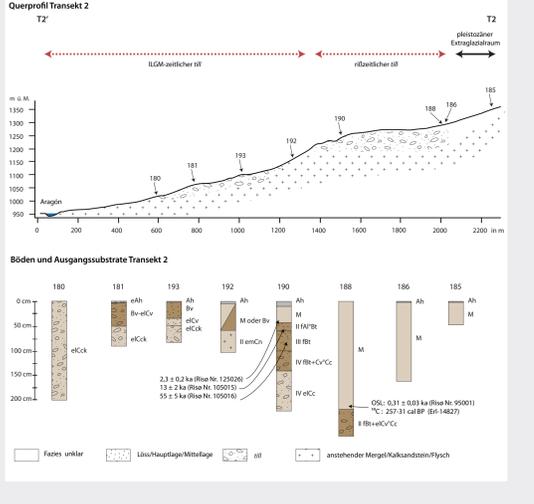
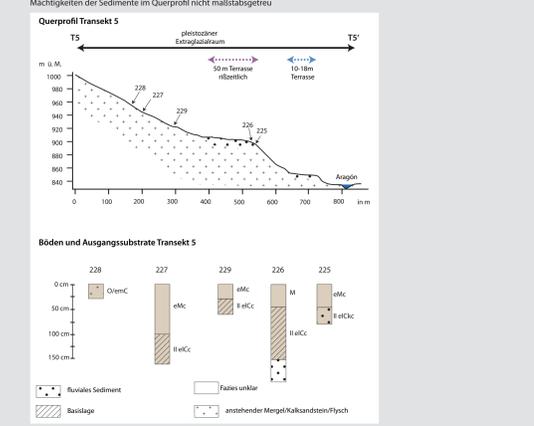
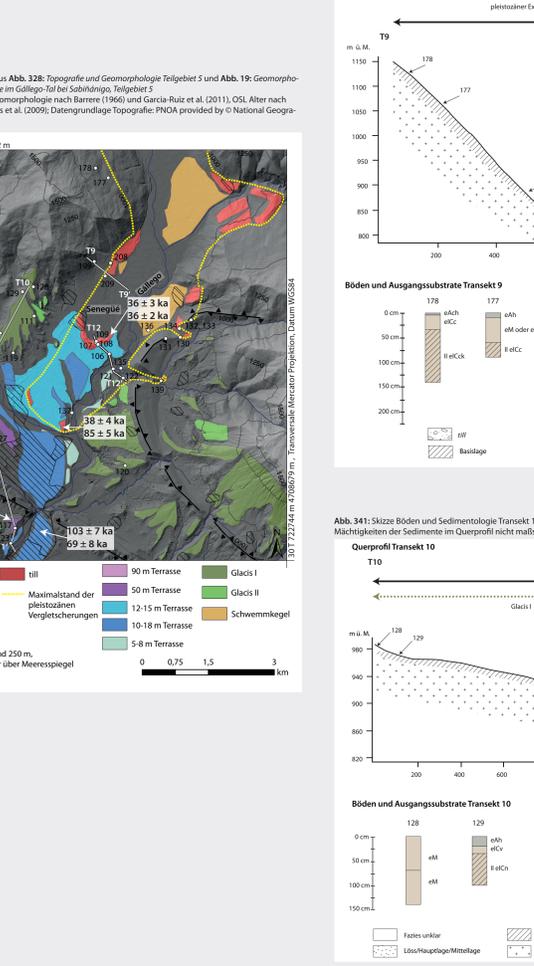


Abb. 156: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 5  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu



# Teilgebiet 6



# Teilgebiet 4

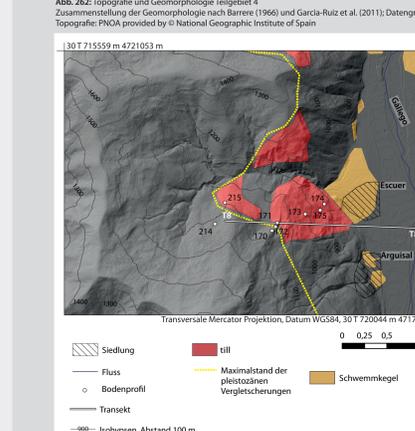


Abb. 169: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 6  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

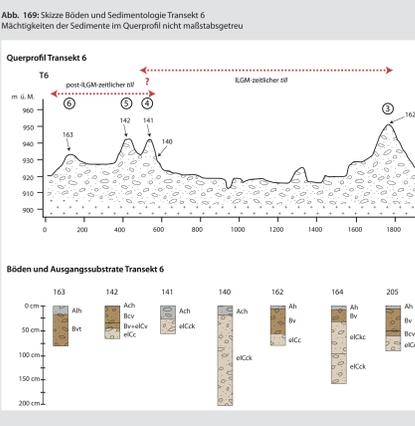


Abb. 329: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 9  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

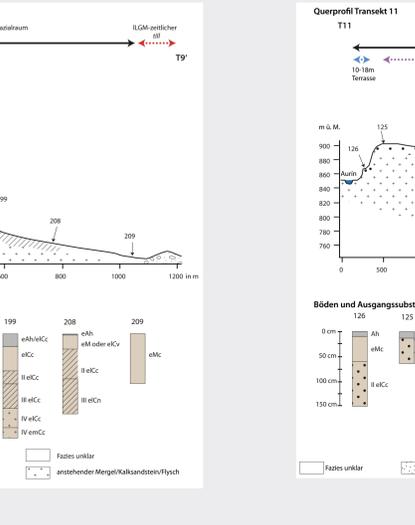
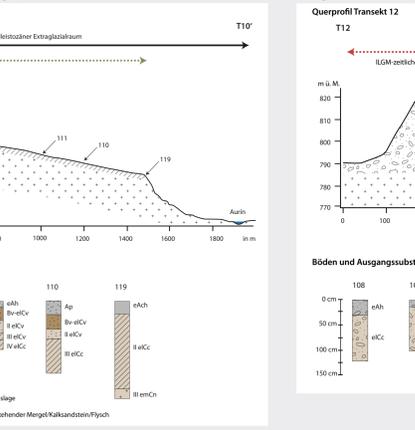


Abb. 341: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 10  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu



# Teilgebiet 8

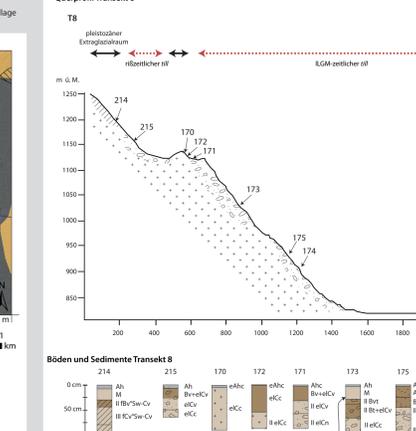


Abb. 351: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 11  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu

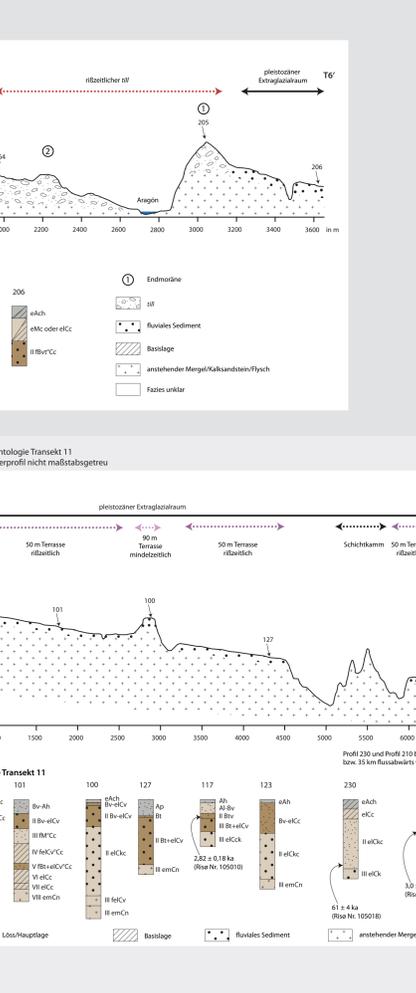
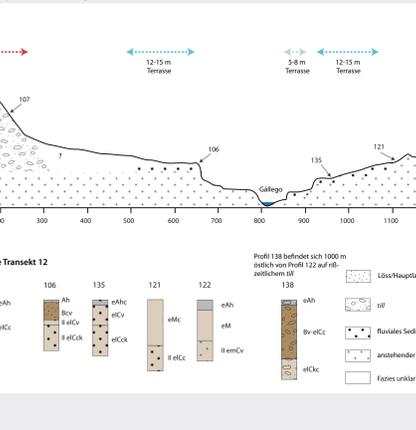


Abb. 423: Skizze Böden und Sedimentologie Transekt 12  
 Mächtigkeiten der Sedimente im Querprofil nicht maßstabsgetreu



# Beilage 2

Kombinierte Darstellung aus **Abb. 15: Zusammenstellung der spätpleistozänen Landschaftsentwicklung aus verschiedenen Studien** und **Abb. 454: Chronologische Einordnung der Befunde in die Landschaftsentwicklung** MIS nach Lisiecki und Raymo (2005), Eem nach Dahl-Jensen et al. (2013), gLGM nach Clark et al. (2009), Jüngere Dryas nach Litt et al. (2007) und Brauer et al. (2008) und Holozän nach Walker et al. (2009); Angabe der Alter über die gesamte angegebene Fehlerspannweite

