

TEXTE

93/2015

Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen

TEXTE 93/2015

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 32 319
UBA-FB 002208

Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen

von

Ute Dechantsreiter, Peter Horst
Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V., Bremen

Dr. Angelika Mettke, Stefan Asmus Stephanie Schmidt
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgruppe
Bauliches Recycling, Cottbus

Florian Knappe, Joachim Reinhardt, Stefanie Theis
IFEU-Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg

Jens Jürgen Lau
Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V.
(RWB), Bremen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V., Feldstraße 10, 28203 Bremen

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgruppe
Bauliches Recycling, Siemens-Halske-Ring 8, 03046 Cottbus

IFEU-Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH,
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg

Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V.
(RWB), Paul-Feller-Straße 1, 28199 Bremen

Abschlussdatum:

April 2014

Redaktion:

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie
Dr. Züleyha Iyimen-Schwarz

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/instrumente-zur-wiederverwendung-von-bauteilen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 32 319 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Dem weltweit wachsenden Bedarf an Rohstoffen steht die deutliche Verknappung primärer Rohstoffe gegenüber. Da der Bausektor einen wesentlichen Anteil am Rohstoffverbrauch hat, rückt zur Sicherung der Rohstoffversorgung die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft im Bauwesen immer stärker in den Fokus. Entgegen der aufgezeigten Bedeutung ist die hochwertige Verwertung von mineralischen Bauabfällen oder Baurestmassen bzw. die Wiederverwendung durchaus funktionsfähiger Bauteile noch nicht etabliert und ist deshalb erst in geringem Umfang umgesetzt. Geeignete Instrumente, die die Wiederverwendung von Bauteilen und die hochwertige Verwertung von Baustoffen deutlich verbessern, wurden identifiziert, beschrieben und hinsichtlich ihrer ökologischen, technischen und regulativen Kriterien bewertet. In einer Hemmnisanalyse wurden zunächst die Sachverhalte und Rahmenbedingungen beschrieben, die bis heute einem optimalen Umgang mit Bauteilen und Baustoffen entgegenstehen. Dazu bedurfte es eines genaueren Verständnisses aus Sicht der unterschiedlichen Akteure entlang der Wertschöpfungskette. Hierauf aufbauend wurden Lösungsansätze und -strategien formuliert sowie konkrete Umsetzungsmaßnahmen und dafür notwendige Weichenstellungen benannt. Handlungsempfehlungen und Instrumente werden zusammenfassend in den Bereichen regulatorisch, informatorisch und ökonomisch kategorisiert.

Abstract

The increasing global demand for raw materials causes a significant shortage of natural resources. Since the construction industry is holding a major share in the consumption of raw materials, a resource-efficient circular economy in building construction is becoming more and more important in order to secure the supply of raw materials. Despite the underlying significance the high-quality recycling of mineral construction waste, demolition waste or intact components has not yet been established and is therefore only implemented to a limited extent. Suitable instruments that significantly improve the reuse of components and the reutilization of building materials were identified, described and evaluated in terms of environmental, technical and regulatory criteria. Within the scope of an analysis of possible barriers, circumstances and conditions, which to this day impede the optimal handling of building components and materials, have been described. For this purpose a more accurate understanding from the perspective of different stakeholders along the value chain was required. Based on this, approaches and strategies have been formulated and concrete implementation measures and necessary preparations have been named. The recommended course of action and instruments are summarized in the categories “regulatory, informational and economic”.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis.....	15
1 Zusammenfassung.....	16
2 Summary.....	28
3 Einleitung.....	39
3.1 Ausgangslage/Hintergrund.....	39
3.2 Zielsetzung	41
3.3 Methodische Herangehensweise	42
4 Darstellung der Rückbau-Prozesskette	44
4.1 Bestandserfassung.....	45
4.2 Planung und Abbruch von Gebäuden	48
5 Ausbau, Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen	52
5.1 Außenfenster, -türen, -tore	53
5.1.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	54
5.1.2 Status Quo.....	55
5.1.3 Hemmnisse/Lösungsansätze.....	56
5.2 Innentüren.....	57
5.2.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	57
5.2.2 Status Quo.....	58
5.2.3 Hemmnisse/Lösungsansätze.....	58
5.3 Treppen	59
5.3.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	59
5.3.2 Status Quo.....	59
5.3.3 Hemmnisse/Lösungsansätze.....	61
5.4 Bodenbeläge	61
5.4.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	61
5.4.2 Status Quo.....	61
5.4.3 Hemmnisse/Lösungsansätze.....	62
5.5 Dach/Wände	62
5.5.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	63
5.5.2 Status Quo.....	63

5.5.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	64
5.6	Wärmeerzeuger/Heizkörper.....	65
5.6.1	Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	65
5.6.2	Status Quo	65
5.6.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	66
5.7	Sanitäreinrichtungen	66
5.7.1	Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	67
5.7.2	Status Quo	67
5.7.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	67
5.8	Pflastersteine und Sonstige.....	67
5.8.1	Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	67
5.8.2	Status Quo	67
5.8.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	68
5.9	Umwehrung: Zäune/Tore und Geländer	68
5.9.1	Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften	68
5.9.2	Status Quo	68
5.9.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	69
5.10	Ökonomische und ökologische Vorteile	69
5.10.1	Abfallvermeidung durch Wiederverwendung von Bauteilen	69
5.10.2	Weitere Effekte für Umwelt und Natur	70
5.10.3	Beschreibung des Systems und der Systemgrenzen (bauteilnetz Deutschland)	72
5.11	Hemmnisse	73
5.12	Lösungsstrategien in Abhängigkeit von Bautypen und Baualter.....	75
5.12.1	Demontierbarkeit von Gebäuden als Voraussetzung für die schadensfreie Gewinnung	75
5.12.2	Erfassung und Kontrolle.....	76
5.12.3	Weiterbildung und Qualifizierung von Fachkräften	76
5.12.4	Informationen und Handreichung für Hausbesitzer/innen.....	77
6	Ausbau/Wieder- und Weiterverwendung von konstruktiven Bauteilen/-elementen	79
6.1	Stahlbetonbauteile.....	79
6.1.1	Ausgangssituation - Grundlegendes zur Stahlbetonmontagebauweise.....	79
6.1.2	Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Stahlbetonelementen	82
6.1.3	Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Stahlbetonbauteilen.....	83
6.1.4	Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung	86
6.1.5	Ökonomische und ökologische Vorteile.....	91

6.1.6	Hemmnisse	94
6.1.7	Handlungsempfehlungen.....	96
6.2	Stahlbauteile	96
6.2.1	Ausgangssituation	96
6.2.2	Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Stahlbauteilen	98
6.2.3	Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Stahlbauteilen	99
6.2.4	Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung	100
6.2.5	Ökonomische und ökologische Vorteile	102
6.2.6	Hemmnisse	103
6.2.7	Handlungsempfehlungen.....	103
6.3	Holzbauteile (Konstruktionsholz)	104
6.3.1	Ausgangssituation	104
6.3.2	Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Holzbauteilen	107
6.3.3	Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Holzbauteilen.....	109
6.3.4	Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung	110
6.3.5	Ökonomische und ökologische Aspekte	114
6.3.6	Hemmnisse	115
6.3.7	Handlungsempfehlungen.....	116
7	Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle	118
7.1	Ausgangssituation - Bauabfallmengen und derzeitige Einsatzgebiete	119
7.2	Einsatz von RC-Gesteinskörnungen bei der Herstellung von Beton.....	121
7.2.1	CE-Kennzeichnung	124
7.2.2	Anforderungen an RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton	126
7.2.3	Status quo	128
7.2.4	Hemmnisse	130
7.2.5	Handlungsempfehlungen/Lösungsansätze	131
7.3	Einsatz von RC-Mineralgemischen	132
7.3.1	Anforderungen an die Gesteinskörnungen und Status Quo	132
7.3.2	Einschätzung/Hemmnisse.....	134
7.3.3	Handlungsempfehlungen und Lösungsansätze	136
8	Verwertung nicht-mineralischer Bauabfälle.....	139
8.1	Derzeitige und zukünftige Stoffströme	139
8.2	Metalle	140

8.2.1	Ansätze einer hochwertigen Verwertung	140
8.2.2	Status Quo im Umgang mit diesen Materialien	140
8.2.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	141
8.3	Kunststoffe	141
8.3.1	Ansätze einer hochwertigen Verwertung	141
8.3.2	Status Quo im Umgang mit diesen Materialien	143
8.3.3	Hemmnisse/Lösungsansätze.....	145
8.4	Glas	146
8.4.1	Ansätze einer hochwertigen Verwertung	146
8.4.2	Status Quo im Umgang mit diesen Materialien	147
8.4.3	Hemmnisse/Lösungsansätze/Fazit	148
8.5	Holz.....	149
8.5.1	Ansätze einer hochwertigen Verwertung	151
8.5.2	Status Quo im Umgang mit diesen Materialien	152
8.5.3	Hemmnisse/Lösungsansätze/Fazit	152
8.6	Dämmstoffe	154
8.6.1	Styropordämmung.....	154
8.6.2	Mineralwolle (Steinwolle/Glaswolle)	157
8.6.3	Schaumglas.....	161
8.7	Hemmnisse und Lösungsstrategie für die Verwertung sonstiger Baumaterialien	162
9	Zusammenfassung der Hemmnisse und Lösungsstrategien	165
9.1	Konzeption des Rückbaus - Erhebung der Potenziale zur Wieder-/Weiterverwendung.....	165
9.1.1	Gewinnung und Vermarktung von Bauteilen	166
9.1.2	Gewinnung und Vermarktung von konstruktiven Bauelementen	169
9.2	Konzeption des Rückbaus - Erhebung der Potenziale zur Verwertung.....	172
9.2.1	Verwertung der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle	174
9.2.2	Verwertung der sonstigen Bau- und Abbruchabfälle.....	179
10	Identifizierung geeigneter Instrumente und Handlungsempfehlungen	181
10.1	Planung und Konzeption des Gebäuderückbaus	181
10.2	Wiederverwendung von Bauteilen aus Innenausbau und von Gebäudeelementen.....	183
10.3	Hochwertige Verwertung von mineralischen Baumassen.....	184
10.4	Hochwertige Verwertung sonstiger Bauabfälle	186
10.5	Zusammenfassende Kategorisierung der Handlungsempfehlungen und Instrumente	187
10.5.1	Regulatorisch	187
10.5.2	Informatorisch	189

10.5.3	Ökonomisch	191
11	Ausgewählte übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen	192
11.1	Europäische Abfallrahmenrichtlinie	192
11.2	Europäische Bauprodukten-Verordnung	192
11.3	Kreislaufwirtschaftsgesetz	193
11.4	Ersatzbaustoffverordnung (EBV) und die jahrzehntelange Diskussion zur Umweltverträglichkeit von Recyclingbaustoffen	193
11.5	REACH	195
12	Quellenverzeichnis	196
13	Glossar	204
14	Anlagen	207
14.1	Beispiele für Wieder-/Weiterverwendungsmaßnahmen unter Verwendung gebrauchter Betonbauteile	207
14.2	Stahlbauteile/-erzeugnisse im Bauwesen (relevante Auswahl)	211

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abbruch einer Villa (Bremen), Teilrückbau Plattenbau (Schwedt) und Bauschutttaufbereitung	40
Abbildung 2:	Stoffkreislauf im Bauwesen	42
Abbildung 3:	Aufgabenverteilung bei Entkernungsarbeiten zwischen Bauherren, Gutachter, Behörde und Unternehmen	44
Abbildung 4:	Begriffshierarchie vom Bauwerk zum Bauelement und Nachnutzungsoptionen	45
Abbildung 5:	Potenziell schadstoffbelastete Bauteile	48
Abbildung 6:	Demontagestufen	50
Abbildung 7:	Arbeitsabläufe in Bezug auf die Bauteile-Wiederverwendung unter Beteiligung einer Bauteilbörse	52
Abbildung 8:	Gegenüberstellung einmaliger Gebrauch und (mehrfache) Wiederverwendung von Bauteilen	53
Abbildung 9:	Fensterlager	54
Abbildung 10:	Türen im Bauteillager	58
Abbildung 11:	Typische Türen für Bremen und Hamburg	58
Abbildung 12:	Treppe aus den 70er Jahren	60
Abbildung 13:	Auswahl an Treppenhölzern	60
Abbildung 14:	Wiedereinbau von 100 Jahre altem Parkett	61
Abbildung 15:	Besondere Fliesen	62
Abbildung 16:	Firstpfannen für die Wiederverwendung	63
Abbildung 17:	Firstpfannen für die Wiederverwendung	63
Abbildung 18:	Mauersteine für die Wiederverwendung	64
Abbildung 19:	Lagerware - Sortiment an Heizkörpern	66
Abbildung 20:	Neuwertige Keramikbecken	67
Abbildung 21:	Kombination alt + neu	68
Abbildung 22:	Kombination verschiedener Steine	68
Abbildung 23:	Metallzäune und Tore	68
Abbildung 24:	Ermittelte Materialmengen 2003-2004	69
Abbildung 25:	Energiebedarf für die Herstellung eines Waschbeckens	71
Abbildung 26:	Bilanzsystem „bauteilnetz Deutschland“ (Vereinfachte Darstellung ohne Transporte)	73
Abbildung 27:	Fachwerkhäuser in Hann. Münden	75
Abbildung 28:	Trennbare Verbindung	75
Abbildung 29:	Startseite Bauteilkatalog	78

Abbildung 30:	Zum Teil erprobte/umgesetzte sowie denkbare Einsatzbereiche für gebrauchte Betonbauteile	84
Abbildung 31:	Synopse der Anzahl verbauter Betonelemente nach Gebäudetypen	87
Abbildung 32:	Kostenvergleich gebrauchte Stahlbetonfertigteile und Neuteilpreise Stahlbetonfertigteile	92
Abbildung 33:	Anwendungsgebiete von Stahlbauteilen im Hoch- und Tiefbau	97
Abbildung 34:	Auswahl-/Entscheidungskriterien zur Wieder-/Weiterverwendung von Stahlbauteilen	102
Abbildung 35:	Hauptbauelemente für Holzkonstruktionen	107
Abbildung 36:	Entscheidungskriterien für eine Wieder-/Weiterverwendung von Holzbauteilen (Auswahl)	113
Abbildung 37:	Vereinfachtes Schema Ablauf Rückbau bis Wieder-/Weiterverwendung von Holzbauteilen	114
Abbildung 38:	Anfall mineralischer Bauabfälle (ohne industrielle Nebenprodukte)	119
Abbildung 39:	Verteilung mineralischer Bauabfälle (Abbruchmaterial)	120
Abbildung 40:	Regelwerke für die RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton	123
Abbildung 41:	Qualitätssicherung für die Herstellung und Verarbeitung von RC-Beton (Qualitätskette)	125
Abbildung 42:	Hochbauprojekte unter Verwendung von RC-Beton.....	129
Abbildung 43:	Zu erwartende Potenziale eines hochwertigen Recyclings von im Beton eingesetzten Gesteinskörnungen und entstehende Lager in 2020 und 2050.....	130
Abbildung 44:	Zusammenspiel der Akteure.....	131
Abbildung 45:	Marktanteile der Dämmstoffe in Deutschland im Jahr 2005.....	157
Abbildung 46:	Aufgaben einer Bauteilbörse	167
Abbildung 47:	Planungsphasen für Rückbauvorhaben	182
Abbildung 48:	Lebenszyklus eines Baustoffs/Bauelements	204
Abbildung 49:	Zuordnung der Begriffe am Beispiel industriell errichteter Betonbauten.....	205

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Herleitung der Wärmeschutz-Qualität von Fenstergläsern nach Herstellungsjahr.....	54
Tabelle 2:	Entscheidungsstufen zur Wieder-/Weiterverwendungseignung.....	88
Tabelle 3:	Bewertung Eignung rückgebauter Bauteile zur Wiederverwendung aus bautechnischer Sicht	90
Tabelle 4:	Daten zur Materialintensität (MIT) und Ressourcenverbrauch von Beton und Stahl.....	93
Tabelle 5:	Materialintensitäten von Beton und Stahl sowie je Betonelement	93
Tabelle 6:	Konstruktive Vollholzprodukte zur Verwendung im Bauwesen.....	106
Tabelle 7:	Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%) und in Abhängigkeit von den Expositions- und Feuchtigkeitsklassen	124
Tabelle 8:	Regelanforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620:2008-07	126
Tabelle 9:	Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung der RC-GK zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN 12620 und DAfStb-Rili Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen.....	127
Tabelle 10:	Überblick zu Hochbauprojekten unter Verwendung von RC-Beton.....	129
Tabelle 11:	Bautechnische Regelwerke (Europa und Deutschland)	132
Tabelle 12:	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB 04, Ausgabe 2004/ Fassung 2007) Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von RC-Baustoffen	133
Tabelle 13:	Basiswerte für die Mengeneinschätzung des Abbruchmaterials (in t/m ³ BRI) bei verschiedenen Gebäudearten und -kategorien.....	139
Tabelle 14:	Einteilung in Altholzkategorien nach § 2 der Altholzverordnung	149
Tabelle 15:	Beim Abbruch anfallende Holzsortimente und Zuordnung dieser in Altholzkategorien nach Regelwerk.....	150

Abkürzungsverzeichnis

AW	Außenwand
BE	Betonelement / Bauelement
BFT	Betonfertigteil
BZS	Bauzustandsstufe
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DP	Deckenplatte
EPS	Expandierten Polysterolpartikelschaum
FZK	Fahrzeugkran
GK	Gesteinskörnungen
HCH	Hexachlorcyclohexan
HSM	Holzschutzmittel
i.d.R.	in der Regel
IEMB	Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.
Iff	Institut für Fertigungstechnik und Fertigteilbau Weimar e.V.
i.M.	im Mittel
IW	Innenwand
OD	Ostdeutschland
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
RC	Recycling
TDK	Turmdrehkran
TUL	Transport/Umschlag/Lagerung
WBS	Wohnungsbauserie
WD	Westdeutschland
WE	Wohneinheit
WV	Wiederverwendung
XPS	Extrudierter Polystyrolhartschaum

1 Zusammenfassung

Die weltweiten klimatischen Veränderungen und der wachsende Bedarf an Rohstoffen sind so drastisch, dass sich die Bauwirtschaft mit den Fragestellungen und Auswirkungen des zukünftigen Bauens auseinandersetzen muss, denn Rohstoffe sind ein endliches Gut. Das Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ ist dabei ein besonders wichtiger Bereich, denn etwa 30 % der Ressourcenentnahmen werden für dieses Bedürfnisfeld aufgewendet [FÖS-Diskussionspapier, 2012].

Die Bundesrepublik hat mit verschiedenen Programmen wie bspw. der Nachhaltigkeitsstrategie (April 2002) und dem Ressourceneffizienzprogramm ProgRess (Februar 2012) politisch signifikante Akzente gesetzt.

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung nimmt das nachhaltige Bauen eine herausragende Stellung ein, denn für alle Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden - von der Planung, der Erstellung, der Nutzungsphase / des Betreibens und der Erneuerung bis hin zum Abbruch / Rückbau - wird ein minimaler Verbrauch an Ressourcen und Energie angestrebt.

Eine grundsätzlich positive Haltung zum Ressourcenschutz ist in Deutschland vorhanden, dennoch gibt es beträchtliche ungenutzte Potenziale zur Abfallvermeidung durch Wiederverwendung von Bauteilen und zur hochwertigen Verwertung von Recycling(RC)-Baustoffen. Mit der Schließung von Stoffkreisläufen, dem verbesserten Denkansatz „Cradle to Cradle“ („Von der Wiege in die Wiege“) und dem „Urban Mining“ bzw. die Stadt als Rohstoffquelle/-mine anzuerkennen und zu nutzen, sind Konzepte in Gang gesetzt worden, die mit konkreten Maßnahmen weiter zu entwickeln sind. Hier setzt der vorliegende Bericht an. Über die Ermittlung zum Status Quo der Nachnutzung und einer Hemmnisanalyse sind Handlungsfelder resp. Instrumente für hauptsächlich verwendete Bauprodukte und Baustoffe entwickelt worden.

Status Quo

Im Betrachtungszeitraum 1995 bis 2010 belief sich die Gesamtförderung an nichtenergetischen Primärrohstoffen in Deutschland durchschnittlich auf 625 Mio. t im Jahr. In 2010 lag sie bei rund 541 Mio. t. Auf die Produktion von Sand und Kies entfielen im o.a. Betrachtungszeitraum jährlich etwa 305 Mio. t, das Produktionsniveau von Splitten lag bei rund 211 Mio. t pro Jahr [SST, DIW Berlin, 2013]. Entscheidenden Einfluss auf die Produktionsmenge hat dabei der Bausektor; resultierend aus der Nachfrage. Diese wiederum hängt von der Baukonjunktur ab.

Andererseits stellen die Bau- und Abbruchabfälle mengenmäßig die größte Gruppe am gesamten Abfallaufkommen in Deutschland dar. Im Betrachtungszeitraum 1995 bis 2011 sind durchschnittlich 207 Mio. t pro Jahr mineralische Bauabfälle angefallen. Die Kategorien Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle zusammengefasst machen mengenmäßig mit etwa 1/3 und Bodenmaterialien mit 2/3 eine weitgehend konstante Verteilung über den 16 Jahre-Betrachtungszeitraum aus. Auf die Kategorie Bauschutt entfielen im langjährigen Mittel 55,3 Mio. t. [Monitoringbericht Kreislaufwirtschaft Bau, 2013]

Je nach Region sowie Gebäudealter und Gebäudetypologie ist im erzeugten Bauschutt ein mehr oder weniger hoher Anteil an Beton oder Mauerziegel enthalten. Je nach Zusammensetzung sowie lokalen Absatzwegen werden Altbetone von den übrigen Bauschuttmassen bereits ab Abbruchbaustelle getrennt gehalten. Mit der Aufbereitung wird das Ziel verfolgt, einen Recyclingbaustoff mit definierten Eigenschaften zu erzeugen. Die Qualität der erzeugten Recyclingbaustoffe wird also durch das Ausgangsmaterial / die Zusammensetzung des Bauschutts und durch die Aufbereitungstechnologie bestimmt. Je sortenreiner das Ausgangsmaterial bereitgestellt werden kann, desto hochwertiger kann es aufbereitet und verwertet werden. Daher kommt dem Abbruch / Rückbau bzgl. der Verwertungsmöglichkeiten eine Schlüsselrolle zu.

RC-Baustoffe werden hauptsächlich im Straßenbau verwertet. Dennoch ist die Bereitschaft zum Einsatz von RC-Baustoffen nicht in allen Verwaltungen der öffentlichen Hand gegeben. Und zudem kann davon ausgegangen werden, dass die Skepsis gegenüber RC-Baustoffen bei gewerblichen und privaten Bauherren noch stärker ausgeprägt ist.

Erzeugter mineralischer Bauschutt aus dem Hochbau wird zu einem erheblichen Anteil verwertet, jedoch nicht immer hochwertig, d.h. den spezifischen wertgebenden Eigenschaften entsprechend (siehe Kapitel 7). Die Rückführung aufbereiteter Hochbaurestmassen / hergestellter Betonsplitte zur anteiligen Substitution von primären Baustoffen (Splitt u./o. Kies) als Gesteinskörnungsbestandteil (frühere Bezeichnung: Zuschlagstoffe) von Beton für den Hochbau hat sich bislang nur in Südwestdeutschland in Ansätzen am Markt etablieren können. Auch für aufbereitete, reine Mauerwerkschargen, wie z.B. Dachziegel oder Porenbetonbruch, bestehen effiziente Verwertungsmöglichkeiten. Anders stellt sich dies für Bauschuttgemische dar. Aufbereiteter Mauerwerksbruch ist immer nur eingeschränkt als Nebenbestandteil für Verwertungen im Straßen- und Hochbau zugelassen. Die Marktchancen für Betonbruch werden als gut bewertet. Mauerwerksbruchgemische hingegen können kaum abgesetzt werden.

Der Gesamtbestand an Bauwerken in Deutschland birgt etwa 50 Mrd. t Material, wobei über 10 Mrd. t im Wohn- und Gewerbebau verbaut sind:

- mineralische Baustoffe 9,7 Mrd. t,
- Baustähle 103 Mio. t,
- Kupfer 2,6 Mio. t,
- Holz 247 Mio. t,
- Kunststoffe 7,6 Mio. t [Schiller, Deilmann et.al., 2010].

Jede Stadt /Gemeinde weist ein entsprechend unterschiedlich großes anthropogenes Lager in Form von Gebäuden auf. Es handelt sich hierbei prinzipiell um langlebige Güter mit einer Nutzungsdauer von etwa 50 bis 100 Jahren [Lichtensteiger, 2006]. Neben dem Hauptzweck, der Nutzung von Gebäuden, könnten die Bauten nach Nutzungsende generell als potenzielle Rohstoffquelle dienen. Eine sekundäre Nutzung in Neubauvorhaben oder bei Sanierungen hat sich bislang nicht in der Praxis durchgesetzt. D.h. gegenwärtig ist dies - abgesehen von einigen Beispielen - nicht der Fall. Dies betrifft Ausbauelemente, die bei Modernisierungen, Abbruch und Rückbau anfallen wie auch konstruktive Gebäudeelemente (siehe Kapitel 6), die i.d.R. bei partiellen Rückbauvorhaben zurück gewonnen werden.

Die Rückgewinnung von historisch wertvollen Bauteilen hat sich in Deutschland weitgehend etabliert. Der Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V. (UHB) wurde 1992 gegründet, um wertvolle Kulturgüter aus Abbruchobjekten in Vorbereitung einer Wiederverwendung zu bergen. Antike Bauhölzer, Bretter, Parkett, Fenster, Türen, Mauersteine etc. können mittels Suchanfrage über den UHB oder eines der 28 Mitgliedsunternehmen eruiert werden. Neben dem Handel mit historischen Baustoffen bieten Bauteilbörsen, die darüber hinaus das breite Spektrum an Bauteilen erfassen und - ggf. nach einer Aufarbeitung - vermarkten, eine wertvolle Option in Vorbereitung der Nachnutzung. Bauteilbörsen organisieren den Ausbau, die Transporte, den Verkauf und beraten zum Wiedereinbau von funktionstüchtigen Bauteilen oder zur Weiterverwendung. Börsen für Bauteile haben sich bisher jedoch nur in geringem Umfang in Deutschland etablieren können (u. a. gefördertes Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt „bauteilnetz Deutschland“ 2006-2009/2011-2015).

Nachgefragt und verkauft werden in den Bauteilbörsen vor allem Innentüren, Bodenbeläge, Fenster, Treppen und Sanitäreinrichtungen (siehe Kapitel 5). Über Internetplattformen, wie z.B. dem Bauteilkatalog des bauteilnetz Deutschland www.bauteilnetz.de oder Alois (Boden- und Bauschuttbörse) unter www.alois-info.de, ist es möglich, Bauteile und -stoffe bundesweit zu entdecken. Die direkte Vermarktung (wirtschaftlichste Variante) über das Internet, ohne Besichtigung der Bauteile, findet allerdings selten statt.

Die Vorhaltung einer gut erreichbaren und übersichtlich sortierten Verkaufsstätte oder eines Lagers ist ebenso notwendig wie fachkompetente Ansprechpartner.

Detaillierte Angaben zu Betonelementen des Plattenbaus finden sich u.a. in den von der Fachgruppe Bauliches Recycling erarbeiteten Elementekatalogen der BTU Cottbus [Mettke, 2003a; 2007a].

Die Herstellung von Baustoffen und Bauteilen ist bekanntlich mit ökologischen Negativwirkungen verbunden. Deshalb ist der Wieder- und Weiterverwendung von Bauprodukten und dem Recycling von Baustoffen eine besondere Bedeutung beizumessen. Die ökologischen Vorteile für Bauteilwiederverwendungen resultieren v.a. aus dem hohen Einsparpotenzial an Rohstoffen und Energie.

Zur Bilanzierung von neu produzierten Bauteilen steht die öffentlich zugängliche Ökobau.dat (Datenbank des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/> aufgerufen am 24.03.2014) zur Verfügung. Auf dieser Grundlage wurden im Rahmen des DBU-geförderten Projektes „bauteilnetz Deutschland“ erste Berechnungen in Bezug auf die „Graue Energie“ (siehe Kapitel 5.10.2) für gebrauchte Einzelbauteile wie Waschtische, Heizkörper oder Fenster ermittelt. Für die Herstellung eines Waschbeckens Gewicht 10 kg, Größe 50 x 42 cm werden ca. 468 MJ (130 kWh) Primärenergie benötigt, für ein Kunststofffenster, Gewicht 55 kg, Größe 1,70 x 1,13 m, ca. 972 MJ (270 kWh) oder für einen 42 kg schweren Flachheizkörper, Größe: 140 x 60 cm, 865 MJ (240 kWh).

Für die Herstellung eines Mauersteins werden 7,2 MJ (2 kWh), umgerechnet 0,2 l Öl benötigt. In Odense (Dänemark) wurde bspw. schon 1994 ein Wohnhaus mit 14 Wohneinheiten u.a. aus 130.000 Steinen eines Abbruchhauses in unmittelbarer Nachbarschaft neu gebaut. Die „Graue Energie“, die allein in den vermauerten Steinen dieses Gebäudes „vorgehalten“ wird, beläuft sich damit auf rund 26.000 l Öl. Je niedriger die für die Beheizung eines Hauses benötigte Energie ist, umso stärker fällt die Graue Energie der Gebäudeherstellung ins Gewicht.

Die energetisch bedingte Emission zur Neuherstellung von 1 Tonne Fertigteilbeton wird z.B. gegenüber der Bereitstellung von 1 Tonne rückgebautem Betonfertigteile um 97% vermindert [Mettke, 2010].

Anhand des Indikators MIPS (Materialinput pro Serviceeinheit) wurde bspw. ermittelt, dass u.a. für eine Tonne Betonfertigteile der ökologische Rucksack das 6-fache beträgt. D.h. für eine Tonne Betonprodukt müssen sechs Tonnen Rohstoffe bereitgestellt werden.

Die Herstellung von Bauteilen aus Stahlbeton ist besonders energieintensiv. Der Primärenergieaufwand für die Herstellung eines neuen Betonfertigteils liegt etwa zwischen 2.000 und 3.000 MJ/t (556 bis 833 kWh). Dies bedeutet vergleichsweise z.B. für ein aus dem Plattenbau gewonnenes 3,5 t schweres vorgespanntes Deckenelement einen gespeicherten Energieinhalt von etwa 7.000 bis 10.500 MJ (~1.950 bis ~ 2.900 kWh). Umgerechnet auf den Heizölverbrauch bedeutet dies, dass in einer einzigen Deckenplatte von rund 10,8m² ca. 230 bis 250 l Heizöl an „Grauer Energie“ gespeichert ist. Darüber hinaus können durch die Wiederverwendung von gebrauchten Betonelementen durchschnittlich 10 bis 30 % der Rohbaukosten gegenüber dem Bauen mit neuen konventionellen Baumaterialien eingespart werden [siehe Kapitel 6.1.5; Mettke, 2010].

Eine Wiederverwendung oder -verwertung ist also umso hochwertiger, je besser es ihr gelingt, die wertgebenden Eigenschaften möglichst umfassend zu nutzen. Über die bisherig umgesetzten Fallbeispiele hinausgehend, ist es dringlicher denn je, das in Größenordnungen verfügbare Potenzial an sekundären Baustoffen und -produkten effizient auszuschöpfen. Die ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile, v.a. beim Produktrecycling bzw. der Nachnutzung von Bauteilen in Gänze, werden bislang nur unzureichend oder gar nicht berücksichtigt.

Beim Abbruch / Rückbau von Gebäuden fallen darüber hinaus nicht mineralische Bauabfälle (z.B. Kunststoffe, Holz etc.) an, die zu entsorgen sind (siehe Kapitel 8), wobei hier die Quote einer stofflichen Verwertung vergleichsweise zur thermischen Verwertung gering ist. Eisen (Fe)-Metalle (Profilstahl, Bleche, Bewehrungsseisen etc.) sowie Nichteisen (NE)-Metalle (Bauteile aus Kupfer, Zink, Aluminium, Messing u.a.)

werden bereits umfassend verwertet. Aufgrund der Erlöserzielung werden sie bereits auf der Abbruchbaustelle in Containern selektiv gesammelt und über Schrotthändler der Metall- und Stahlbranche zugeführt.

Vermehrt werden Baumaterialien eingesetzt, die aus einem Materialverbund (nicht nur bei der Gebäudedämmung) bestehen, der sich weder auf der Abbruchbaustelle noch in nachgeordneten Aufbereitungsschritten auftrennen lässt. Nach derzeitigem Stand ist für diese Verbundmaterialien nur eine Entsorgung auf Deponien oder über Müllverbrennungsanlagen möglich.

Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Projektes lautete daher, Instrumente zu identifizieren, zu beschreiben, zu bewerten und ggf. weiter zu entwickeln, die geeignet sind, die Wieder- / Weiterverwendung von Bauteilen und die hochwertige Verwertung von Baustoffen deutlich zu verbessern.

Die Gliederung des Berichtes folgt dem strukturierten Ablauf eines Abbruch-/Rückbauvorhabens. Im Fokus stehen hierbei die Phasen Entkernung des Bauwerks und Rückbau der Tragkonstruktion:

- Ausbau von Bauteilen des Innenausbaus und der Gebäudehülle und Wiederverwendung dieser,
- Demontage konstruktiver Bauteile und Wieder- und Weiterverwendung dieser,
- Selektierung und hochwertige Verwertung von Bauschutt und von nichtmineralischen Bauabfallfraktionen.

Dies entspricht dem Kern der fünfstufigen Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.

Hemmnisse

Hemmnisse zur Wiederverwendung von Ausbau- und konstruktiven Bauteilen

Im Rahmen der Hemmnisanalyse galt es zunächst, die Sachverhalte und Rahmenbedingungen darzulegen, welche bis dato einem effizienten Umgang mit Bauteilen und Baustoffen entgegenstehen. Basis bildete eine genaue Analyse und Bewertung aus Sicht der unterschiedlichen Akteure.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die heute im Allgemeinen angewendete Abbruch- und Entkernungsmethode (Entnahme von Bauteilen) den schadensfreien Ausbau von noch gut erhaltenen Bauteilen und Elementen nicht vorsieht. Über die gesamte Prozesskette der Entnahme / der Aufarbeitung und Lagerung bis hin zur Vermarktung hinweg ist damit die Wiederverwendung von Ausbauteilen und konstruktiven Bauteilen nur in wenigen Fällen wirtschaftlich.

Die wesentlichen Hemmnisse für Wieder-/Weiterverwendungen von Ausbauteilen sowie von konstruktiven Bauelementen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In den Ausschreibungsunterlagen wird nicht der selektive Ausbau/Rückbau von gebrauchstauglichen Bauteilen in Vorbereitung der Sekundärnutzung gefordert.
- Für die zerstörungsfreie bzw. -arme Entnahme von Ausbauteilen und -elementen aus einem Abbruchvorhaben fehlt zum einen qualifiziertes Personal und zum anderen sind die Absprachen zur Logistik zwischen den Akteuren nicht ausreichend (welche Bauteile sind für eine Nachnutzung vorgesehen; dies trifft auch für konstruktive Bauelemente zu). Es fehlt an Wissen, Fertigkeiten und Ablauf genauen Kommunikationsstrukturen.
- Das Zeitfenster für Abbruch- u./o. Rückbaumaßnahmen ist i.d.R. so gering bemessen, dass eine sorgfältige Herausnahme von Ausbauteilen nicht möglich ist. Das Demontieren oder Abbauen von Ausbauteilen (Fenster, Türen, Heizkörper etc.) sowie die Demontage von konstruktiven Bauelementen (Betonelementen, Stahlträger, Holzbalken etc.) erfordert einen erhöhten Zeit- und Kos-

tenaufwand.

- Die noch zu geringen Vermarktungsstrukturen für sekundäre Baumaterialien und -elemente (Börsen) be- o./u. verhindern eine umfassende Erfassung. Es gibt einerseits nur wenige dezentrale und bekannte Annahmestellen für Ausbauteile wie bspw. die etablierten Bauteilbörsen in Bremen oder in Luckenwalde und Saarbrücken. Andererseits existiert in vielen Regionen kein ausreichender Absatzmarkt.
- Es bestehen generell Informationsdefizite zu den Einsatzmöglichkeiten / zur Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Bauteilen und Bauelementen.
- Es existieren Akzeptanz- / Imageprobleme, gebrauchte Bauteile und -elemente als gleichwertig zu Neubauteilen bzw. Neubaumaterialien anzuerkennen. (Die Qualität von Gebrauchtteilen wird - wenn gleich unbegründet - im Allgemeinen in Frage gestellt.)
- Optische Mängel bzw. schwer einzuordnende Materialqualitäten beeinträchtigen oder schließen gar Absatzmöglichkeiten aus.
- Fehlende wirtschaftliche Vorteile aus Sicht des Händlers durch sehr hohe Aufwendungen für Aufarbeitungen (personeller, zeitlicher Aufwand), ggf. notwendige zusätzliche Säuberungen wegen langer Zwischenlagerungen usw., führen zu Desinteresse bzw. hemmen Vermarktungschancen.
- Zum Teil höhere Preise für gebrauchte Bauteile (Wertigkeiten werden nicht erkannt) im Vergleich zu neuen Bauteilen hemmen den Absatz.
- Die heutigen Bauweisen und viele Bauwerksteile, die durch Vergießen, Verschweißen und Verkleben der Bauteile sowie durch den Einsatz von verschiedenen Verbundmaterialien (bestehend aus mehreren Komponenten) gekennzeichnet sind, sind - wenn überhaupt - nur mit sehr hohem Zeitaufwand lösbar und folglich mit erhöhten Kosten zurückgewinnbar.
- Es bestehen rechtliche Unsicherheiten für den Wiedereinbau von gebrauchten Materialien; Haftungs- und Gewährleistungsfragen sind nicht ausreichend geregelt.
- Es fehlen Handlungshilfen oder Leitfäden für Wieder- und Weiterverwendungen für alle am Bau Beteiligten.

Die **Wieder- und Weiterverwendung von industriell vorgefertigten Betonelementen** hat sich bislang nicht in der Baupraxis durchsetzen können. Die umgesetzten Baumaßnahmen (siehe Anlage 14.1) sind überwiegend im Rahmen von Forschungsvorhaben oder anderweitig geförderten Projekten, aber auch insbesondere aus Kostenersparnissen und Wertschöpfungserhalt von Privatpersonen realisiert worden. Die exemplarisch aufgezeigten Beispiele sind hauptsächlich auf Ostdeutschland und damit bisher auf die Gebäudetypen der DDR beschränkt. Die Beispiele belegen jedoch, dass ein Wiedereinsatz von demontierten Betonelementen im Hausbau (EFH, ZFH, Vereinshäuser, Wirtschaftsgebäude), für Garagen, Carports sowie für gestalterische Elemente im Garten- und Landschaftsbau möglich ist. Ihre Einsatzmöglichkeit zur Stabilisierung von Deichen ist im Feldversuch nachgewiesen. Einer Verbreitung in die Baupraxis stehen vor allem weitergehend folgende Sachverhalte entgegen:

- Fehlende Kenntnisse zu eindeutigen wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen des Produktrecyclings im Vergleich zum Materialrecycling (trifft auf alle beteiligten Akteure zu).
- Die Verfügbarkeit von konstruktiven Kenndaten zu Betonbauteilen (Datenblätter) ist nicht immer ausreichend gegeben. Dadurch kann es zu erschwerten Planungen kommen. Ggf. sind Vorortaufnahmen zu spezifischen Bauteilparametern (z.B. Anzahl, Lage, Zustand der Bewehrung) notwendig. Dies wirkt sich auf den Zeit- und Kostenaufwand aus.
- Die Architekten / Planer, die mit gebrauchten Betonelementen planen (sollen), sehen sich zum

Teil in ihrer Kreativität durch die geometrischen Restriktionen der Betonelemente eingeschränkt. Eine Kombination mit neuen Bauelementen, bestehend auch aus anderen Baustoffen, erfordert scheinbar einen höheren Planungsaufwand.

- Die Unkenntnis, wann, wo, wie viele Betonelemente anfallen bzw. das Problem der Bauelementerfassung und -weitergabe ist ein sehr großes Hemmnis. Darüber hinaus ist die notwendige Zwischenlagerung außerhalb der Rückbaubaustelle nicht gelöst, denn der Zeitpunkt des Anfalls der Betonelemente ist nur im Idealfall identisch mit dem Beginn einer neuen Baumaßnahme.
- Da es sich um konstruktive Bauelemente handelt und diese bislang nicht als geregelte Bauprodukte in der Bauregelliste gelistet sind, bedarf es zu ihrem Wiedereinsatz in Gebäuden entweder einer bauaufsichtlichen Zulassung oder einer Zulassung im Einzelfall. Dies ist für den Bauherrn mit einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden und konterkariert damit per se den Gedanken der Wiederverwendung.
- Vollkommen konträr sind die Fördermodalitäten für Wiederverwendungen. Zum einen fördert bspw. das Stadtumbau Ost-Programm den Abbruch anstatt den Rückbau/Demontage resp. gefördert wird die Wertvernichtung anstatt Werteeerhaltung. Die Förderhöhe des Programms ist hierbei der Treiber, in erster Linie Abbrüche zu tätigen. Eine Differenzierung der Förderhöhe für Abbruch- oder Rückbaumaßnahmen existiert nicht. Der Abbruch, der eine Zerstörung der Bausubstanz zur Folge hat, kostet etwa nur halb so viel wie ein bauelementeorientierter Rückbau/eine Demontage. Das Ergebnis, dass der beim Abbruch erzeugte Bauschutt weiter aufbereitet werden muss und dass beim Rückbau gebrauchsfertige Bauelemente zurück gewonnen werden, wird völlig ignoriert.
- Der Einsatz von wiederverwendungsgerechten Betonelementen wird untersagt bzw. sogar Bauherren strafrechtliches Vergehen angedroht, wenn gebrauchte Betonelemente vor Ausreichung eines beantragten zinsgünstigen Kredits erworben wurden und sich auf einem Zwischenlager befinden. Die Zwischenlagerung wird als ein „vorzeitiger Maßnahmebeginn“ ausgelegt, wobei die Verfügbarkeit von Betonelementen zu Beginn einer Baumaßnahme i.d.R. nie gegeben ist. Diese Fördermodalitäten stellen nicht nur ein Hemmnis dar, sondern verurteilen Wiederverwendungen von vornherein zum Scheitern.

Als grundlegendes Hemmnis für eine **Wiederverwendung von konstruktiven Stahlbauteilen** stellt sich die seit Jahren hohe Erlössituation für Stahl /Stahlschrott dar. Zudem greift auch hier - wie o.a. - der Zeitfaktor beim Abbruch, so dass ein Rückbau mit selektiver Gewinnung der verbauten Stahlbauteile in Vorbereitung der Nachnutzung Ausnahmen sind. Ist eine Zweitnutzung unbeschädigter, nicht verformter Stahlträger mit Schweißverbindungen geplant, wird empfohlen, deren Schweißbeignung vorab zu prüfen.

Bei einer **Wiederverwendung von Holzbauteilen** (Konstruktionsholz) bestehen im Allgemeinen Unsicherheiten und Vorbehalte. Mögliche Schadstoffbelastungen durch eingesetzte Holzschutzmittel gegen Pilz- und Insektenbefall und zum Oberflächenschutz erschweren eine sekundäre Nutzung der konstruktiven Holzbauteile. Die Einschaltung eines Sachkundigen zur Bewertung etwaiger Schadstoffe hat unmittelbar Auswirkungen auf den Kosten- / Zeitaufwand. Die günstigere Option, von vornherein vom Worst Case-Fall auszugehen (Einstufung der Hölzer in die A IV) führt dazu, Holzbauteile in nach BImSchV genehmigten Feuerungsanlagen behandeln bzw. thermisch verwerten zu können. Mit Blick auf die Zukunft verhindert zudem die Art der angewandten „neuen“ Verbindungsmethoden (wie nicht lösbare Kammnagelverbindungen) eine zerstörungsfreie Bauteilgewinnung.

Generell erfordert das Handling von großen, schweren Bauelementen wie Betonelemente, Stahl- und Holzträger den Einsatz von Hebefahrzeugen, was zu einem logistischen Mehraufwand der TUL-Prozesse (Transport/Umschlag/Lagerung) führt.

Hemmnisse der Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle

Die Verwertungsmöglichkeiten für RC-Mineralgemische sind umso mehr eingeschränkt, je mehr unterschiedliche Materialien und Fremdbestandteile im aufzubereitenden Haufwerk vorhanden sind. Diese lassen sich später im Zuge der Aufbereitung nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand wieder trennen.

Die wesentlichen Hemmnisse sind [Meetz, Verheyen, Mettke, Asmus, 2013]:

- der unverhältnismäßig hohe Aufwand zur Trennung von Mauerwerksgemischen und Bauschuttgemischen in einzelne Stofffraktionen mittels bspw. händischer Sortierung, Sichtungen (Trocken-, Nasssichtungen), sensorgestützten spektralen Sortierungen,
- die generell mangelnde Akzeptanz und das negative Image von RC-Baustoffen,
- RC-Baustoffproduzenten haben eine schwächere Lobby als die Natursteinproduzenten,
- Benachteiligung oder Ausschluss von RC-Baustoffen bei Ausschreibungen durch
 - fehlende Kenntnisse auf Seiten der mit der Planung und Ausschreibung beauftragten Ingenieurbüros aber auch der Bauherren (z.B. der kommunalen Straßenbauverwaltungen),
 - Planer und Bauherren lehnen den Einsatz von RC-Baustoffen mitunter ab aufgrund der zusätzlichen Aufwendungen (Zeit, Kosten) zur Beurteilung der Eignung für den jeweiligen Anwendungsbereich,
 - Haftungsrechtliche Bedenken seitens der Bauunternehmen,
- qualitativ hochwertige RC-Baustoffe/RC-Gesteinskörnungen sind preislich z.T. nicht günstiger als Natursteinprodukte,
- mit einer hochwertigen Verwertung konkurrierende einfache Entsorgungsmöglichkeit für Bauschutt im Rahmen der Rekultivierung von Steinbrüchen und Gruben,
- uneinheitliche und unübersichtliche Regelungen zur Gütesicherung der RC-Bauprodukte und deren Produktion und damit verbunden oftmals fehlendes Vertrauen auf Seiten der Planer,
- mangelnde Kenntnisse und Erfahrungen zur Verwendung von RC-Beton,
- Unklarheiten über das Ende der Abfalleigenschaft.

Hemmnisse der Verwertung von nicht mineralischen Bau- und Abbruchabfällen

- für **Fe- und NE-Metalle** bestehen keine nennenswerten Optimierungspotenziale,
- für **einige Altkunststoffprodukte** existiert kein Markt zur stofflichen Verwertung; der Aufwand zur Kunststoffsartierung steht aktuell günstigen Annahmepreisen zur Verbrennung entgegen,
- Hemmnisse zeigen sich - in Vorbereitung des funktionierenden Recyclings - für **PVC-Fensterprofile** in weiten Transportwegen bis zu den Sammelstellen (kein ausreichendes Netz an Sammelstellen in Deutschland vorhanden) und darüber hinaus im erhöhten Aufwand, um Metall- und Glasfaserbestandteile sowie schadstoffhaltige Dichtungsbänder zu entfernen. Zudem erschweren Regelungen des Abfall- und Chemikalienrechts das Agieren bestimmter Verwertungsakteure.
- **Styropordämmstoffe**, die bis 2013 verbaut wurden und als Abfall nach Nutzungsdauerende anfallen, müssen thermisch behandelt werden, weil sie mit dem schadstoffhaltigen Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) behandelt wurden.
- Für **Wärmedämmverbundsysteme** mit anhaftendem Gewebe und Putz auf der Außenseite und Spachtel- und Klebmassen sowie Dübel auf der Innenseite gibt es bislang keine technischen Lösungen zur stofflichen Verwertung. Die Verschmutzungen verhindern eine stoffliche Verwertung.

- **Materialverbünde** lassen i.d.R. keine stofflichen Verwertungen zu.

Vor diesen Hintergründen wurden Vorschläge für Maßnahmen resp. konkrete Handlungsempfehlungen erarbeitet.

Handlungsempfehlungen

Eine entscheidende Weichenstellung für die Wiederverwendung von Bauteilen sowie für die hochwertige Verwertung von mineralischem und nicht mineralischem Bau- und Abbruchschutt wird - wie o.a. - bei der Konzeption und Planung des Abbruchs / Rückbaus eines Gebäudes getroffen. Der Rückbau als ein spezielles Verfahren des Abbruchs u./o. die Sanierung eines Gebäudes erfolgt umso gezielter und material- oder bauteilselektiver, je eher sich dadurch Entsorgungskosten vermeiden oder möglicherweise für Teilströme gar Erlöse erzielen lassen. Zur Realisierung einer hochwertigen Verwertung anfallender Bauabfälle ist ein selektiver Rückbau nach vorhergehender Entkernung der Gebäude unumgänglich.

Die Handlungsempfehlungen lassen sich verallgemeinernd wie folgt zusammenfassen:

- Initiieren freiwilliger Vereinbarungen im Sinne „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“,
- Schaffung von Vereinbarungen auf Bundesebene mit den Herstellerverbänden, die Rücknahmesysteme sowie Verwertungsstrukturen und -nachweise sicherstellen. Die Vereinbarungen sollten mit einem Monitoring-Konzept verbunden und entsprechend überwacht werden.
- Aufnahme von Informationen zur Wiederverwendung von Bauteilen und Beschaffung von Recyclingbaustoffen einschl. Hinweise auf bestehende Annahme- und Verkaufsstellen in kommunalen Medien, z.B. Informationsbroschüren wie Abfallkalender und Neubau- und Modernisierungsfibeln,
- Erarbeitung von Regularien zur Haftung und Gewährleistung zur Verwendung von gebrauchten Bauteilen und Rezyklaten,
- Für die Überwachung von Produktion und Produkten ist ein einheitliches System erforderlich: zum Parameterumfang sowie zur Prüfhäufigkeit und der Art der Prüfung sind einheitliche Vorgaben zu erlassen und dies über ein einheitliches Prüfsiegel zu dokumentieren. Dies bedeutet eine Vereinheitlichung der Überwachung von Produktion und Produkten bei gleichzeitiger Sicherstellung hoher Standards.
- Die Produktion von neuen Baustoffen ist nur dann zuzulassen, wenn deren stoffliche Verwertbarkeit nachgewiesen werden kann - auch im Sinne des Re-Recycling ,
- Einführung von Gebäudepässen, die die Herstellung, aber auch weitere bauliche Veränderungen in und am Gebäude dokumentieren und Daten der Baubeschreibung enthalten.
- Ausschreibung von Architekturwettbewerben zum recyclinggerechten Konstruieren von Gebäuden im Hinblick darauf, möglichst umfassend gebrauchte Bauteile zurück gewinnen und Baustoffe rezyklieren zu können,
- Die Curricula in der Ausbildung von Architekten und Bauingenieuren sowie handwerklichen Ausbildungsberufen sollten unbedingt das Thema Ressourceneffizienz und hochwertige Verwertbarkeit der beim Abbruch/Rückbau von Gebäuden anfallenden Massenströme beinhalten.

In den folgenden Abschnitten werden weitergehende wesentliche Handlungsempfehlungen aufgeführt; untergliedert in die Bereiche Abbruch / Rückbau von Gebäuden, Wiederverwendung von Ausbauteilen und konstruktiven Gebäudeelementen sowie hochwertige Verwertung mineralischer und sonstiger Bauabfälle:

zum Abbruch / Rückbau von Gebäuden

Mit dem Abbruch / Rückbau ist die Möglichkeit verbunden, einerseits Ausbauteile und andererseits konstruktive Bauteile für eine Wiederverwendung zu gewinnen sowie mineralische und sonstige nicht mineralische Bauabfälle stofflich differenziert für eine Verwertung bereit zu stellen. Dies erfordert:

- Änderung der Landesbauordnungen, um eine obligatorische Genehmigungspflicht für den Abbruch von Gebäuden sicher zu stellen bzw. eine Handhabe zur Formulierung entsprechender Auflagen und dessen Ausgestaltung für eine hochwertige Nachnutzung der zurück gewonnenen Bauteile und -Baustoffe zu schaffen.
- Erstellung von Handreichungen, woraus regionale Potenziale für die Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Bauschutt hervorgehen. Eine derartige Handreichung sollte von den Bundesländern in Auftrag gegeben und den Kommunen zur Verfügung gestellt werden. Empfohlen wird, ein öffentlich zugängiges Portal für gewerbliche, behördliche und private Nutzer einzurichten, in welchem die zum Abbruch/Rückbau vorgesehenen Gebäude der öffentlichen Hand und privater Bauherren aufgeführt werden. Mit Hilfe dieses Portals könnte die Grundlage geschaffen werden, im Idealfall eine JIT-(just-in-time)-Belieferung von der Abbruchbaustelle zum Neubauvorhaben zu realisieren bzw. effektive TUL-Prozesse zu planen.
- Darüber hinaus wird empfohlen, ein Formblatt zu entwickeln, auf dem die Prüfung der Möglichkeit zur Entnahme und Wiederverwendung von Bauteilen resp. Baustoffen bestätigt wird. Diese Formblätter könnten Bestandteil der Genehmigungs- und Ausschreibungsunterlagen für den Abbruch/Rückbau von Gebäuden werden. Zudem muss den Akteuren die Möglichkeit gegeben werden, geeignete Ausbauteile in einem fest vorgesehenen Zeitfenster während der Ausführungsphase zu „bergen“.

Hierauf und auf den o.a. Hemmnissen aufbauend wurden Lösungsansätze und -strategien formuliert und konkrete Handlungsempfehlungen für nachstehende Bauteile und -materialien abgeleitet:

zur Wiederverwendung von Ausbauteilen und konstruktiven Gebäudeelementen

Ergibt sich nach der ersten Prüfung für die zum Rückbau anstehenden Gebäude oder Sanierungsmaßnahmen ein Potenzial zur Wiederverwendung, sollten die für den Abbruch / Rückbau Verantwortlichen zu bereits bestehenden Einrichtungen wie bspw. Bauteilbörsen und -händlern Kontakt aufnehmen. In vielen Regionen fehlen bis dato entsprechende Strukturen. Da deren Aufbau mit dafür qualifiziertem Personal und den benötigten Lagerflächen mit hohen Kosten verbunden ist, bei gleichzeitig unsicherer Rentabilität für Ausbauteile, bedarf es entsprechend flankierender Maßnahmen:

- Bundesweite Prüfung sinnvoller Standorte/Regionen zum Aufbau von Bauteilbörsen, in Zusammenarbeit mit Institutionen wie dem Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V. und dem Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V. bspw. im Auftrag der einzelnen Bundesländer sowie die stärkere Einbindung des vorhandenen Sekundär(rohstoff)-Marktes,
- für die Vermarktung von gebrauchten Bauteilen sollten Netzwerke auch unter Einbindung von Abbruchunternehmen aufgebaut werden,

- Erteilung von Auflagen, zukünftig nur noch unter Einbeziehung der Lebenszyklusbetrachtung Gebäude zu planen,
- Planung und Ausführung recyclinggerechter Konstruktionen - montage- und demontagegerechte Verbindungstechniken - realisieren und somit den Anteil an nicht zerstörungsfrei lösbaren Verbindungen zu minimieren und Bauteile dadurch auswechselbar zu machen. Bspw. sollten die in Fertigteilbauweise errichteten Gebäude wie EFH, DH hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit von Bauwerksteilen (Deckentafeln, Holzständerwände etc.) optimiert werden,
- adäquat zur Bergung und Wiederverwendung von historischen Bauteilen ist mit intakten, nicht schadstoffbelasteten, gebrauchsfertigen Bauteilen der jüngeren Generation zu verfahren - das bedeutet eine konsequente Umsetzung des Wiederverwendungsgebotes,
- Vergabe von Projekten, um Vertrauen zur Wiederverwendung von Bauwerksteilen und Bauelementen zu schaffen,
- gezielte Sensibilisierung der im Bauwesen agierenden Akteure zu Wiederverwendungsoptionen von konstruktiven Bauelementen aus Stahlbeton, Stahl und Holz für eine Sekundärnutzung.
- Verpflichtung der öffentlichen Hand bei allen ihren Bauvorhaben zu prüfen, inwieweit gebrauchte Bauteile oder konstruktive Gebäudeelemente aus dem Hochbau eingesetzt und damit weitergenutzt werden können. Dies trifft nicht nur auf Bauvorhaben im Hochbau zu, sondern gerade auch auf Umweltschutzbauwerke wie den Deichbau bzw. den Hochwasserschutz; hier sind Betonelemente nachweislich einsetzbar. Außerdem können konstruktive Elemente als Teil von Plastiken, Skulpturen und anderen Bauwerken bspw. in öffentlichen Grünflächen und Plätzen wieder eingesetzt werden.
- Initiative zur Aufnahme der Bauteilewiederverwendung und dem Einsatz von Recyclingbaustoffen bei und durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB),

Neben den o.a. allgemeingültigen Handlungsempfehlungen werden speziell für Wiederverwendungen von **Stahlbetonfertigteilen** wie folgt ergänzt:

- Verbesserung der baurechtlichen Rahmenbedingungen, um gebrauchte Betonelemente wieder- oder weiterverwenden zu können; Aufnahme gebrauchstauglicher / wiederverwendungsgeeigneter Betonelemente in die Bauregelliste A, denn im Rahmen von Forschungsarbeiten wurden umfassende Prüfungen durchgeführt und dokumentiert [BTU, 2008 ff.]. Die bautechnischen und -rechtlichen Untersuchungsergebnisse sollten als Basis für die Erarbeitung einer Norm dienen. Diesbezüglich begonnene Aktivitäten seitens der BTU, eine Norm zu erarbeiten, sollte staatlich unterstützt werden.

Für eine derzeit übliche und erforderliche Zulassung im Einzelfall (ZiE) wird empfohlen, das „Merkblatt Wiederverwendung von Fertigteilen aus Beton, Stahl- und Spannbeton“, herausgegeben vom Landesamt für Bauen und Verkehr des Landes Brandenburg [LBV, 2012], in allen Bundesländern zu Grunde zu legen.

- Schaffung von staatlichen Förderanreizen durch bspw. dem Markt angepasste Förderhöhen für den selektiven Rückbau im Vergleich zum klassischen Abbruch. Ungeachtet der Abbruchmethode wird der klassische Abbruch, der eine Zerstörung der Bausubstanz zur Folge hat, bislang genauso gefördert wie ein selektiver Rückbau, obwohl der herkömmliche Abbruch etwa nur die Hälfte gegenüber dem selektiven Abbruch kostet. Im Umkehrschluss wird empfohlen, die bestehende Subventionierungshöhe für klassische Abbrüche aus dem Programm „Stadtumbau Ost“ (in Abhängigkeit von der Geschosshöhe des zu beseitigenden Gebäudes 50, 60 oder 70€/m² Wohnfläche: siehe Festlegungen der einzelnen Bundesländer) zu halbieren und für selektive Rückbaumaßnahmen mit nachfolgender Wiederverwendung die bisherig ausgereichte Förderhöhe beizubehalten. Die erzielbaren Synergie-

effekte resp. baupolitischen Zielstellungen der Ressourcen - und Energieeffizienz können durch das Bauen im Bestand und mit dem Bestand wesentlich gesteigert werden.

- Es besteht dringlichste Korrektur staatlicher Fördermodalitäten für Bauherren, zinsgünstige Kredite beantragen zu können: Der Erwerb von gebrauchten Betonbauteilen und die Lagerung dieser auf einem Zwischenlager darf nicht als bereits begonnener bzw. als vorzeitiger Baumaßnahmenbeginn resp. als Nachfinanzierung von Fördermitteln gewertet werden. Eine Zwischenlagerung ist immer unerlässlich, weil der Zeitpunkt der Teilrückbaumaßnahme bzw. des Anfalls an Bauelementen i.d.R. nie mit dem Zeitpunkt des Neubauvorhabens übereinstimmt - abgesehen vom Idealfall: Rückbaubaustelle ist gleich Neubaubastelle. Wissenschaftliche Begleituntersuchungen der BTU zeigten jedoch, dass selbst Wiederverwendungen am Standort (Demontagebaustelle ist gleich (Re-) Montagebaustelle) Zwischenlagerungen erfordern, da sich die Reihenfolge der Rückgewinnung / des Anfalls an Betonelementen nicht mit der Montagereihenfolge des neuen Bauvorhabens deckt.

Eine Beibehaltung der bisherigen Fördermodalitäten konterkariert gänzlich den Wiederverwendungsgedanken bzw. führt das begonnene ressourcen- und energieeffiziente Bauen mit wiederverwendungsgeeigneten Bauelementen ad Absurdum.

- Verbesserung der logistischen Prozesse im Hinblick auf eine optimale Vermarktung der gebrauchten Betonelemente (z.B. Einrichtung von Zwischenlagern, Entwicklung / Etablierung eines geeigneten Angebots- und Nachfragesystems),
- Erarbeitung von anwendungsorientierten Handlungsanleitungen für Wieder- und Weiterverwendungen bzw. Empfehlung für den Neubau von Gebäuden mit (Alt-) Betonelementen unter Einbindung und Nutzung von Merkblättern/Planungshinweisen zum Bauen mit Stahlbetonfertigteilen herausgegeben von Fachvereinigungen und -verbänden, z.B. der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. [FDB, 2013]; dort wird z.T. auf die Umnutzbarkeit, das Recycling sowie auf Wiederverwendungsaspekte eingegangen,
- Erarbeitung einer Software zur Bemessung der Rentabilität für Wiederverwendungsmaßnahmen für den jeweiligen konkreten Standort (Kosten-Nutzwelkenrechnung), Darstellung der „Systemgrenzen“ der Rentabilität und Machbarkeit (lokal bzw. überregional),
- Entwicklung und Weiterentwicklung der Konzeptionen für Wiederverwendungsprojekte mit gebrauchten Betonelementen, z.B. für Bauten im Katastrophenschutz für die zweite Aufbaustufe (Wohn-, Verwaltungsbauten, Schulen, etc.) [Mettke et.al., 2010]

zur hochwertigen Verwertung mineralischer Bauabfälle

Über o.a. allgemeingültige Handlungsempfehlungen hinausgehend werden für die hochwertige Verwertung von mineralischen Sekundärrohstoffen folgende Anregungen gegeben:

- Aufbau eines Netzwerkes zwischen den beteiligten Akteuren - Abbruch-, Aufbereitungs- und Transportbetonunternehmen um RC-Gesteinskörnungen gezielt vermarkten zu können,
- Erstellen einer langfristigen und nachhaltigen Informationsplattform (oder Aktualisierung und Erweiterung oder Verlinkung der bereits bestehenden Seite www.rc-beton.de) zum Einsatz von RC-Baustoffen in Hochbauvorhaben für alle am Bau Beteiligten, (Planer, Architekten, Bauherren, ausführende Unternehmen, Behördenvertreter, Geldgeber, usw.), mit stetiger Aktualisierung der inhaltlichen Schwerpunkte, wie bspw. aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen, Leitfäden - im Sinne von To-Do-Listen - für die einzelnen Akteure, realisierte Projekte mit den jeweils beteiligten Unternehmen, integriertes Forum zum Erfahrungsaustausch,
- produktneutrale Ausschreibung von Baumaßnahmen und ggf. Schaffung von Anreizen für den Einsatz von RC-Baustoffen (z.B. durch monetäre Vorteile bei der Verwendung von Sekundärrohstoffen anstelle von primären Rohstoffen) durch Subventionierungsmaßnahmen in der Anschubphase; die

öffentliche Hand sollte hier eine Vorreiter- und Vorbildfunktion einnehmen,

- Überarbeitung und Anpassung der geltenden Regelwerke, mit der Zielstellung, eine bundesweit einheitliche und praxistaugliche Regelung zur Prüfung der Umweltverträglichkeit von RC-Baustoffen in Abhängigkeit des Einsatzortes zu schaffen; dies bildet die Grundlage für die Wiederaufnahme rezyklierter Gesteinskörnungen der Liefertypen 1 und 2 zur Herstellung von Beton für den Einsatz im Hochbau in die Bauregelliste A Teil 1 (gestrichen seit Ausgabe 2013/1 ff.). Aktuell ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zulassung im Einzelfall notwendig. Der dadurch verursachte hohe Kosten- und Zeitaufwand macht den Einsatz von RC-Beton als Konstruktionsbeton unrentabel oder verhindert dies sogar.
- Umsetzung der Forschungsergebnisse zur Verwertung von Mauerwerksmischgranulaten (vgl. Materialprüfanstalt Bremen oder Bauhaus-Universität Weimar) und Unterstützung von Forschungsarbeiten für innovative, sinnvolle Einsatzgebiete.

zur Verwertung von Kunststoffabfällen und Dämmmaterialien

- Einführung konkreter Quoten zur stofflichen Verwertung von nicht schadstoffbelasteten o.a. Baumaterialien. Dies könnte über freiwillige Vereinbarungen oder über Verordnungen erfolgen.
- Erarbeitung von technisch und wirtschaftlich vertretbaren Konzeptionen zur Trennung und Selektierung von Verbundbaustoffen, wie bspw. Wärmedämmverbundsystemen mit dem Ziel einer definierten Verwertung der einzelnen Materialfraktionen,
- Entwicklung von Lösungen, die auf das Bauproduktdesign und Bauweisen ausgerichtet sind, mit dem Ziel, die derzeit bestehenden zuvor genannten Probleme schnellstmöglich zu beseitigen.

2 Summary

Climate change and the growing demand for resources are causing the construction industry to face the issues and impacts of future building activities - because natural resources are finite goods. "Construction and housing" is a particularly important area of application, since approx. 30% of resource extractions can be allotted to this sector.

With the launching of several programs, such as the Sustainability Strategy and the Resource Efficiency Program "ProgRess" (February 2012), the German Federal Government has set significant political priorities.

On the way to sustainable development sustainable construction holds a prominent position, because for all phases of the life cycle of buildings - from planning, construction, the utilization phase (building operation) and renewal to the point of demolition/dismantling - a minimal consumption of resources and energy has to be pursued.

A fundamentally positive attitude towards resource protection exists in Germany, but there are great untapped potentials for waste prevention through reuse of components and reutilization of recycled (RC) building materials. Concepts, such as closing material cycles, the improved approach "Cradle to Cradle" and "Urban Mining" (which recognizes the city as a resource) have gained ground and need to be developed further. This represents the starting point of this report. By determining the status quo of reuse practice and by conducting an analysis of possible barriers spheres of activity and instruments have been developed for often used construction products and building materials.

Status Quo

During the period from 1995 to 2010, the total extraction of primary mineral raw materials in Germany amounted to an average of 625 million t/a. In 2010, the total amount was 541 million tons. The production of sand and gravel accounted for approx. 305 million tons per year in the same period. The production level of splits was around 211 million tons per year [SST, DIW Berlin, 2013]. The construction industry essentially influences the quantity of production as a result of demand. This, on the one hand, depends on the economic situation in the construction industry.

On the other hand, construction and demolition waste represents the largest share of waste in Germany. During the period from 1995 to 2011 an average of 207 million tons per year of mineral construction waste incurred. Over this 16-year-period the proportion of mineral construction waste remained rather constant, with the categories rubble, road demolition and construction waste accounting for about 1/3, while 2/3 consisted of ground materials.

The category of construction waste accounted for 55.3 million tons in the long-term average. [Monitoring-bericht Kreislaufwirtschaft Bau, 2013]

Depending on the region, as well as on age and typology of a building, a more or less high proportion of concrete or brick is included in construction waste. Depending on their composition and local distribution channels, old concretes are already separated from the other building rubble at the demolition site. The aim of processing is to create a recycled building material with defined properties. The quality of recycled building materials produced is thus determined by the raw material / the composition of the rubble and the processing technology. The more homogenous the material is, the higher the quality of the recycled product. Therefore, demolition/dismantling plays a key role with regard to the processing possibilities.

Recycled building materials are mainly utilized in road construction. Nevertheless, the willingness to use recycled building materials is not given in all sections in the public sector. In addition, it can be assumed that skepticism towards recycled building materials is even more pronounced among owners of commercial and residential buildings. Mineral construction waste from building construction is recycled to a con-

siderable extent, but not always at a “high value”, that is to say in accordance with specific value-giving properties (see Chapter 7). The recycling of residual masses from building construction / concrete chip-pings for partial substitution of primary construction materials (splints and/or gravel) as aggregates of concrete for building construction is so far only practiced in South-West German markets.

For recycled masonry batches, such as tiles or fractures of porous concrete, there are efficient possibilities for reutilization. However, the situation is different for mixed construction waste. Only limited quantities of recycled brick materials are permitted in road and building construction. The market opportunities for concrete fractures are promising. Mixed brick fractures, however, hardly sell.

The total amount of buildings in Germany contains about 50 billion tons of material. About 10 billion tons alone can be found in residential and commercial buildings.

- Mineral construction materials 9.7 billion t,
- Construction steels 103 million t,
- Copper 2.6 million t,
- Wood 247 million t,
- Plastics 7.6 million t [Schiller, Deilmann et.al., 2010].

Each city/municipality has a correspondingly large, man-made stock in form of buildings. Those can basically be regarded as durable goods with an expected useful life of about 50 to 100 years [see Lichtensteiger, 2006]. In addition to the main purpose of housing, buildings could eventually serve as a potential source of raw materials. A secondary use in new construction or modernization projects has so far not often been implemented. Apart from a few examples, this is currently not common practice. This includes expansion elements, resulting from modernization, demolition and dismantling, as well as structural building elements (see Chapter 6), which are usually recovered in partial deconstruction projects.

The recovery of historically valuable components has been largely established in Germany. The Employers' Association for Historical Building Materials (Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V., UHB) was founded in 1992 with the aim of salvaging valuable cultural assets from demolition in preparation for reuse. Antique timbers, planks, parquet, windows, doors, bricks etc., can be searched for by submitting a query with UHB or one of 28 member companies. In addition to trading historic building materials, component markets - which record a wide range of components and, if necessary, sell them after rework - are a valuable option in preparation for reuse. Component markets organize dismantling, transport, sale and advice on the reassembly of functional components or on further reuse. However, component markets have only been able to gain limited acceptance in Germany (project funded by the German Environment Foundation "bauteilnetz Deutschland" 2006-2009/2011-2015). Interior doors, flooring, windows, stairs and sanitation are mainly in demand and being sold (see Chapter 5). On internet platforms, such as the component catalog of the bauteilnetz Deutschland (www.bauteilnetz.de) or Alois (market for floor tiles and rubble; <http://www.alois-info.de>), it is possible to find components and materials from all across the country. A direct online sale without a previous inspection of components (most economical option) seldom takes place. Maintaining an accessible and well-assorted sales outlet or storage facility, as well as competent staff are necessary.

Detailed information about the prefabricated concrete elements can be found, i.e. in the catalogues prepared by the working group “Bauliches Recycling” of BTU Cottbus [Mettke, 2003a; Mettke, 2007a]. The BTU internet platform betonelemente.net, however, is currently not up to date due to lack of financial resources for web hosting and data administration.

The production of building materials and components is known to entail negative ecological effects. Therefore, much importance must be attached to the reuse and reutilization of construction and recycling of building materials. The environmental benefits of component reuse mainly are due to raw material and

energy savings.

For the purpose of Life Cycle Assessment of newly produced components the public database Ökobau.dat is available (database of the Federal Ministry for Transport, Building and Urban Development, <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/>, accessed on 03/24/2014). Based on this, first calculations for used single components, such as wash basins, radiators or windows, in relation to embodied energy were made in the context of the DBU-funded project "bauteilnetz Deutschland" (see Chapter 5.10.2). For the production of a washbasin (weight 10 kg, size 50 x 42 cm) approx. 468 MJ (or 130 kWh) of primary energy are required. In order to manufacture a window with plastic frame (weight 55 kg, size 1.70 x 1.13 m) about 972 MJ (270 kWh) are needed, while a 42-kilogram panel radiator (size: 140 x 60 cm) consumes 865 MJ (240 kWh) of embodied energy.

For the production of a brick 7,2 MJ are (2 kWh) are needed, converted to heating oil it requires 0.2 liters. In Odense (Denmark) a residential building with 14 units was built 1994 from 130,000 bricks, which had been salvaged from a neighboring condemned house. The energy embodied in the bricks of this building alone amounts to around 26,000 liters of oil. When the energy required for heating a house is relatively low, the impact of embodied energy throughout the life cycle becomes more significant.

The energy-related emissions of one ton of reused precast concrete in comparison to the same amount of newly produced precast concrete are reduced to 97% [Mettke, 2010].

By means of the so-called MIPS- indicator (Material Input per Service Unit) it was shown, that for one ton concrete product six tons of raw materials must be provided. The production of components made of reinforced concrete is very energy intensive. The primary energy consumption for the production of a precast concrete part is about 2000 to 3000 MJ / t (556 to 833 kWh). This means, for example, that a 3.5 ton, pre-stressed ceiling element made out of precast concrete has an energy content of about 7000-10500MJ (~ 1,950 to ~ 2,900 kWh). Converted to fuel, this means that a single ceiling plate of 10.8 m² contains approximately 230 to 250 liters of heating oil, which represents the "embodied energy". In addition, an average of 10 to 30 % of shell construction costs can be saved when reusing concrete elements instead of using new conventional building materials [see section 6.1.5; Mettke, 2010].

A reuse or recycling process is considered "high-quality", when it is able to utilize the value-giving properties of a component or material as comprehensively as possible. Beyond previous case studies, it is becoming more and more necessary to efficiently harness the great potential available in secondary construction materials and products. The environmental and economic benefits, especially of product recycling or the reuse of components in their entirety, are inadequately or not at all taken into consideration.

During the demolition / dismantling of buildings non-mineral construction waste (e.g. plastics, wood, etc.) is produced and needs to be disposed of (see Chapter 8). However, the material recycling quota is low compared to thermal utilization. Ferrous metals (section steel, sheet metal, rebar etc.) and non -ferrous metals (copper, zinc, aluminum, brass etc.) are already recycled to a large extent. Due to their value, they are already selectively collected in containers on demolition sites and sold to the metal and steel industry through scrap dealers.

More and more composite materials are used (not only in the building insulation), which can neither be separated on-site nor by means of further processing. Currently, the only possible routes of disposal for these composite materials are landfill or incineration.

Project goal and scope

The goal of the project was therefore to identify, describe, evaluate and, if necessary, further develop instruments, which are likely to significantly improve the reuse/reutilization of components and the high-quality recycling of building materials.

The report is structured in accordance with the process of dismantling/demolition projects.

The focus is on the phase of building core removal and dismantling of the load carrying system:

- Removal and reuse of building components, interior and exterior construction,
- Dismantling, reuse and reutilization of structural components,
- Separation and high-quality recycling of construction waste and non-mineral waste fractions.

This essentially corresponds to the five-step waste hierarchy of the German Waste Management and Product Recycling Act.

Barriers

Barriers for the reuse of extension and structural components

The aim of an analysis of possible barriers was to outline the situation and conditions impeding the efficient use of building components and materials. The basis was a detailed analysis and assessment from the perspective of different actors.

As a result, it should be noted that the nowadays generally applied method for demolition and core removal does not allow a damage-free recovery of functioning components and elements. Throughout the entire process chain of dismantling / reworking, storage and sale the reuse of extension components is (therefor) only economically viable in a few cases.

The main barriers for reuse / reutilization of extension components as well as of structural components can be summarized as follows:

- Tender documents do not request the selective dismantling of components, which are still suitable for use, in preparation for secondary usage.
- The non-destructive dismantling of extension components and elements in a demolition project lacks qualified personnel and sufficient coordination of logistics between the actors (which components are intended for reuse; this also applies to structural components). There is a lack of knowledge, skills and accurate communication structures.
- The time frame for demolition and/or deconstruction is usually very narrow, making a careful removal of extension components impossible. The dismantling or disassembly of extension components (windows, doors, radiators, etc.) as well as the dismantling of structural components (concrete elements, steel girders, beams, etc.) requires time and expenditures.
- Insufficient distribution channels for secondary building materials and elements (component markets) prevent a comprehensive collection. On the one hand there are only a few decentralized and well-known collection points for reclaimed parts such as the established component markets in Bremen or in Luckenwalde and Saarbrücken. On the other hand, market acceptance in many regions is not sufficient.
- There is generally a lack of information on the use, reuse or reutilization of components and building elements.
- Used components and elements are not regarded as equivalent to new parts or new materials due to acceptance and image problems. (The quality of used parts is - although unsubstantiated - questioned in general)
- Visible quality issues or the unknown material quality impair or even eliminate marketing opportunities.
- Lack of economic benefits for the retailer due to very high expenses for work-ups (staff, expenditure of time), any necessary additional cleaning due to long periods of storage etc. lead to disinterest or limit marketing opportunities.

- Sometimes higher prices for used components (often high quality material) compared to the new components inhibit sales.
- Casting, welding and conglutination of components and the use of composite materials (consisting of several components) is characteristic for current building methods. The parts are only - if at all - demountable and recoverable with very high expenditure of time and hence increased costs.
- There are legal uncertainties for the reassembly of used materials; liability and warranty issues are not adequately solved.
- There is a lack of guidance documents regarding reuse and reutilization for people involved in construction.

The reuse and reutilization of industrially prefabricated concrete elements has so far not prevailed in building practice. Most building measures (see Appendix 14.1) have been implemented in the context of research projects or other funded projects, but also by private individuals as a means of cost saving and creating value. The examples are mainly limited to East Germany and to the types of buildings in the GDR. However, these examples demonstrate that a reuse of dismantled concrete elements in building construction (detached and semi-detached houses, club houses, farm buildings) is possible, e.g. for garages, car-ports and design elements in landscaping. The usability regarding the stabilization of dikes has been verified in field test. The following issues mainly inhibit a practical application:

- Lack of knowledge about unique economic and environmental benefits of product recycling compared to material recycling (applies to all actors involved).
- The availability of structural characteristics of concrete elements (data sheets) is not always given. This can complicate the planning. On-site assessment of specific component parameters may be necessary (e.g. number of items, location and condition of the reinforcement). This affects time and costs.
- Architects /planners, who (could) consider used concrete elements in their design, feel creatively restricted by the geometric constraints of these concrete elements. A combination with new components consisting of other materials apparently also requires further planning.
- The lack of knowledge with regard to when, where and how many concrete elements can be found or the problem of component assessment and dissemination is a very critical barrier. In addition, the problem of temporary storage outside the dismantling site is not yet solved, because the date of dismantling is only under ideal circumstances identical to the beginning of a new construction project.
- Since structural elements are not yet listed as regular building products in the Building Rules List, a building-authority approval or an individual approval is required for reuse in buildings. This takes a considerable amount of time and expense for the building owner and generally thwarts the idea of reuse.
- Funding modalities for reuse projects are completely contrarian. On the one hand, programs like "Urban Redevelopment East" promote demolition rather than dismantling/disassembly and therefore promote the destruction instead of the conservation of value. The program's funding amount is an essential driver for conducting demolition projects. A differentiation between a grant amount for demolition and dismantling does not exist. Demolition, which causes a destruction of the building fabric, costs only about half as much as dismantling / disassembly of components. The fact that construction waste generated during demolition needs to be further processed and that ready-made components can be recovered in dismantling, is completely ignored.

- The use of suitable reused concrete elements is permitted. Builders even commit a criminal offense when used concrete elements were acquired before a low-interest loan was granted and when components are kept in intermediate storage. The intermediate storage is considered a "premature beginning of the measure", although concrete elements are usually not available at the beginning of a construction project. These funding modalities are not only an obstacle, but cause reuse projects to be doomed to failure from the very beginning.

A fundamental barrier to the reuse of structural steel components are high revenues from the sale of steel and scrap metal. In addition, the time factor plays an important role during demolition -as mentioned above. Therefore, deconstruction with selective recovery of steel components in preparation for reuse remains an exception. If a secondary use of undamaged, not deformed steel beams with welded joints is planned, it is recommended to check their suitability for welding in advance.

Uncertainties and reservations are generally common regarding the reuse of wooden elements (construction wood). Possible pollution caused by wood preservatives against fungal and insect infestations and to protect the surface, complicates a secondary use of the structural wood components. The involvement of an expert to assess possible pollution has an immediate impact on cost and time expenditure. The more convenient option is to directly assume a worst case scenario (classification of wood in A IV), which results in being able to treat wood components in furnaces approved by BImSchV (thermal utilization). Looking ahead, "new" connection methods (such as non-detachable ribbed nails) also impede a non-destructive component recovery.

Generally, the handling of large, heavy components, such as concrete elements, steel and wooden beams require the use of lifting equipment, resulting in additional logistical efforts (transport / handling / storage).

Barriers to the recovery of mineral construction and demolition waste

Recovery possibilities for recycled mineral mixtures are even more limited, when different materials and impurities are present in the debris, which is to be reprocessed. These can only be separated by further treatment and with disproportionate effort.

The major barriers are [cf Meetz, Verheyen, Mettke, Asmus, 2013] :

- disproportionate effort for the separation of mixed brick and rubble into individual material fractions by means of manual sorting, dry and wet separation, sensor-aided spectral sorting,
- a general lack of acceptance and the negative image of recycled building materials,
- producers of RC building materials have a weaker lobby than producers of natural stone,
- discrimination or exclusion of recycled building materials in tenders by
 - Lack of knowledge on the part of the engineering firm in charge of planning and the tender, but also on the part of the building owner (e.g. the municipal road construction management),
 - Planners and owners reject the use of recycled building materials, sometimes due to the additional expenses needed (time, money) to evaluate the material's suitability for the respective application,
 - Legal concerns on the part of contractors,
- high-quality RC-building materials/RC-aggregates are often more expensive than natural stone products,

- easy disposal options, such as using building rubble for the reclamation of quarries and pits undermines high quality recovery
- inconsistent and confusing regulations on quality assurance of recycled building products and their production, which is often associated with a lack of confidence on the part of the planners,
- lack of knowledge and experience with regard to the use of RC concrete,
- lack of clarity about the end of the waste property.

Barriers to the recovery of non-mineral construction and demolition waste

- there are no significant potentials for optimization with regard to ferrous and non-ferrous metals,
- for some waste plastic products there is no market for recycling; the expense for sorting of plastics currently exceeds the costs of incineration,
- Barriers occur in preparation for a functioning recycling of PVC window profiles due to long transport routes to component markets (a sufficient network of collection points is not available in Germany) and beyond this in increased effort to remove metal and fiber constituents and sealing tapes containing pollutants. In addition, legal provisions on waste and chemicals impede the scope of action for recovery.
- Styrofoam insulation materials, which were installed until 2013 and become waste by the end of their useful life, must be thermally treated, because they were treated with the contaminant-laden flame retardant hexabromocyclododecane (HBCD).
- For thermal insulation composite systems with adherent tissue and plaster on the outside and fillers, adhesives and dowels on the inside, there is still no technical solutions for recycling. Pollution prevents recycling.
- Material composites usually cannot be recycled.

Basis on these findings proposals for measures and concrete recommendations of action were elaborated:

Recommended Course of Action

Designing and planning the demolition/dismantling of a building are decisive turning points for the reuse of components and for the recovery of high-quality mineral and non-mineral construction and demolition waste. Deconstruction can be regarded as a special form of demolition and / or renovation of a building. It is carried out effectively when disposal costs can be reduced or it can even generate additional revenue.

A selective dismantling after previous core removal of the building is essential to realize a high-quality recovery of construction waste.

The recommendations can be summarized as follows:

- Initialization of voluntary agreements within the meaning of „Alliance for closed material cycles in construction“.
- Establishment of agreements at the federal level with associations of producers; provision of collection systems, recycling infrastructure and certificates. The agreements should be included in a monitoring concept and accordingly be monitored.
- Publishing information on the reuse of components and the procurement of recycled building materials in local media. This includes information about collection and selling points, e.g. information brochures, such as waste calendars and guides for new construction and modernization.

- Development of regulations on accountability and warranty for use of used components and recycled materials.
- A uniform system is needed for monitoring of production and products: for the range of parameters as well as the inspection frequency and the nature of the test, standardized requirements have to be adopted. This will be documented by means of a seal of approval. This means standardized monitoring of production and products, while maintaining high standards.
- The production of new building materials should only be allowed if their (re-)recyclability can be proven.
- Introduction of a “building pass” documenting the production of a building. Further contents should be: structural changes in and around the building and data concerning the construction specification.
- Tendering architectural competitions for recycling-compatible construction of buildings. Focus of tenders should be the comprehensive recovery of used building components and materials.
- The issue of resource efficiency and high-quality recovery of materials from the demolition / dismantling of buildings should be a part of the training of architects, engineers and other construction occupations.

The following chapters contain further substantial recommendations for action; subdivided into the areas of demolition / dismantling of buildings, reuse of extension components and structural building elements and the recovery of high-quality mineral and other construction waste:

Demolition / dismantling of buildings

Demolition / dismantling makes it possible to gain extension components and structural building elements for reuse. Furthermore, it is possible to provide differentiated mineral and other non-mineral construction waste for recovery. This requires:

- Change of state building codes to provide a mandatory licensing requirement for the safe demolition of buildings or to create a means of formulation of appropriate regulations to ensure the high-quality reuse of components and building materials.
- Preparation of handouts, containing regional potential for the reuse of components and the high-quality recycling of construction waste. Such a handout should be commissioned by the federal states and be distributed to local authorities. It is recommended to set up a public portal listing information about the demolition / dismantling of public and private buildings. This portal should be accessible to commercial, governmental and private users. Such a portal could help to realize JIT (just-in-time) deliveries from the demolition site to new construction projects or helps to plan effective TUL processes.
- It is also recommended to develop an assessment form for confirming the possibility for removal and reuse of components and / or building materials. These forms could be part of the approval and tender documents for the demolition / dismantling of buildings. In addition, the involved parties must be given the opportunity to recover appropriate building components in a fixed time window during the execution phase.

Thereto strategies have been formulated and concrete recommendations for the following components and materials have been derived:

Reuse of extension components and structural building elements

If a potential for reuse is discovered in a first assessment of a building, which is going to be dismantled or modernized, those responsible for dismantling/demolition should contact existing institutions, such as component exchanges and traders. Many regions still lack the respective structures.

The provision of qualified personnel and storage areas leads to high costs. At the same time the profitability for removed parts is uncertain. Therefore, accompanying measures are needed:

- Nationwide research of appropriate locations / regions for the setup of component markets. The research could be executed in collaboration with institutions such as “Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V.” and “Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V.“. Further, the research could be executed on behalf of the individual states and with intensified involvement of the existing secondary (commodity) market.
- Networks for marketing used components should be developed involving demolition companies.
- Impose the requirement that future building plans need to involve a life cycle assessment.
- Planning and execution of recycling-friendly construction - implement joining techniques that facilitate assembly and disassembly - and thus minimize the amount of non-destructively detachable connections and thereby make parts interchangeable. For example, prefabricated buildings, such as detached and semi-detached houses, should be optimized in terms of reusability of building parts (ceiling panels, wood stud walls etc).
- Non-polluted, ready-made components of the younger generation should be handled with the same care as historic components - that is a consistent implementation of the reuse commandment,
- Assignment of projects to build confidence in the reuse of building components and building elements.
- Raising awareness among the involved parties in the construction industry for the reuse options of structural elements made of reinforced concrete, steel and wood.
- Obligation of public authorities to consider the reuse of components or structural building elements within all their construction projects. This not only applies to construction projects in building construction, but especially to structures for environmental protection such as dikes and flood protection, in which the possibility for reusing concrete components is proven. In addition, structural elements can be reused as parts of sculptures and other structures in public parks and squares.
- Integration of the reuse of components and recycled building materials into the certification system of the German Council for Sustainable Building.

In addition to the above mentioned general recommendations, specific recommendations for the reuse of precast concrete elements are added as follows:

- Improving the legal building framework to enable the reuse of concrete elements. Include con-

crete elements suitable for reuse in the Building Rules List A, because extensive testing has been done and was documented in the context of research projects (see BTU, 2008 et seq.). The structural and legal findings should serve as a basis for the development of a standard. Activities on the part of the BTU, which has already begun to develop a standard, should be supported by the state.

- It is recommended to use the leaflet "Merkblatt Wiederverwendung von Fertigteilen aus Beton, Stahl- und Spannbeton" as a guidance to help gain approval in individual cases. This leaflet is published by the State Office for Building and Transport of the State of Brandenburg [LBV, 2012] and should be the basis in all federal states.
- Creation of funding incentives by the state need to be adapted to the market situation for selective deconstruction in comparison to classic demolition. The classic demolition, which causes the destruction of buildings, and selective deconstruction have previously been promoted equally. However, conventional demolition is only about half the price of selective deconstruction. Hence, it is recommended that the existing subsidy amount for classical demolition projects funded by the program "Urban Redevelopment East" should be halved (depending on the height between floors of a building 50, 60 or 70€/m²). The funding for selective dismantling should remain the same. Synergies or respectively building policy objectives, like increases in resource - and energy efficiency, can be achieved by existing buildings.
- State funding modalities should be adapted for builders to be able to apply for low-interest loans: The purchase of used concrete components and the storage of these should not be evaluated as an early construction start. Furthermore, should the purchase of these not be regarded as a supplementary financing of subsidies. Intermediate storage is always essential, because the date of the partial dismantling or the access to components usually never coincides with the time of the building project - with the exception of the ideal case: The dismantling site is the construction site.

Research by the BTU, however, showed that even reuse at the site (Dismantling site is equal to reassembly site) requires intermediate storage, because the order of steps taken during the recovery of concrete elements is not equal to steps taken in the reassembly of the new building.

Retaining the existing funding modalities entirely thwarts the idea of reuse and threatens resource- and energy-efficient building.

- Improvement of logistics in terms of an optimal marketing of used concrete elements. This means for example the setup of interim storage capacities, installation of a working supply-and-demand system.
- Development of practical guidelines for reuse and reutilization. Recommendation for the construction of new buildings with (old-) concrete elements involving leaflets / planning information on building with precast reinforced concrete. Information is published e.g. by "Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V." [FDB, 2013]; Conversion, recycling and other aspects of reuse are part of these publications.
- Development of a software calculating the profitability of reuse measures for specific locations (cost-benefit analysis), definition of the "system boundaries" of profitability and feasibility (local or supraregional)
- Design and further development of concepts for reuse projects with used concrete elements, e.g. for structures in disaster control for the second construction stage (residential buildings, administrative buildings, schools and others; see. Mettke et.al. 2010)

The high-quality recovery of mineral construction waste

Furthermore, the following suggestions for the high-quality recovery of mineral secondary materials are made:

- Establishment of a network between the parties involved - companies in demolition, treatment and transport enabling a focused marketing of recycled aggregates.
- Creating a long-term and sustainable information platform (or updating, extending or setting links to the existing website www.rc-beton.de). Contents could cover use of recycled material in surface construction for all involved parties (planning companies, architects, builder-owners, contractors, local authorities, investors and other stakeholders). There should be frequent updates for examples regarding legal conditions, guidelines, such as to-do-lists for each involved party, information about realized projects, lessons learnt and an integrated forum.
- Non-product related tenders of building projects and provision of incentives for the use of recycled building materials in the early project stages (e.g. by granting financial advantages when using secondary instead of primary resources). Public authorities should function as a role model.
- Revision and adaptation of existing rules with the aim of creating a standardized and practical method for assessing the environmental safety of recycled building materials depending on the usage site. This could be the basis for the reentry of recycled aggregate types 1 and 2 in the Building Rules List A for manufacturing concrete, used in surface construction (canceled since 2013/1). Currently, a building-authority approval or an individual approval is necessary. This leads to a high expenditure of cost and time making the use of RC concrete as a structural concrete unprofitable or even preventing construction.
- Implementation of research results for the use of mixed brick aggregates (see Materialprüfanstalt Bremen or Bauhaus University Weimar), and support of research for innovative and reasonable applications.

The utilization of plastic waste and insulation materials

- Introduction of specific quotas for recycling of non-polluted building materials. This could be done through voluntary agreements or regulations.
- Development of technically and economically viable concepts for the separation and selection of composite materials, such as thermal insulation composite systems. The goal is a recovery of individual material fractions.
- Development of solutions that address the design of building products and construction methods to eliminate the currently existing problems mentioned above as soon as possible.

3 Einleitung

3.1 Ausgangslage/Hintergrund

Dem weltweit wachsenden Bedarf an Rohstoffen steht die deutliche Verknappung primärer Rohstoffe gegenüber. So ist der effiziente Einsatz von Rohstoffen und Energieträgern das Thema übergreifender Umweltpolitik geworden.

Unsere gebaute Umwelt, unsere Städte und Gemeinden, unsere Gebäude sollten deshalb als Rohstofflager von heute und morgen (Urban Mining) genutzt werden. Durch die bereits eingeführte, in der Praxis jedoch noch nicht vollständig durchgesetzte, gezielte Trennung der Baustoffe beim Abbruch ist eine Recyclingwirtschaft entstanden, die es möglich macht, dass nach Aussagen der EU Generaldirektion Umwelt [Wolff, 2009] im Bausektor bereits ca. 80 % verwertet werden. Allerdings werden dabei, technisch gesehen, die Ressourceneffizienzpotenziale bei Weitem nicht ausgeschöpft. Es zeigt sich jedoch auch, dass für den tatsächlichen Erfolg der Ressourceneffizienz am Bau sowie die Interessenlagen der verschiedenen Akteure eine zentrale Rolle einnimmt. Vor allem im Hochbau werden fast ausschließlich Primärrohstoffe nachgefragt, während Recyclingprodukte mit einem negativen Image zu kämpfen haben. Die Basis für eine nachhaltige, funktionsfähige Wertschöpfungskette fehlt. Der Grundstein muss bereits bei der Planung von Gebäuden gelegt werden, nur so kann sich der Nachhaltigkeitsgedanke wie ein „Roter Faden“, beginnend beim Bau, über die Nutzungsphase bis hin zum Abbruch durch die gesamte Wertschöpfungskette eines Gebäudes ziehen. Sowohl in Zertifizierungssystemen für Gebäude (z.B. unter dem Schlagwort „Green Building“ als auch bei den Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen-DGNB) findet der Einsatz von Recyclingmaterial oder die Wieder- u./o. Weiterverwendung von Bauteilen keine oder nur wenig Beachtung.

Die Novellierung der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie¹ (u.a. Einführung der fünfstufigen Abfallhierarchie, Festlegung von Zielen für Wiederverwendung und Recycling) und das in das nationale Recht umgesetzte Kreislaufwirtschaftsgesetz² setzen neue Maßstäbe vom nationalen bis hin zum regionalen Handeln: erst die Abfallvermeidung, dann das Vorbereiten auf die Wiederverwendung und erst dann die Verwertung. Damit wird es möglich, eine neue Wertigkeit in die Steuerungsprozesse am Bau einzuführen. Dies ist ein wichtiger Schritt beginnend bei der Planung von Gebäuden. Der Planungsprozess sieht den kompletten Lebenszyklus bisher nicht vor. So wird bspw. die Energieeffizienz von Gebäuden bisher lediglich über den Wärmebedarf (Verbrauch während der Nutzung) definiert. Die Rohstoffe und die Energiemengen, die für die Erstellung der Gebäude (Graue Energie) und Gebäudeteile beansprucht wurden und werden, bleiben trotz vielfältiger Hilfsmittel, wie z.B. Baustoffdatenbank oder Informationsportal Nachhaltiges Bauen, weitestgehend unberücksichtigt.

Laut einer Studie des Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie von 2008 werden in Deutschland jährlich insgesamt 700 bis 800 Mio. t an Rohstoffen für Bauen und Wohnen verbraucht [Wuppertal Institut, 2008].

In Deutschland fielen im Betrachtungszeitraum 2001 - 2010 im Durchschnitt jährlich rund 208 Mio. t Bau- und Abbruchabfälle an. Auf die Kategorien Bauschutt, Straßenaufbruch und gemischte Abbruchabfälle entfallen in Summe rund 84,2 Mio. t/a; darunter Bauschutt mit rund 58,2 Mio. t/a [Statistisches Bundesamt, 2013].

¹ Richtlinie 2008/98/EG vom 19. November 2008 über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie).

² Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz-KrWG) vom 24. Februar 2012.

D.h., das Bau- und Abbruchgewerbe erzeugt einerseits eine beträchtliche Größenordnung an zu entsorgenden Bau- und Abbruchabfällen und andererseits werden für Bautätigkeiten erhebliche Mengen an primären Rohstoffen verbraucht. Dem 8. Monitoringbericht Bauabfälle ist zu entnehmen, dass von den jährlich i. M. rund 84,2 Mio. t erzeugten Bau- und Abbruchabfällen rund 57,7 Mio. t mineralischer RC-Baustoffe hergestellt wurden [Monitoringbericht KRWB, 2013]. Die Substitutionsrate der natürlichen Baurohstoffe beläuft sich auf etwa 9 bis 11 %.

Nicht bekannt ist, wie viele erhaltene/zurückgebaute Bauteile hier in den Kreislauf der Bauwirtschaft zurückgeführt wurden bzw. werden könnten. Hierzu fehlen, trotz der Studie vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) zum Recyclingpotenzial „aus dem Hochbau in den Hochbau“ [Schiller/Deilmann, 2010], Aussagen darüber, welchen Ausstattungsgrad welche Gebäudetypen haben, bzw. in welcher Bauart sie errichtet wurden. Dass Bauteile schadensfrei demontiert bzw. ausgebaut und unter genauer Betrachtung der Einsatzbestimmungen wieder- u./o. weiterverwendet werden können, zeigen bereits durchgeführte Modellprojekte, z.B. zur Wiederverwendung von Bauteilen des Innenausbaus und der Gebäudehülle, zur Wieder- und Weiterverwendung von Betonbauteilen (siehe Kapitel 6.1 und Anlage 14.1), und die Aktivitäten der bundesweit agierenden Bauteilbörsen und Unternehmen (siehe Kapitel 5).

Abbildung 1: Abbruch einer Villa (Bremen), Teilrückbau Plattenbau (Schwedt) und Bauschutttaufbereitung



[Dechantsreiter/Mettke]

Hauptsächlich gelangen aufbereitete mineralische Bau- und Abbruchabfälle aus dem Hochbau in den Straßen- und Wegebau sowie insbesondere in Verfüllmaßnahmen (Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes, Material zur Rekultivierung von Gruben, zur Herstellung von Dämmen und Wällen). Dies machte bereits das Forschungsvorhaben vom IFEU-Institut Heidelberg aus dem Jahre 2008 [Knappe/Dehoust, 2008/2012] deutlich. In mehreren Arbeiten des IFEU-Instituts konnte dies für die Länder Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz bestätigt werden. In der angeführten Studie wurden erste branchenbezogene, auch ökonomische Anreizinstrumente entwickelt, die zu einer tatsächlichen Kreislaufwirtschaft, d.h. Rückführung der Sekundärrohstoffe in den Wirtschaftskreislauf, beitragen können.

Bei den nichtmineralischen Bau- und Abbruchabfällen, die im Zuge des Rückbaus von Gebäuden zur Verwertung anfallen, zeigt sich die Situation unterschiedlich. Aufgrund der Werthaltigkeit und der erzielbaren Erlöse sowie vergleichsweise einfachen technischen Möglichkeiten der Separation, werden Eisen (Fe)- und Nichteisen (NE)-Metalle bereits heute ab Baustelle getrennt gehalten und in großem Umfang hochwertig weiter verwertet. Deutlich anders zeigt sich die Situation bei den anderen nichtmineralischen Fraktionen.

Auf größeren Baustellen ist es gängige Praxis, bspw. Holz und Kunststoffe vor dem Abbruch von Gebäuden resp. baulichen Anlagen zu separieren und einer gesonderten Verwertung (meist thermisch bei der Erfüllung der vorgegebenen Heizwerte) zuzuführen. Ist dies nicht der Fall, entstehen gemischte Bau- und Abbruchabfälle, die über Containerdienste an Bauabfallsortieranlagen angedient werden müssen und zusätzliche Kosten verursachen.

Wie eine aktuelle Studie des IFEU-Instituts für die Provinz Südtirol zeigte, lassen sich EPS (Expandierter Polystyrolpartikelschaum) oder XPS (Extrudierter Polystyrolhartschaum) beim selektiven Abbruch klassisch

wärmegeprägter Häuser vergleichsweise gut separieren. Bislang ist jedoch noch keine hochwertige Verwertung möglich [Knappe/Diebel, 2012].

Inwieweit diese Erkenntnis auf Deutschland übertragbar ist, muss noch geprüft werden. Unabhängig davon haben wissenschaftliche Begleituntersuchungen der BTU Cottbus-Senftenberg, Fachgruppe Bauliches Recycling, gezeigt, dass sich Schwierigkeiten bei der Trennung der einzelnen Schichten von Verbundkonstruktionen und -bauteilen ergeben. Dazu zählen auch nachträglich energetisch aufgewertete Fassaden mittels Wärmedämmverbundsystemen.

Ebenso problematisch erweisen sich die beim Abbruch von Gebäuden erzeugten Glasabfälle. Dazu zählen Schaumglas als Wärmedämmstoff und Bauglasabfälle. Gelangen diese als Teil der mineralischen Fraktion in den Bauschutttaufbereitungsprozess, können sie die bautechnischen Eigenschaften der produzierten RC-Baustoffe je nach Verwendungsgebiet negativ beeinflussen.

Für vergleichsweise einfach separierbare Materialien wie bspw. Steinwolle und Flachglas existieren Verwertungswege, die aber bislang nur für einen kleinen Teilstrom der zur Entsorgung anfallenden Mengen genutzt werden.

3.2 Zielsetzung

Vermeiden -Verwenden -Verwerten

Gemäß der abfallpolitischen Prioritätenfolge und im Sinne einer nachhaltigen, ressourcenschonenden Bauwirtschaft ist die Wiederverwendung geeigneter Bauteile bezüglich des Material- und Energieverbrauchs die höchstwertige Form, Ressourcen zu schonen.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz³ setzt Maßstäbe, Stoffströme und Materialkreisläufe ökonomisch und ökologisch effizient zu gestalten. Ein energie- und ressourceneffizientes Produktdesign wird in Zukunft auch und gerade aufgrund der Mengenrelevanz eine wesentliche Rolle spielen.

Der Bausektor ist - wie o. a. - eine sehr rohstoffintensive aber auch abfallintensive Branche. Dementsprechend hoch ist das Ressourcenschonungspotenzial dieser Branche, das bisher in noch zu geringem Umfang genutzt wird. Ein optimiertes Stoffstrommanagement und eine Wiederverwendung von Bauteilen in Verbindung mit einer möglichst hochwertigen Verwertung von Baustoffen können damit einen wesentlichen Beitrag leisten, die Ziele des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRes) umzusetzen [Kaiser, 2012].

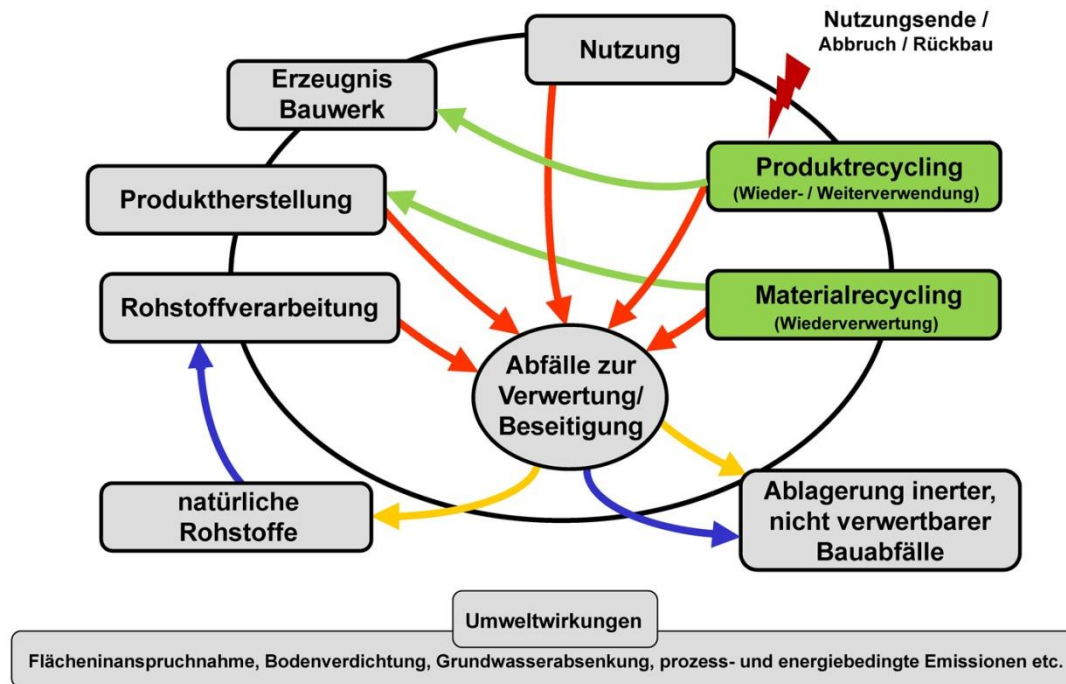
Zudem soll durch die am 01.07.2013 vollständig in Kraft getretene EU-Bauproduktenverordnung⁴ eine europaweite Harmonisierung für einheitliche Kriterien zur Einstufung von Bauprodukten erreicht werden.

Veränderungen im Bausektor können nur dann einen Beitrag zum Erreichen der Ressourceneinsparung/-effizienz leisten, wenn eine ganzheitliche Betrachtung des Bauprozesses, also von der Gewinnung der Rohstoffe bis zu ihrer Entsorgung, erfolgt. Es gilt, die vorhandenen Ansätze einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu prüfen, zu analysieren und vorhandene Märkte und Mechanismen (Wirtschaft/ Konsumverhalten) auf positive Ansätze hin zu untersuchen. Hieraus sind Potenziale und Hemmnisse zu ermitteln und Handlungsempfehlungen für die Stärkung und den Ausbau vorhandener, funktionierender Strukturen zu geben sowie Anregungen für übergreifende Instrumente abzuleiten.

³ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz-KrWG) vom 24. Februar 2012.

⁴ EU-Bauproduktenverordnung. Verordnung Nr. 305/2011.

Abbildung 2: Stoffkreislauf im Bauwesen



[Mettke]

Auf Basis der vorliegenden Erfahrungen gilt es, vorhandene Instrumente weiter zu entwickeln. Hierfür werden unter anderem auch die Erkenntnisse herangezogen, die im Rahmen des Forschungsprojektes Ma-Ress [Kristof/Nennicke, 2010] sowie des UFOPLAN-Vorhabens 3708 95 303 [Schiller/Deilmann, 2010] erarbeitet wurden.

Das Ziel ist, aus den Recherchen Handlungsempfehlungen abzuleiten, die positive Auswirkungen wie z.B.:

- Vermeidung/Verminderung von Baustellenabfällen,
- Vermeidung von „Downcycling“ (niedere Verwertung),
- Verminderung des CO₂-Ausstoßes,
- Einsparung von Primärrohstoffen und
- Einsparung von Primärenergie

zur Folge haben.

Der Schwerpunkt des Projektes soll auf der Identifikation von Instrumenten zur Optimierung der Wiederverwendung von Bauteilen liegen, da zur Verwertung/zum Recycling zum Teil bereits detaillierte Informationen und Erfahrungen vorliegen.

3.3 Methodische Herangehensweise

Das Forschungsprojekt hat zur Aufgabe, Instrumente zur Wieder- / Weiterverwendung von Bauteilen und zur hochwertigen Verwertung von Baustoffen zu identifizieren, beschreiben, bewerten und gegebenenfalls weiter zu entwickeln.

In einem ersten Bearbeitungsschritt sind zunächst die Möglichkeiten der Wieder-/Weiterverwendung von Bauteilen und Bauelementen sowie der hochwertigen Verwertung von Baustoffen aufzuzeigen. Die jeweils aus Sicht des Ressourcenschutzes bestmöglichen Optionen im Umgang mit Bauteilen und Baustoffen ist

grundsätzlich bekannt.

Dies gilt auch für die Verwertung der mineralischen und übrigen Baustoffmassen, die im Zuge eines Abbruchs von Gebäuden zur Entsorgung anfallen. Alle diese Abfälle weisen verschiedene wertgebende Eigenschaften auf, die sich oft direkt aus den Produkteigenschaften selbst ableiten lassen. Eine Verwertung ist umso hochwertiger, je umfassender die wertgebenden Eigenschaften der Abfälle genutzt werden. Anzustreben ist, dass ein möglichst hoher Anteil dieser Bauabfallmassen dieser Verwertungsart zugeführt wird. Auch dies in der Praxis meist nicht der Fall.

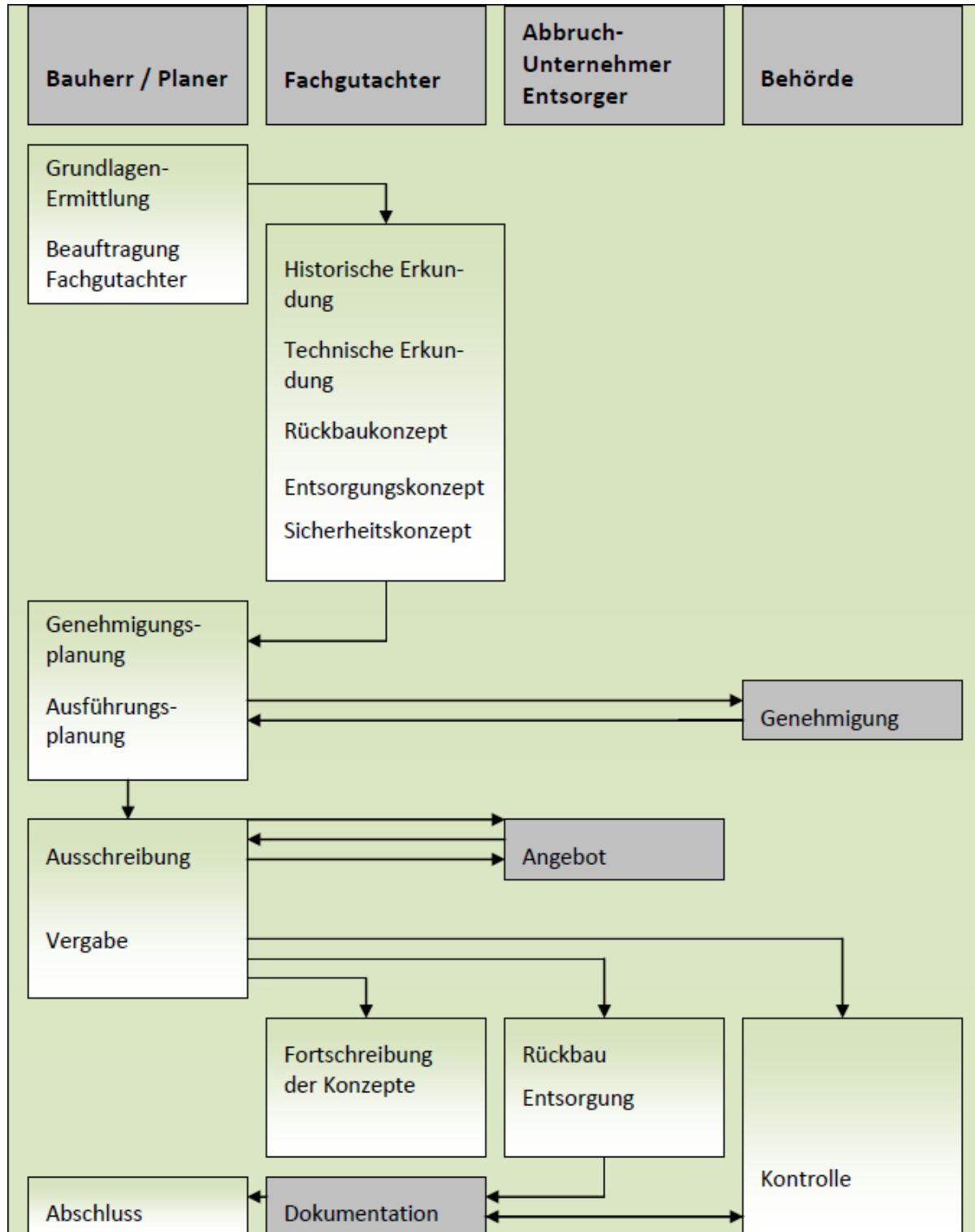
Der zweite Bearbeitungsschritt gilt daher einer Untersuchung der derzeitigen Praxis im Sinne einer Hemmisanalyse. Ziel ist es, die Sachverhalte/Rahmenbedingungen zu erkennen, die zu einer Abweichung vom idealen Umgang mit diesen Bauteilen und Baustoffen führen. Dazu bedarf es eines genauen Verständnisses der Situation und zwar aus Sicht der unterschiedlichen Akteure. Im Rahmen dieses Bearbeitungsschrittes wird daher auch gezielt Kontakt zu einzelnen Branchen und Wirtschaftsakteuren aufgenommen.

Sind die Hemmnisse aus Sicht der unterschiedlichen Branchen und Wirtschaftsakteure identifiziert, lassen sich daraus Lösungsansätze und -strategien formulieren, die den Status Quo in Richtung der jeweiligen Optima weiterentwickeln lassen. Diese Strategien gilt es abschließend so zu formulieren, dass sie in Form von Instrumenten konkrete Ansatzpunkte für Maßnahmen benennen.

4 Darstellung der Rückbau-Prozesskette

Das komplexe Zusammenspiel der Akteure beim Rückbau ist in der folgenden Grafik dargestellt.

Abbildung 3: Aufgabenverteilung bei Entkernungsarbeiten zwischen Bauherrn, Gutachter, Behörde und Unternehmen

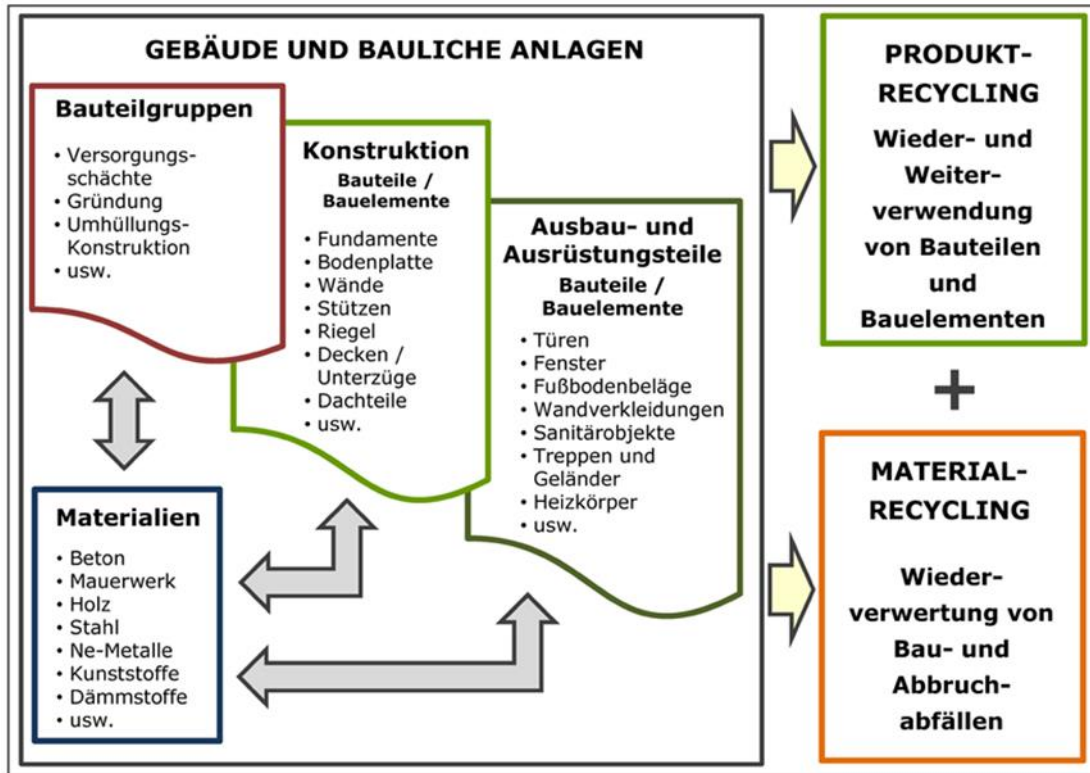


[nach Bayerisches Landesamt für Umweltschutz]

4.1 Bestandserfassung

Der Abbruch von Gebäuden wird nicht allein durch die Materialvielfalt komplexer. Das Wissen um Gebäudekonstruktionen und verwendete Baumaterialien, die typisch sind für bestimmte Gebäudetypen und Baualtersklassen, gewinnt an Bedeutung.

Abbildung 4: Begriffshierarchie vom Bauwerk zum Bauelement und Nachnutzungsoptionen



[Asmus/Mettke]

Eine qualifizierte Bestandsaufnahme mit Hinweisen auf eventuelle Schadstoffbelastungen ist der erste Schritt. Da nicht alle Gebäude ganz rückgebaut werden, sondern oft ein Sanierungsfall vorliegt, sind entsprechend der schon erfolgten Sanierungsphasen (und der damit verwendeten Baustoffe) die Bergungsarbeiten zu bewerten.

Die Begutachtung von Rückbaustellen wird in Regel vom Abbruchunternehmer selbst schon in der Angebotsphase vorgenommen, erst recht wenn keine Ausschreibung vorliegt. Es bedarf einiger Erfahrung, um die ursprüngliche Bauweise, die meist später erfolgten Sanierungsmaßnahmen, die Historie des Bauwerkes, die Bewertung der Baustoffe und der Verbindungsmaterialien und die Auswirkungen der Nutzung(en) bzw. etwaiger Nutzungsänderungen einzuschätzen.

Deshalb ist es von Vorteil, wenn der Auftraggeber alle ihm zur Verfügung stehenden Unterlagen bereithält. Im Wesentlichen sind das [BVBS, Arbeitshilfen Recycling, 2008, S.23 ff]:

Objektbeschreibung, Eckdaten (Baujahr, Bruttogeschossfläche, Bruttorauminhalt, Nutzungen, Konstruktion etc.)

Zusammenstellung aller zum Objekt gehörenden Unterlagen, wie

- Bestandspläne,
- Katasterpläne,
- Schnitte und Detailpläne zur Bausubstanz,

- Technische Gebäudeausstattung, Ver- und Entsorgungsinfrastruktur,
- Statische und bauphysikalische Berechnungen,
- Wartungs- und Nutzungsdokumentationen,
- Unterlagen zu durchgeführten Baumaßnahmen Rückbau,
- Bereits vorhandene Gutachten/technische Untersuchungen/Sanierungsdokumentationen,
- Unterlagen zur historischen Nutzung (Altbestand etc.),
- Hinweise zu besonderen Vorkommnissen (z.B. Brandschäden, Havarien etc.),
- Die Bauherren als Grundstückseigentümer und Besitzer sind im Idealfall die Ansprechpartner für die Bauteil- und Bauelemente-Verwender, um rechtzeitig die Bauteile/ Bauelemente begutachten und sichern zu können.

Ist dies der Fall können alle Bauteile/Bauelemente noch im eingebauten Zustand auf ihre Tauglichkeit für einen erneuten Einsatz geprüft werden. Gleichzeitig wird die vorhandene Einbausituation pro Bauteil dokumentiert und somit der Einsatz von Werkzeugen und Hilfsmitteln vorbereitet.

Der Bauherr kann anhand einer von der Bauteilbörse erstellten Liste mit dem Abbruchunternehmer die Entnahme der Bauteile besprechen. Der Abbruchunternehmer kann daraufhin sein Angebot erstellen. Die spätere Zusammenarbeit mit dem Abbruchunternehmer wird somit vom Bauherrn eingeleitet.

Schadstoffbelastungen

Vor dem Ausbau ist die Prüfung der Bauteile (Materialbeschaffenheit) und der Bauteilanschlüsse (verwendetes Material und Methode) notwendig. In dieser Phase wird entschieden ob, wie und mit wie viel zeitlichem Aufwand die Bauteile schadensfrei ausgebaut werden können. Gleichzeitig ist die Inaugenscheinnahme wichtig, um erste Hinweise bspw. auf die Verwendung von Holzschutzmitteln oder schadstoffhaltigen Bauteilen zu bekommen.

Für alle Bauteile, bei denen der Verdacht auf Schadstoffbelastungen besteht, muss eine Untersuchung auf entsprechende Schadstoffe erfolgen und ggf. ein Fachkundiger eingebunden werden.

Grundsätzlich können folgende Gruppen von Schadstoffen an Bauteilen unterschieden werden:

- Holzschutzmittel

In der Bundesrepublik Deutschland wurden zwischen 1970 und 1990 verschiedene Holzschutzmittel verboten, die über einige Jahrzehnte in großem Umfang zum Einsatz gekommen sind. Hierzu zählen die bekannten Holzschutzmittel Lindan (Insektizid, HCH Hexachlorcyclohexan), PCP (Fungizid, Pentachlorphenol) und DDT (Insektizid, Dichlordiphenyltrichlorethan). Diese Wirkstoffe wurden in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen in verschiedenen zugelassenen Präparaten angeboten und angewendet. DDT wurde bereits 1974 in den alten Bundesländern verboten, wurde aber bis 1990 in den neuen Bundesländern eingesetzt.

Der Umgang mit holzschutzmittelbelasteten Bauwerken und Bauteilen wird von den Ländern mit entsprechenden Richtlinien (z.B. in Hessen mit der Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie) vom Oktober 1996 mit Ergänzung im Staatsanzeiger vom 2. Mai 2000) geregelt.

Wenn Bauteile aus Holz aus den entsprechenden Epochen wiederverwendet werden sollen, müssen diese auf die entsprechenden Holzschutzmittel hin untersucht werden.

- Stoffe aus mineralischen Faserstoffen

Hier sind vor allem asbesthaltige Materialien und Produkte (fest- und schwachgebundenes Asbest)

zu nennen. Asbest wurde aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften in vielen Bereichen, von der Textilherstellung bis zur Verwendung als Dämmstoff und Faserarmierung für Betonprodukte, eingesetzt. Ab 1979 wurden asbesthaltige Produkte nach und nach verboten.

Asbesthaltige Bauteile sind Sonderabfall und dürfen nur durch entsprechend zugelassene Firmen mit geschultem Personal und behördlicher Genehmigung unter den vorgeschriebenen Schutzvorrichtungen ausgebaut werden.

Auch hier ist eine Beurteilung durch einen Sachkundigen vor dem Ausbau der Bauteile notwendig. Diese kontaminierten Bauteile kommen für eine Wiederverwendung nicht in Frage.

- Klebe- und Dichtstoffe

PCB (Polychlorierte Biphenyle) wurden als Weichmacher in Kunststoffen und in dauerelastischen Fugenmassen eingesetzt. PCB-haltige Stoffe wurden aufgrund ihrer gesundheitsgefährdenden und umweltbelastenden Wirkung im Jahr 1989 verboten und können demnach nicht wiederverwendet werden. In Bezug auf Bauteile sind hier vor allem die entsprechenden Ein- und Abdichtungen zu untersuchen.

- Teer (PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)-haltige Baustoffe)

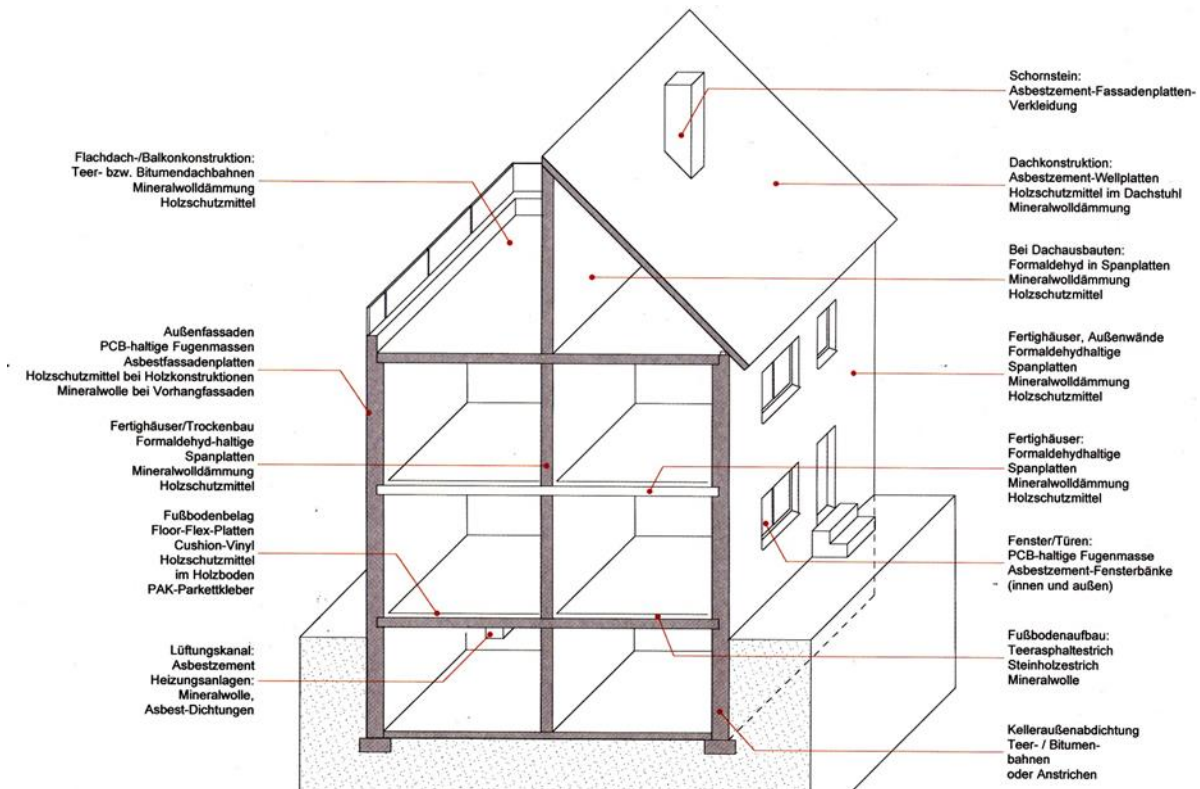
Teer ist aufgrund seiner krebserregenden Wirkung seit 1970 verboten. Verschiedene PAK-Verbindungen wurden in Dicht-, Isolier- und zum Teil auch in Klebstoffen auch in Verbindung mit Asbestfasern eingesetzt. Eine weitere PAK-Quelle können Schornsteine darstellen. Mit PAKs belastete Bauteile können nicht wiederverwendet werden.

- Schwermetalle

Eine weitere Quelle für Schadstoffbelastungen können alte Korrosionsschutzanstriche auf Metallen darstellen, wenn schädliche Schwermetallpigmente z.B. auf Cadmium- oder Bleibasis verwendet wurden. Bei Entfernung mittels Schleifen können gefährliche Schwermetallstäube freigesetzt werden.

Bei Arbeiten in schadstoffbelasteten Bereichen sind die entsprechenden Regelungen der Berufsgenossenschaft (BGR 128) und die Regelungen der zuständigen Institutionen einzuhalten.

Abbildung 5: Potenziell schadstoffbelastete Bauteile



[Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen]

4.2 Planung und Abbruch von Gebäuden

Rückbauvorhaben sind prinzipiell wie Abbruchvorhaben vorzubereiten. Sie erfordern allerdings nicht grundsätzlich die Einleitung und Durchführung eines bauordnungsrechtlichen Verwaltungsverfahrens gemäß der Bauordnungen der Länder⁵. Im Zuge der Verfahrensprivatisierung bei Abbruch entfällt somit die Kontrollmöglichkeit der Behörden, wenn die Beseitigung von „Anlagen“ nicht genehmigt werden muss. Die meisten Landesbauordnungen legen fest, dass gerade die für die Bauteilentnahme durchaus relevanten Gebäude (Wohngebäude der Gebäudeklasse 1-3) genehmigungsfrei abgetragen werden können.⁶

Für eine Abbruch-/Rückbaugenehmigung bzw. eine Abbruchanzeige ist die örtliche Bauaufsichtsbehörde zuständig.

Von der Abbruchgenehmigung nicht erfasst sind abfallrechtliche Nachweise sowie evtl. erforderliche wasserrechtliche Bescheide, wenn bspw. aufbereitetes Material (RC-Material) zur Verfüllung der Baugrube verwendet wird. Die Verantwortlichkeiten der Beteiligten sind in den Bauordnungen der Länder festgeschrieben. Planungs-, Überwachungs- und Entsorgungsverantwortung trägt der Bauherr. Er hat zur Vorbereitung, Überwachung und Ausführung eines genehmigungsbedürftigen Bauvorhabens bzw. Rückbauvorhabens einen Entwurfsverfasser, Unternehmer und Bauleiter zu bestellen. Dies kann auch der beauftragte Abbruchunternehmer sein. Der Abbruchunternehmer entscheidet, in welcher Reihenfolge abgebrochen, unter Einsatz welcher Geräte und wie genau die Abbruchmasse getrennt und sortiert wird.

⁵ Das Antrags- und Genehmigungsverfahren bei Abbruchvorhaben ist nicht bundeseinheitlich geregelt.

⁶ <http://www.bauordnungen.de/html/deutschland.html>, aufgerufen am 18.07.2013

In den Verantwortungsbereich der Bauherren fällt:

- die Vergabe der Planung an einen fachlich geeigneten Planer gemäß Bauordnung,
- die Erarbeitung eines Schutzkonzeptes (Arbeits- und Sicherheitsplanes),
- Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes,
- die Vergabe der Rückbauleistungen.

Im Vergleich zum Abbruch ist der planungstechnische Aufwand für Demontagen höher. Er resultiert aus den umfassenden sicherheitstechnischen und den technologischen Prozessen.

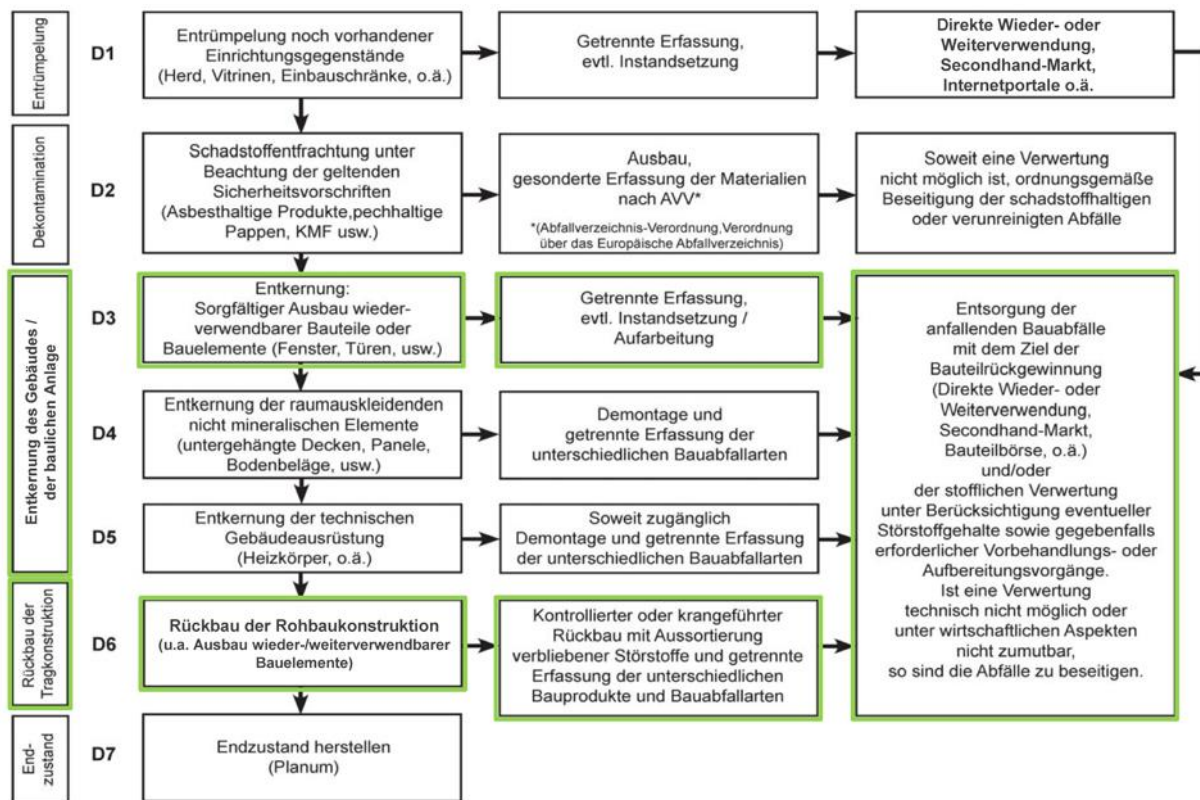
Dem Planer obliegt eine besondere Verantwortung für eine detaillierte Ausschreibung zum Rückbau mit entsprechenden Vorgaben zur Rückbautechnologie, um die Sicherheit in jeder Demontagephase (Schadstoffentfrachtung während des Demontagevorganges und für die verbleibende Bausubstanz) zu garantieren. Dies gilt auch für das Lagern und Verladen der rückgebauten Bauelemente und für den entstehenden Bauschutt. Erfolgt der Teilrückbau im bewohnten Zustand, ist darüber hinaus die Sicherheit der Mieter zu gewährleisten.

Demontageablauf

Die Umsetzung, d.h. der Rückbau/die Demontage von Gebäuden bzw. baulichen Anlagen erfordert einen strukturierten Ablauf, um, neben der Selektierung von Schadstoffen und schadstoffbelasteten Bauteilen und eine Vortrennung der einzelnen Baumaterial- und Baustofffraktionen zu ermöglichen, vor allem aber auch geeignete Bauteile und konstruktive Bauelemente für eine Wieder-/Wiederverwendung gewinnen zu können.

Grundsätzlich kann hierfür der Demontageablauf für einen partiellen wie auch totalen Rückbau in sieben Demontagestufen (D1 bis D7) unterteilt werden, welche primär bautechnisch bedingt sind.

Abbildung 6: Demontagestufen



[Mettke nach Motzko, 2004]

In der Phase der Entkernung des Gebäudes (D3) erfolgt u.a. der Ausbau von Bauteilen (Fenster, Türen, Treppen etc.), welche als wiederverwendungsfähig eingestuft wurden.

Nachdem das Gebäude beräumt (entrümpelt und entkernt; Demontagestufen D1, D2, D4, D5) und von Schadstoffen entfrachtet (D3) wurde, kann mit der Demontage der eigentlichen Rohbaukonstruktion (D6) begonnen werden, um hier u.a. geeignete Bauelemente für eine sekundäre Nutzung in Gänze auszubauen.

Grundsätzlich sind an die Demontage von konstruktiven Bauelementen aus dem Rohbau folgende Anforderungen zu stellen:

- Die Konstruktionselemente sind vor dem Trennen oder Lösen gegen Herabfallen oder Ab- bzw. Umkippen zu sichern. Neben sicherheitstechnischen Aspekten wird damit eine weitgehende Erhaltung der Form und Funktionsfähigkeit der Bauelemente nach dem Lösen der Verbindungen erreicht.
- Bei partiellen Demontagen ist eine Beschädigung der verbleibenden Bausubstanz auszuschließen.
- Das Öffnen/Trennen von Bauteilfugen, das Lösen/Trennen von Verbindungen hat so zu erfolgen, dass die zur Wieder- oder Weiterverwendung vorgesehenen Bauelemente nicht beschädigt werden.

Eine im Zuge der Abbruch-/Rückbauvorbereitung vorab zu erarbeitende Demontagetechnologie für die Rohbaukonstruktion sollte folgende Angaben enthalten:

- Menge/Anzahl und Sortiment der zu demontierenden konstruktiven Bauelemente,
- Besonderheiten des Bauobjekts,
- mögliche Kennzeichnung der Bauelemente für eine Wieder- u./o. Weiterverwendung,
- Rückbaumethode inkl. Hebezeug (Art, Standort), Verortung von Anschlagstellen und Art des Anschlages und der Anschlag- und Lastaufnahmemittel,

- Einhaltung der Demontagereihenfolge und etwaige Stabilisierung der Konstruktionen in den einzelnen Demontagephasen (Sicherstellung von Bauelementen sowie Lastabtragung von Geräten, Personen, Bauschutt, Abbruchstatik) mittels Abstützungen/Montagestreben,
- Freilegen und Lösen von Verbindungen,
- Maschinen- und Geräteeinsatzplan,
- Hilfskonstruktionen, z. B. Gerüst stellen, und Absturzsicherungen,
- Demontagetiefen und mögliche Auswirkungen auf angrenzende Gebäude,
- Sicherungsmaßnahmen, z. B. Absperren von Gefahrenbereichen,
- Arbeits- und Gesundheitsschutzmaßnahmen,
- Zwischenlagerungsflächen und sachgerechte Lagerung der Bauelemente.

5 Ausbau, Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen

Vor jedem Abbruch sollten möglichst viele Bauteile ausgebaut und der direkten Wiederverwendung zugeführt werden. Das oberste Ziel im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die Abfallvermeidung.

Die Einbindung von Bauteilbörsen/Baustoffhändler schon in der Entwurfsplanungsphase eines Rückbaus ist von großem Vorteil. Die Rückbauunternehmen können mit der Entnahme von „Störstoffen“ kalkulieren und die Bauteilbörse kann fachgerecht und schadensfrei in einem vereinbarten Zeitrahmen die Bauteile ausbauen. Die Bauteilbörsen, aber auch Baustoffhändler für historische Materialien nehmen zurzeit die Informationen an, wo welche Bauteile ausgebaut oder abgeholt werden können. Zum Teil werden Bauteile auch direkt vom Eigentümer an die Bauteilbörsen geliefert.

Abbildung 7: Arbeitsabläufe in Bezug auf die Bauteile-Wiederverwendung unter Beteiligung einer Bauteilbörse



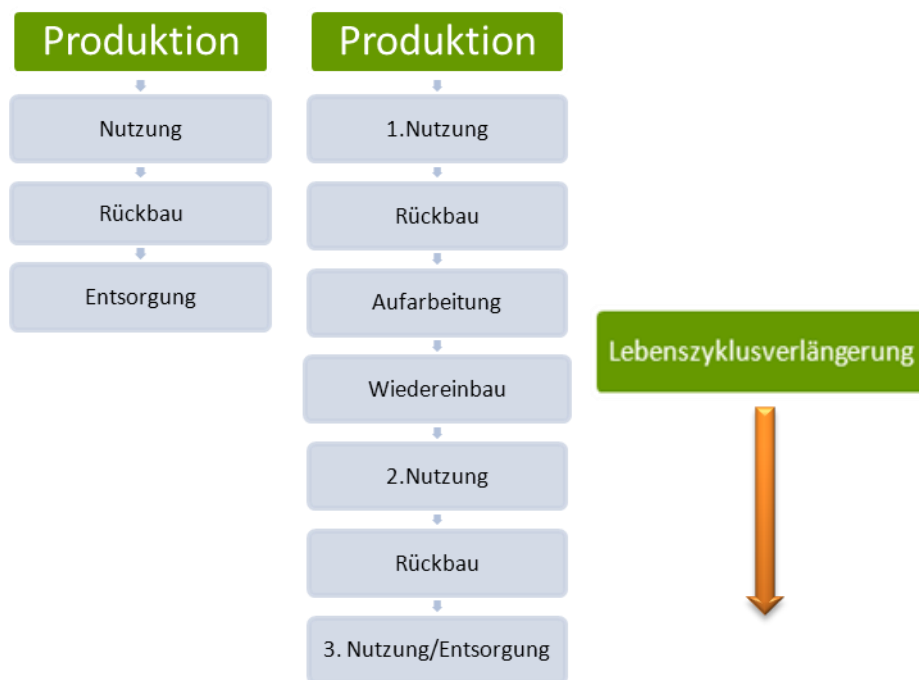
[Dechantsreiter]

Erreicht werden soll in erster Linie die Wiederverwendung der Bauteile zum gleichen Zweck, das heißt in ihrer ursprünglichen Funktion und unter Ausnutzung der Materialeigenschaften.

Bauteile aus Innenräumen und der Gebäudehülle lassen sich je nach Baujahr und/oder Bauweise (Gebäudetypologie) unterschiedlich aufwändig und je nach Einbaumethode mehr oder weniger schadensfrei bergen (siehe dazu auch Kapitel 3).

Ist beim Wiedereinbau die Einhaltung der gültigen gesetzlichen Verordnungen oder Anforderungen an die Bauteile (Energieeinsparverordnung, der Schallschutz- oder Brandschutzaufgaben, Statik) nicht möglich, wird die Weiterverwendung in Betracht gezogen (z.B. Verwendung in nicht beheizten Bereichen, wenn energetische Anforderungen nicht erfüllt werden), siehe auch Glossar.

Abbildung 8: Gegenüberstellung einmaliger Gebrauch und (mehrfache) Wiederverwendung von Bauteilen



[Dechantsreiter]

Der Verkauf der Waren in den Bauteilbörsen und Gebrauchtbaueteilmärkten des bauteilnetz Deutschland wird nach dem Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte, dem Produkthaftungsgesetz - (ProdHaftG) getätigt. Ist ein Bauteil fehlerhaft, kann es innerhalb von 14 Tagen zurückgegeben werden. Ist der Fehler erkennbar von der Bauteilbörse übersehen, wird das Bauteil anstandslos zurückgenommen. In den Bauteilbörsen ist dies in den letzten 10 Jahren so gut wie gar nicht vorgekommen. Kunden bringen in seltenen Fällen ein Bauteil zurück, weil es nicht passt. Aus Kulanz werden die Bauteile umgetauscht oder der Kaufpreis bei Rückgabe wieder ausgezahlt.

Im nachfolgenden werden hauptsächlich Bauteile des Innenausbaus und der Gebäudehülle betrachtet, da deren Ausbau praktisch erprobt wurde (Bauteilbörsen/ bauteilnetz Deutschland und Unternehmensverband historischer Baustoffhändler e.V.), und weil dafür bereits ein Markt existiert. Bauteile des Innenausbaus sind die, die mit dem Bauwerk fest verbunden sind. Unberücksichtigt bleiben allerdings Einbauküchen, Einbauschränke sowie Lampen und weiteres Mobiliar.

5.1 Außenfenster,-türen,-tore

Für die direkte Wiederverwendung dieser Bauteile im Neubau oder in der Sanierung ist die Überprüfung der Wärme- und Schallschutzqualität (DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau, DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“, VDI-Richtlinie 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" und der gültigen ENEV⁷) nötig. Der Zustand der oben genannten Bauteile, die direkt im Kontakt mit dem Außenklima stehen, ist abhängig vom vorherigen Standort (geschützte oder ungeschützte Lage in Bezug auf die Bewitterung) und der Pflege. Die Materialbeschaffenheit ist entsprechend zu überprüfen.

⁷ Energieeinsparverordnung 2009

5.1.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Grundsätzlich ist bei der Wiederverwendung von Fenstern, Haustüren und Toren zum gleichen Zweck auf die entsprechenden energetischen Vorgaben zu achten, da diese Bauteile als Bestandteil der Gebäudehülle (beheizter Bereich) den wärmetechnischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (aktuell ENEC 2009) unterliegen. Je besser der Wärmeschutz (U-Wert) der Bauteile, desto besser sind die Bauteile zu vermarkten. In der Wärmeschutzverordnung vom 11.8.1977 wurde erstmalig ein Wärmedurchgangskoeffizient für Fenster und Fenstertüren in beheizten Bereichen festgelegt. In folgenden Wärmeschutzbestimmungen bzw. der Energieeinsparverordnung wurden die Anforderungen an die Außenbauteile angehoben. Zurzeit werden, gemäß der gültigen ENEC (2009), überwiegend Gläser mindestens mit einem Ug-Wert $> 1,3-1,1$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) im Wohnungsneubau verwendet. Für Nichtwohngebäude gelten geringere Anforderungen an Wärmeschutz.

Tabelle 1: Herleitung der Wärmeschutz-Qualität von Fenstergläsern nach Herstellungsjahr

Benennung	ca. Baujahr	Ug-Wert ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
Einfachglas		5,8
Energiekrise	1973	
Isolierglas	ab Ende der 60er -Mitte der 70er Jahre	4,8-2,8
Dreifachglas		2,2-1,7
Doppel/Kastenfenster		2,3
Wärmeschutzglas 2-fach (heißt auch Isolierglas)	Ab Anfang 1980	1,8-1,1
Wärmeschutzglas 3-fach	Ab 2000	0,9
Wärmeschutzglas 3-fach	Ab 2000	0,5

[bauteilnetz Deutschland]

Um die Funktionsbereitschaft zu gewährleisten, müssen alle Beschläge der beweglichen Bauteile in einwandfreiem Zustand sein. Die Dichtigkeit der Fenster kann, die vorgenannte Funktionstüchtigkeit und Materialqualität vorausgesetzt, durch Erneuerung der Gummidichtungen leicht wieder hergestellt werden.

Glasbauteile oder Fensterglas (2-oder 3-fach Verglasung) sollten nicht beschlagen sein oder Kratzer aufweisen. Auch Beschädigungen der Rahmen- und Flügeloberflächen (Kratzer) sind bei Kunststoff und Aluminiumbauteilen nicht akzeptabel. Bei Holzbauteilen kommt es auf den Grad der Beschädigung an. Allerdings gilt auch hier, je weniger „Macken“ desto besser der Erlös.

Die Voraussetzungen an die oben genannte Materialbeschaffenheit gelten auch dann, wenn ein Außenbauteil im Innenausbau weiterverwendet werden soll.

Betrachtet werden Haustüren und Fenster der Materialgruppen Kunststoff, Holz und Aluminium.

Für historische Haustüren, Tore oder Fenster gibt es einen besonderen Markt. Die Bauteile werden gern zu Dekorationszwecken oder im Innenausbau weiterverwendet. Patina und Gebrauchsspuren sind dann sogar

Abbildung 9: Fensterlager



[Dechantsreiter]

erwünscht.

Vermessene Fenster, also neuwertige Fenster werden hier nicht näher betrachtet, weil sie über einen entsprechenden Wärmeschutz verfügen und für sie in der Regel kein großer Aufwand für den Ausbau betrieben werden muss und eine gute Vermarktung gegeben ist.

5.1.2 Status Quo

Grundsätzlich können, rein technisch betrachtet, Haustüren und Fenster aus den genannten Materialgruppen schadensfrei ausgebaut und wiederverwendet werden. Außentüren und Fenster, die als Einzelbauteile nicht die Anforderungen der gültigen Energieeinsparverordnung für Wohngebäude erreichen, können in untergeordneten oder unbeheizten Bereichen, wie Wirtschaftsgebäuden, Gartenlauben, aber auch kreativ im Innenausbau wieder eingesetzt werden.

Der Aufwand für den Ausbau der Bauteile ist abhängig von der Einbauweise. Vor dem Ausbau muss jedoch geprüft werden, ob die auszubauenden Bauteile noch den erforderlichen Wert für eine Vermarktung aufweisen (Zustand/ Pflege/Standard). Die Funktionskontrolle der Beschläge ist einer der ersten Schritte, da je nach Hersteller, viele Beschläge nicht mehr produziert werden und bewegliche Bauteile damit ihre ursprüngliche Funktion einbüßen. Bei sehr großen Elementen (Maße über 2,20m Höhe und 1,00 m Breite) ist zu überprüfen, ob diese generell wirtschaftlich ausbaubar sind. Oft sind viel Zeit (Personenstunden für den Ausbau und Transport zum Fahrzeug) und entsprechend große Fahrzeuge für den Transport erforderlich. Bei größeren Bauteilen stellt sich außerdem die Vermarktung oft schwieriger dar als bei kleineren, standardisierten Größen. Ein Ausbau lohnt dann meist nur, wenn ein Kunde die Ware direkt übernimmt. Des Weiteren sind Sicherheitsbedingungen beim Ausbau der verbleibenden Tür- und Fensteröffnungen einzuhalten, entsprechende Gerüste zur Sicherung sind bereitzustellen.

Zur Lagerhaltung muss nicht nur Stellfläche, sondern auch eine entsprechend hohe Lagerhalle vorgehalten werden.

Für die Wiederverwendung sind aus den oben genannten Gründen zurzeit eine Beschränkung auf kleinere Größen bei Fenstern (1,00 x 1,00 m), Standardmaße bei Türen und besonderen Bauteilen (siehe unten Holzbauteile) wirtschaftlicher.

Besonderheiten bei Fenstern, Außentüren und Tore

Die Türen werden zum Teil wieder als Haustüren eingesetzt (Einhaltung der Wärmeschutzanforderungen), können aber auch als Nebeneingangstür verwendet werden.

Bei den Kunststofftüren wie auch bei Aluminiumtüren sind kleinere Standardgrößen eher gefragt als große Elemente (Maße über 2,20 m Höhe und 0,90 m Breite) oder Sonderbauteile.

Haustüren aus Holz werden überwiegend in Wohnhäusern mittleren bis gehobenen Standards und in historischen Gebäuden vorgefunden. Hier wird in den Bauteilbörsen nach historischen und modernen Türen unterschieden. Nach einer Befragung von 16 Unternehmen des Unternehmensverbandes für historische Baustoffe e.V. wird zusammengefasst, dass Bauteile bis 1920 als historisch gelten und nur diese als solche verkauft werden [Dechantsreiter/ Strohmeier, 2000]. Die Bauteilbörsen orientieren sich an diesen Angaben.

Für besonders wertvolle Stücke aus verschiedenen Epochen, gibt es einen guten Absatzmarkt, so dass auch ein aufwendiger Ausbau sich entsprechend lohnt.

Da Haustüren aus Holz allerdings oft hochwertiger sind als Haustüren aus Kunststoff oder Metall, kann auch der Ausbau von größeren Elementen wirtschaftlich sinnvoll sein. Die Wirtschaftlichkeit wird im Einzelfall geprüft.

Historische Fenster sollten immer geborgen werden. Sie werden gern in der Restauration (Denkmalschutz)

von Gebäuden eingesetzt oder finden als Dekoration noch eine Wiederverwendung.

Es ist außerdem sinnvoll gut erhaltene Teile dieser Türen und Fenster oder nur die Beschläge zu bergen.

Bei besonders wertvollen Stücken ist es auch sinnvoll größere Elemente zu bergen. Die Bauweise und Gestaltung ist regional verschieden und muss bei der Vermarktung beachtet werden.

Moderne Haustüren aus Holz können bei entsprechender Beschaffenheit im Einfamilienhausbereich wiederverwendet werden. Die Bauweise und Gestaltung ist regional verschieden und muss bei der Vermarktung beachtet werden.

Ältere Aluminiumtüren weisen oft ein sehr schlechtes Wärmedämmverhalten auf. Aluminiumtüren wurden bevorzugt in den siebziger Jahren als Haustüren in Einfamilienhäusern eingesetzt. Türen aus Aluminium finden bis heute Einsatz in Gewerbebauten oder in öffentlichen Gebäuden.

Für die Dachflächen haben sich, neben oben genannten Materialien, Dachfenster aus Holz mit Alublechabdeckungen durchgesetzt. Dachfenster unterliegen starken Witterungseinflüssen und einem erhöhten Anspruch an Dichtigkeit. Hier ist besonders zu überprüfen, ob ein Ausbau sinnvoll ist. Ältere Dachfenster oder Lichtkuppeln sind durch die dauernde Witterungsbeanspruchung und die damit verbundene Alterung der Dichtungen und evtl. Hölzer oft in einem Zustand, der eine weitere Nutzung nicht mehr sinnvoll erscheinen lässt, da keine größere Nutzungsdauer mehr zu erwarten ist.

5.1.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Als auftretende Hemmnisse können genannt werden:

Schlecht durchdachte Details am Bau, das heißt, das Überlappen mehrere Materialebenen kann dazu führen, dass angrenzende Bauteile beschädigt werden müssen, um die Türen und Fenster schadensfrei auszubauen.

Gut erhaltene, sichere Haustüren bleiben oft bis zum Schluss eines Abbruchs als „Bautür“ erhalten, um die Baustelle u.a. vor Vandalismus zu schützen. Dadurch werden diese Bauteile während der Rückbauarbeiten oft beschädigt und damit unbrauchbar für einen Wiedereinsatz.

Bei großen Tür- und Fensterelementen (Maße über Höhe 2,20 m und Breite 1,00 m) ist der Ausbau sehr aufwändig (Lohnkosten) und es werden entsprechend große Fahrzeuge für den Transport erforderlich.

Hebe- und Schiebefenster- und Türelemente und Tore (oft auch zweiflügelig) stellen aufgrund ihrer Größe eine besondere Herausforderung bei der Bergung und Lagerung dar. In den Bauteilbörsen werden aufgrund der dadurch bedingten Lagerflächenbeanspruchung nur sehr wenig Tore bereitgestellt.

Der Wiedereinbau setzt bei Altbau- / Sanierungsvorhaben die Passgenauigkeit voraus. Andernfalls müssen mit Mehraufwand z.B. die Sturzbereiche neu konzipiert bzw. ausgeführt werden.

Als auftretende materialspezifische Hemmnisse können genannt werden:

- Der Einsatz von verbotenen Holzschutzmitteln, Dämm- und Abdichtungsstoffen (siehe Kapitel 4.1).
- Bei Kunststoffbauteilen kann durch eine Weichmacherwanderung eine Sprödigkeit im Material auftreten, die schon beim Ausbau zum Bruch von Rahmen und anderen Teilen führt. Dies schließt oft die Wiederverwendung von älteren Kunststoffbauelementen aus.

Lösungsansätze

- Festlegen und beachten von Standards bei der Detailplanung von Bauanschlüssen und Herstellung von Bauteilen, die einen Ausbau von Bauteilen ermöglichen.
- Festlegung der Bauteilewiederverwendung als hohes Ziel bei Abbruch- und Entkernungsmaßnahmen.

- Planung von Bauten unter der Nutzung von gebrauchten Türelementen, das bedeutet, dass Öffnungen nach vorhandenen Bauteilen geplant werden und nicht erst nach Fertigstellung der Öffnung ein entsprechendes Element gesucht wird. Die entsprechenden Fenster müssen dann in den Bauteilbörsen reserviert werden.
- Entwicklung von Standards zur Förderung der Planung und des Wiedereinbaus von gebrauchten Bauteilen.
- Bearbeiten der Türen und fachgerechte Entfernung der Schadstoffe.
- Kontakt zu Hallenbau-Firmen herstellen, für die der Wieder-Einbau von großen Fenster- und Türelementen eine gute Lösung darstellt. Sinnvoll ist es, die Elementgrößen bereits im Entwurf für das Gebäude zu berücksichtigen.

5.2 Innentüren

Innentüren haben keinen direkten Kontakt zum Außenklima. Türen im Innenbereich werden unterschieden nach Innentüren und Wohnungsabschlusstüren.

Überwiegend werden Innentüren ohne besondere Anforderungen wieder eingebaut. Die Wiederverwendung von Innentüren mit besonderen Anforderungen (Sicherheit, Brand- und Rauchschutz, Schallschutz) ist unter Achtung der gesetzlichen Bauvorschriften und der Systeme zu prüfen.

Bei moderneren Türen kann davon ausgegangen werden, dass diese nach den in der DIN 18101⁸ festgelegten Maße für einflügelige und zweiflügelige Türen hergestellt wurden. Diese werden als sogenannte Vorzugsmaße von den meisten Herstellern genutzt. Bei einer Einhaltung dieser Maße sollte ein späterer Austausch der Zargen, Türblätter und Türbänder unproblematisch sein. Diese DIN definiert außerdem bestimmte maßliche Bezugskanten und unterscheidet in gefälzte und ungefälzte Türblätter.

Dies bedeutet, dass standardisierte Türblätter ohne Zarge ausgebaut und vermarktet werden können.

Bei Spezialtüren für Brand- und Rauchschutz ist dies nicht möglich, da diese Türen komplett systemgeprüft sind und durch einen Ausbau in der Regel ihre Zulassung verlieren.

5.2.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Wohnungstüren

Wohnungsabschlusstüren müssen solide gebaut sein und materialtechnisch (Materialbeschaffenheit, Konstruktion und Materialdicke) die Möglichkeit haben, ein Schloss und die entsprechenden Beschläge aufzunehmen, die die Tür sichern.

Wohnungseingangstüren finden Einsatz im Neubau, im Bereich der Renovierung und in der Ersatzbeschaffung. Die Oberflächenbeschaffenheit (Kratzer etc.) spielt deshalb nur eine untergeordnete Rolle, da Farb Anpassungen und damit eine Oberflächenbehandlung meist vorgenommen werden. Bewahrte Altbautüren sind für die Sanierung und Ersatzbeschaffung in historischen Gebäuden sehr beliebt.

Aufwändige, individuell gefertigte Türen sind schwieriger zu vermarkten als Standardmaße und -Systeme.

⁸ http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fenster-und-Tueren_Tuerblattgroessen-nach-DIN-18101_155263.html, aufgerufen am 13.08.2013

Zimmertüren

Zimmertüren bieten eine gute Möglichkeit für den Wiedereinbau. Hier können Türen aller Altersklassen und Arten sehr gut genutzt werden. Energetische Gesichtspunkte spielen bei Zimmertüren keine Rolle.

Regional werden, vor allem im historischen Segment verschiedene Typen bevorzugt. Hier sind zum Beispiel die Schiebetüren in Bremen zu nennen oder verschiedene Arten von Kassetentüren, die in einzelnen Regionen gefertigt wurden. Innentüren neueren Datums weisen meist Standardmaße auf und können so relativ leicht vermarktet werden.

Ungefälzte Zimmertüren sind die am häufigsten verkaufte Bauteilposition in den Bauteilbörsen (bauteilnetz Deutschland).

5.2.2 Status Quo

Die Bauteilbörsen bieten auch regionaltypisch ein breites Spektrum an entsprechenden Türen aus dem modernen und historischen Bereich. Diese lassen sich auch leicht ausbauen, transportieren, lagern und vermarkten. Türen werden im Zuge von Entkernungen auch durch Abbruchunternehmer oder Handwerker ausgebaut. Ein Teil wird dann in kleinen Bauteillagern verkauft, oder es findet eine direkte Vermarktung nach Osteuropa statt. In den meisten Fällen werden Türen nach Werkstoffen sortiert und entsorgt.

Die Beschläge (auch Schlösser) und Drückergarnituren von Türen werden möglichst mit ausgebaut und sind in der Katalogisierung (Baujahr) den Türblättern zuzuordnen. Insbesondere Drückergarnituren werden separat nachgefragt und gut verkauft.

5.2.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Als auftretende Hemmnisse können genannt werden:

Innentüren sind wie Außentüren oder Fenster oft mit den Wandanschlüssen verschraubt und verklebt. Meist sind die Schraubenköpfe in der Laibung der Tür versenkt und übergestrichen. Dadurch wird der Ausbau aufwändig. Dies führt dazu, dass überwiegend nur die Türblätter, allenfalls noch bei historischen Türen die Bekleidungen ausgebaut werden.

Einsatz von verbotenen Holzschutzmitteln, Dämm- und Abdichtungsstoffen (siehe Kapitel 3)

Verlust des Prüfzeugnisses bei Sondertüren wie z.B. Brandschutztüren durch den Ausbau.

Ausgebrochene Schlösser verursachen an den Türen große Schäden, die meist nur mit großem Aufwand wieder zu beheben sind.

Lösungsansätze:

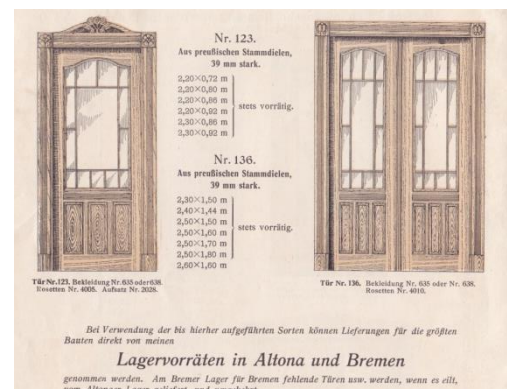
- Festlegen und beachten von Standards bei der Detailplanung und Herstellung von Bauteilen (z.B.

Abbildung 10: Türen im Bauteillager



[Dechantsreiter]

Abbildung 11: Typische Türen für Bremen und Hamburg



[Auszug: Preisliste Alexander Funke] Mai 1912]

der Einsatz von demontierbaren Schraubverbindungen anstatt Klebefugen). die einen Ausbau und damit eine Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen.

- Schulung von Personal, damit es möglich wird, die Türen nach fachgerechter Entfernung der gefährdenden Stoffe wiederzuverwenden.
- Bei dem Verlust von besonderen Eigenschaften (Prüfzeugnis) durch die Tatsache des Wiedereinbaus bietet sich eine kreative Verwendung in untergeordneten Bereichen an.
- Bei hochwertigen Sonderbauteilen sollte ein Prüfverfahren eingerichtet werden, das es ermöglicht, z.B. durch die einfache Prüfung der erhaltenen Eigenschaften in Anlehnung an zugelassene Prüfverfahren, diese Bauteile wieder gleichwertig einzusetzen.

5.3 Treppen

Den Einbau von Treppen und Treppenanlagen regeln die Landesbauordnungen. Beim Wiedereinbau ist auf die geltenden Bauvorschriften des Bundeslandes zu achten. Wesentliche Anforderungen an Treppen werden über das Steigungsverhältnis und die eventuell bestehenden erweiterten Funktionen (Rettungswege) definiert.

5.3.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Innentreppen unterscheiden sich grundsätzlich durch den Verlauf und die Einbauhöhe. Zusätzliche Funktionen, wie ein zweiter Rettungsweg (vorbeugender Brandschutz) sind bei der Materialauswahl entscheidend.

Treppen bestehen aus Podesten, Wangen, Auftritten, Steigungen, Handläufen, deren Befestigungen und Geländern, die im Material unterschiedlich sein können, z.B. eine tragende Stahlkonstruktion und Auftritte, Steigungen oder Podeste aus Holz.

Neue Treppen haben einen hohen Preis. Gut erhaltene, gebrauchte Treppen, können aus diesem Grund einen guten Verkaufspreis (die Hälfte des Neupreises) erzielen, Voraussetzung dafür ist allerdings die Vollständigkeit wie oben beschrieben. Treppen aus Holz lassen sich eher ohne großen Aufwand an den neuen Standort anpassen. Passend zur Treppe sollten die Pfosten, Geländer und Handläufe ausgebaut werden vor allem bei gewendelten Treppenanlagen. Diese Bauteile wurden und werden passend nach dem Verlauf und dem Steigungsverhältnis der Treppe gefertigt. Fehlende Bauteile sind daher nur unter erheblichen Mehrkosten nachzufertigen. Es lohnt sich über die regionalen Grenzen hinweg ganze Treppen anzubieten. Der bundesweite Bauteilkatalog⁹ bietet hier einen guten Überblick.

Nachgefragt werden: Geradläufige oder viertelgewendelte Treppen in Wohnhausabmessungen, Galeriegeländer, besonders schöne Stufen (Material, Oberfläche, Bearbeitung) und einzelne Handläufe.

5.3.2 Status Quo

Ganze Treppen

Komplett ausbaufähige Treppen sind grundsätzlich technisch gut wiederverwendbar. Die unterschiedlichen Steigungsverhältnisse und Verläufe (z. B. viertelgewendelt, halbgewendelt) sind gleichermaßen gut verwendbar. Die geradläufigen Treppen sind an Geschosshöhen einfacher anzupassen, d.h. zu kürzen oder zu ergänzen.

⁹ www.bauteilnetz.de

Ist die Wiederverwendung ganzer Treppen nicht möglich, so ist abzuschätzen ob der Ausbau der Auftritte machbar bzw. mit angemessenem Aufwand realisierbar ist.

Treppenanlagen aus der vorherigen Jahrhundertwende lassen sich besonders gut vermarkten.

Für den Wiedereinbau- Planung ist es von Vorteil, wenn die ursprünglich Einbausituation der Treppe durch Fotos und Zeichnungen dokumentiert wurde.

- Holz

Holztreppen werden gern komplett ausgebaut und in den Bauteillagern entweder als ganze Treppe aufgestellt (Ausstellung, Blickfang), oder gut gestapelt (Bausatz) im Verkaufsraum präsentiert.

Klassische Holztreppen, Wangentreppen um 1900 lassen sich sehr gut ausbauen. Es war festzustellen, dass z.B. bei Eichentreppen die Auftritte aus 4,5 cm dicken Eichenaufritten hergestellt wurden, die Steigungsbretter aber minderer Qualität sind, d.h. aus Weichholz hergestellt. Die Auftritte sind in die Treppenwangen eingelassen, so dass ein Ausbau systematisch erfolgen muss.

Treppen aus Holz aus der vorherigen Jahrhundertwende können für einen sehr guten Preis weiterverkauft werden, da die Qualität des Holzes und die handwerkliche Arbeit hier in der Regel sehr gut sind. Holztreppen können sehr gut bearbeitet werden, so dass für einen Tischlerbetrieb die Aufarbeitung einer Stufe oder die Kürzung ohne großen Aufwand machbar ist.

- Metall (siehe auch Außentreppen)

Komplette Stahltreppen fallen als Innentreppen eher im Industriebau bzw. Gewerbebau an. Die Wiederverwendbarkeit ist gegeben, da kraftschlüssige Verbindungen hier die Regel, und somit die Treppen bzw. Anlagen gut demontierbar sind.

- Materialmix

Der Baustil der 50er bis 70er Jahre, der sich gestalterisch auch ab 2000 wieder durchgesetzt hat, besteht aus einem Materialmix aus Metallgestell (tragende Konstruktion) und Holzaufritten. Diese leichte Bauweise wird ebenso leicht montiert. Das Einhängen bzw. Befestigen des gesamten Treppenunterbaus in die Geschossdecke hat den Vorteil, dass die Treppen ohne großen Aufwand demontierbar sind. Die Holzauftritte sind meist mit der Unterkonstruktion verschraubt und ebenso leicht zu trennen.

Treppengeländer, -Pfeiler und -Handläufe

Diese Bauteile lassen sich auch unabhängig von einer Treppe gut ausbauen und zwischenspeichern und sind in Bauteilbörsen gut nachgefragte Bauteile.

Abbildung 12: Treppe aus den 70er Jahren



[Dechantsreiter]

Abbildung 13: Auswahl an Treppengeländern



[Dechantsreiter]

5.3.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Der Treppenausbau in einem Abbruchhaus ist nur in Absprache und enger Zusammenarbeit mit dem Abbruchunternehmen möglich. Der Treppenausbau, schrittweise und geschossweise von oben nach unten, ist meist nur am Ende eines Rückbauprojektes zu realisieren. Aus Arbeitssicherheitsgründen müssen Treppen und die Geländer als Absturzsicherung vorhanden sein, wenn Arbeiten im Gebäude erfolgen, die die Erreichbarkeit aller Geschosse notwendig machen. Eine zwischenzeitliche Gerüststellung oder ersatzweise erstellte Absturzsicherung ist unwirtschaftlich. Insofern ist der Ausbau über den Abbruchunternehmer die sicherste und wirtschaftlichste Methode. Der Transport ganzer Treppen ist nur mit größeren Fahrzeugen möglich, was aufgrund der erhöhten Kosten die zu erwartenden Gewinne reduziert.

Bei lackierten oder oberflächlich behandelten Holztreppen ist eine Einschätzung über den Schadstoffgehalt des Anstriches möglichst schon vor dem Ausbau notwendig. Maßnahmen zur relevanten Oberflächenbearbeitung sollten ebenso bekannt sein, wie regionale Serviceangebote dazu. Bei Metalltreppen (verzinkt, pulverbeschichtet) sind abgeflexte Stellen nachträglich, möglichst gleich nach der Beschädigung, gegen Rost zu schützen.

5.4 Bodenbeläge

Die Anforderungen an Bodenbeläge wie Widerstandsfähigkeit bzw. Robustheit werden über die geplante Nutzung der Räume definiert. Eine wesentliche Klassifizierung findet im Bereich der Feuchtigkeitsbeanspruchung statt. Unterschieden wird hier in mäßig beanspruchte Bereiche und hochbeanspruchte Bereiche. In mäßig beanspruchten Bereichen, in denen z.B. nur kurzfristig Spritzwasser durch Duschen auftritt, gibt es keine bauaufsichtlichen Regelungen. In hochbeanspruchten Bereichen wie Schwimmbädern oder im Umgang mit chemischen Mitteln sind die bauaufsichtlichen Festlegungen einzuhalten.

5.4.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Das Material für Bodenbeläge wird je nach den Anforderungen der späteren Nutzung gewählt. Hinzu kommen die gestalterischen Ansprüche. Historische Fußbodenbeläge stellen in den Bauteillagern und Gebrauchtbaumärkten ein immer mehr nachgefragtes Segment dar. Eventuelle kleinere Schädigungen wie Abplatzungen (Fliesenkanten) oder Nagellöcher (Dielen), aber auch großflächige sichtbare Spuren durch z.B. Wurmfraß sind bei historischen Bauteilen akzeptiert oder sogar gewollt.

Massenbauteile wie Parkett, Dielen und Fliesen müssen für den Wiederverkauf gut gereinigt und frei von Anhaftungen (Mörtel und Kleber) sein. Von Vorteil ist es, die Waren übersichtlich in Gebinden, z.B. auf Paletten zu lagern.

5.4.2 Status Quo

Parkett/Dielen

Alte Holzfußböden (Kiefer, Eiche, Pitchpine) sind sehr begehrt. Einerseits gibt es einen Trend auch in modern ausgestatteten Innenräumen hin zum Rustikalen (sehr breite Dielen sind besonders beliebt), andererseits ist das Holz meist 100 Jahre abgelagert und somit oft von unwiederbringlicher, sehr hoher Qualität. Bei Holzfußböden ist die Dicke der Nutzschicht über der Nut von Bedeutung. Je dicker diese ist, umso öfter kann die Oberfläche geschliffen werden. Eichenfußböden sind dauerhaft

Abbildung 14: Wiedereinbau von 100 Jahre altem Parkett



[Dechantsreiter]

ter und robuster als Weichholzfußböden. Alte Holzfußbodenbeläge sind gut vermarktbar.

Parkett ist historisch mittels separater Federn zusammengesetzt. Diese Federn sollten mit geborgen werden. Befindet sich eine tragfähige Unterkonstruktion unter dem ausgebauten Holzfußboden, sollte diese ebenfalls herausgenommen werden.

Je breiter die Dielenbretter sind, umso beliebter sind diese zurzeit für den direkten Wiedereinbau. Holzdielen werden gerne von Designern zu Möbeln verarbeitet.

Fliesen

Die Erfahrungen der Bauteilbörse Bremen zeigen, dass sich der Verkauf gut lohnt, wenn mindestens 10 qm unversehrte Fliesen einer Art geborgen werden können. Historische Bodenplatten oder Fliesen werden zu Dekorationszwecken, aber auch zum Austausch für beschädigte Bodenbeläge als Einzelstücke nachgefragt. Fliesenreste z.B. aus Neubauvorhaben werden in den Bauteilbörsen ab einer Menge von 5 qm angenommen.

5.4.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Parkett und Dielen

Ausbau von Parkett ist sehr zeitintensiv, weil rückwärts gegen die einstige Verlegung (oft genagelt) gearbeitet werden muss, um möglichst wenig Parkett zu zerstören.

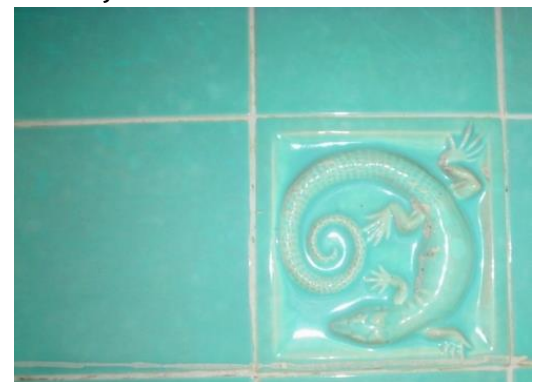
Der größte Problem bei der Bergung von hochwertigem Parkett können Teer- und bitumenhaltige Klebstoffe sein, die Schadstoffe enthalten (PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und hauptsächlich in den 50er und 60er Jahren verwendet wurden, bei Stabparkett noch bis in die 70er Jahre. [Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2004] Diese Holzfußböden lassen sich zurzeit nicht wiederverwenden, da es keine entsprechenden Möglichkeiten für die Aufbereitung gibt. Das Holz muss trocken und auf Stapelleisten geschichtet gelagert werden (Platzbedarf). Da der Nachkauf des Materials nicht möglich ist, muss beim Kauf der Verschnitt für den Wiedereinbau schon mitgedacht werden.

Fliesen

Es besteht die Gefahr des Brechens beim Abschlagen der Mörtelreste. Der Aufwand, die Fliesen zu transportieren und später zu bearbeiten, ist ein Risiko, das zuvor abgeschätzt werden muss. Historische Keramikfliesen sind im Dickbettverfahren (in einem Mörtelbett), in Sand oder Lehm verlegt. Der Ausbau gestaltet sich in diesen Fällen ausgesprochen einfach. Wurde eine Zementmischung verwendet, muss mit viel Geduld und Geschick der Mörtel abgeklopft werden.

Als hauptsächliches Hemmnis für die Wiederverwendung von Fliesen ist die heute übliche Verlegung im Dünnbettverfahren mit verschiedenen Klebern, die eine schadensfreie Bergung unmöglich machen.

Abbildung 15: Besondere Fliesen



[Dechantsreiter]

5.5 Dach/Wände

Diese Bauwerksteile der Gebäudehülle (Flächen) bestehen aus vielen Einzelteilen. Je nach Himmelsrichtung und Standortbeschaffenheit (Baumbewuchs, Schatten etc.) sind diese mehr oder weniger der Witterung ausgesetzt. Für die Herstellung von Dacheindeckungen werden als Ausgangsmaterial überwiegend Ton

und Beton verwendet. Wiederverwendbar sind Mauersteine, die ebenfalls aus Ton gebrannt oder luftgetrocknet sind. Sonderfälle bei den Dacheindeckungen und Wandbekleidungen (Vorhangfassaden) sind: Asbestwellplatten und Metallabdeckungen (Bleche), Reeteindeckungen und Holzschindeln.

5.5.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Diese Bauteile sollten einen Zustand aufweisen, der eine Wiederverwendung von mindestens weiteren 40 Jahren möglich macht. Patina (Dach) und Unregelmäßigkeiten (Wand) in den Oberflächen (Ziegelbrand) sind bei den Kunden erwünscht.

Alte Hohlziegel, Biberschwanz- oder Nonne/Mönch-Eindeckungen sind ebenso in Bereichen der Bestandsbewahrung und des Denkmalschutzes beliebt wie historisch gefertigte Ziegel unterschiedlicher Formate. Je nach Region gibt es hier Besonderheiten, die die Ortsbilder prägen.

Rotsteine eines Außenmauerwerkes werden zumeist in untergeordneten Bereichen gerne auch als Verblendmauerwerk wiederverwendet, d.h. zum Beispiel zur Ausfachung oder für nicht tragende Innenwände, die Verlegung als Bodenbelag im Innenbereich ist ebenso möglich.

Abbildung 16: Firstpfannen für die Wiederverwendung



[Dechantsreiter]

5.5.2 Status Quo

Dacheindeckungen

Dachziegel aus Ton oder Dachpfannen aus Beton lassen sich durch das altbewährte Einhängesystem gut demontieren. Diese Bauteile sind gut verwendbar, wenn ihre Oberflächen nicht beschädigt, d.h. frei von Flechten und Ausblühungen sind. Beides wären Anzeichen dafür, dass diese Bauteile „Wasser ziehen“ und damit frostgefährdet sind. In diesem Fall ist der Wiedereinbau als Dachhaut nicht sinnvoll.

Die Dachsteine sollten vom Dach direkt auf Paletten gestapelt und abtransportiert werden.

Dachziegel sind auch als Wandbekleidungen wieder einsetzbar, wie in Abbildung 17 am Gymnasium in Lutherstadt-Wittenberg zu sehen, vom Architekten Friedensreich Hundertwasser gestaltet.

Abbildung 17: Firstpfannen für die Wiederverwendung



[Dechantsreiter]

Mauersteine

Es gibt heutzutage vier Mauersteinarten, in der Reihenfolge der Marktanteile: Mauerziegel, Kalksandsteine, Porenbetonsteine und Betonsteine (Mauersteine aus Normalbeton und Leichtbeton).¹⁰ Für die Bauteilwiederverwendung kommen nur die Mauerziegel aus rischen Bauten in Frage. Seit den 30er Jahren wird überwiegend mit zementhaltigem Mörtel gemauert,

to-

¹⁰ www.mauerwerksbau-lehre.de Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, aufgerufen am 08.08.2013

was die Wiederverwendung von einzelnen Steinen ausschließt.

Das Bergen von Steinen hat im ländlichen Bereich eine alte Tradition. Schlösser und Burgen, die auffällig waren, wurden als „Rohstoffmine“ freigegeben. In den Städten wurde nach dem 2. Weltkrieg jeder verfügbare Stein aus dem Schutt herausgesammelt, da es weder eine Ziegelindustrie noch die Energie zur Herstellung gab.

Die Diskussion, ob Backsteinfassaden hinter Wärmesystemen verschwinden dürfen, um Energie zu sparen, hat den Blick für dieses Material wieder geöffnet.

Beliebt sind mittlerweile alte Backsteine als Vormauerziegel für den Neubau oder als zweite Schale für Gebäude mit Sichtmauerwerk, die eine Kerndämmung bekommen sollen. In den Hansestädten mit einer alten Backsteinkultur ist der Mauerstein gerade heute wieder besonders als Vormauerstein beliebt. Aktuell wurde das Museum in Ravensburg mit einer Fassade aus alten Mauersteinen erstellt.

Nur gut gereinigte Steine (frei von Mörtelresten) sind vermarktbare und werden nachgefragt.

Außenwände aus Sichtmauerwerk von Gebäuden aus dem 19ten/ Anfang des 20sten Jahrhundert oder auch aus Fachwerkbauten lassen gut abtragen. Kalk- oder Muschelkalkmörtel lassen sich leicht abschlagen bzw. entfernen.

Abbildung 18: Mauersteine für die Wiederverwendung



[Dechantsreiter]

5.5.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Der Transportaufwand ist wegen des Gewichtes (2,5 bis 3,5 kg je Stück nach Größe) erheblich und macht den Einsatz von besonders ausgestatteten LKWs notwendig. Eine gute Möglichkeit besteht darin, die Dachpfannen oder Steine direkt in einen Bauschutt-Container zu stapeln und damit den Transport zu vereinfachen. Dachsteine sind oft durch Mörtelverputz oder durch Verwenden von Silikon zur Abdichtung zwischen den einzelnen Dachsteinen auf der Innenseite aufwändiger zu bergen. Die üblicherweise eingesetzten Schuttrutschen auf den Baustellen ermöglichen ein schnelles Abdecken der Dachflächen mit wenig Personal. Die Dachsteine und -pfannen werden durch den Aufprall im Container beschädigt und sind dadurch nicht mehr als Dacheindeckung verwendbar. Je mehr qm von einer Dachfläche oder Anzahl an gleichen Steinen geborgen werden können, desto ökonomischer stellt sich die Zwischenlagerung für eine Bauteilbörse dar.

Bei Mauersteinen ist eine Druckfestigkeitsprüfung notwendig, wenn die Steine im konstruktiv tragenden Bereich wiederverwendet werden sollen. Der Rückbau statisch relevanter Gebäudeteile (Außenmauerwerk) erfordert eine besondere Logistik beim Abbruch.

Viele Regionen in Deutschland hatten eine oder mehrere Ziegeleien, deren Produktion für eine ortstypische Architektur sorgte. Die Ziegeleien siedelten sich dort an, wo es gute Tone gab. Diese Tone werden langsam rar, so dass der Einkauf der Grundmaterialien aufwändiger wird [Dr. Lutz Krakow, Dr. Krakow Rohstoffconsult]¹¹. Diese Massenbauteile sollten rechtzeitig an Endabnehmer vermittelt werden, um Transporte und Zwischenlagerungen zu vermeiden.

¹¹ Vortrag, Urban Mining Kongress 2012, Iserlohn

5.6 Wärmeerzeuger/Heizkörper

Technische Anlagen sind auf Grund ihres Alters von einem Sachverständigen zu bewerten. Die Energieeffizienz ist hier der maßgebliche Faktor für die Wiederverwendung ganzer Anlagen. Es ist nicht empfehlenswert Anlagen (Brenner), die älter als 5 Jahre sind, wieder einzubauen.

Durch die „Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes“ - kurz 1. BImSchV - werden in Deutschland mittlerweile auch die Emissionen von Kleinstfeuerungsanlagen wie z.B. dem klassischen Kamin- oder Kachelofen geregelt.

Grundsätzlich gilt bei Wärmeerzeugern und Heizkörpern, dass ein Fachbetrieb den Wiedereinbau beurteilen und vornehmen sollte. Der Wiedereinbau ist neben der Materialqualität von vielen Rahmenbedingungen, z.B. dem tatsächlichen Wärmebedarf, Standort, Nutzerverhalten etc. abhängig.

Der örtliche Schornsteinfeger ist der erste Ansprechpartner, wenn es um den Einbau einer Feuerungsanlage geht.

5.6.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Heiz- und Lüftungsanlagen, Geräte zur Wassererwärmung und Warmwasserspeicher müssen vor dem Ausbau einwandfrei funktioniert haben und sollten nicht älter als 5 Jahre alt sein. Schornsteinfegerprotokolle, Herstellerinformationen zum Gerät und Gebrauchsanweisungen sollten vorhanden sein. Diese Bauteile müssen „Marken“- Produkte sein, deren Hersteller nachweislich auch noch Ersatzteile vorhalten.

Solitäre Warmwasserspeicher sind je nach Herstellungsart mit einem Endoskop auf Korrosion zu untersuchen, bevor sie in den Verkauf gehen bzw. angenommen werden.

Alle Außenbauteile eines Kachelofens müssen vollständig, gereinigt und mit Foto oder Zeichnung der ursprünglichen Einbausituation vorhanden sein. Geeignete Transportgefäße sollten vorgehalten werden.

5.6.2 Status Quo

Wärmeerzeuger

Zurzeit werden auch 5-10 Jahre alte Heizanlagen mit und ohne Speicher durchaus ausgetauscht, wenn durch Wärmedämmmaßnahmen an der Gebäudehülle oder durch Aufbau einer solarthermischen Anlage oder die Kombination mit wasserführenden Öfen eine neue Technik favorisiert wird. Handelst es sich um eine Brennwerttechnik kann die Wiederverwendung durchaus sinnvoll sein. Nicht zulässig ist der Austausch von Komponenten einer für den Weiterverkauf bestimmter Brennwerttherme. Diese verliert dadurch ihre Zulassung.

Ein Angebot von Heizanlagen (Brennern) wird in den Bauteilbörsen und Gebrauchtbauteilmärkte nicht angestrebt. Die Thermen oder Brenner werden, wenn überhaupt als Ersatzteillager angeboten, es sei denn die Anlage ist zuvor noch einwandfrei gelaufen und kann direkt über einen Fachbetrieb beim Kunden wieder eingebaut werden.

Grundsätzlich spricht nichts gegen die Wiederverwendung von Wärmeerzeugern, wenn es sich um eine vergleichbar neue Technik handelt. In jedem Fall wird eine Einzelprüfung durch einen Fachbetrieb/Schornsteinfeger notwendig. Aus diesem Grund sollte überlegt werden, ob die Geräte-Zulassung erhalten bleiben kann, wenn das Gerät durch effizientere Module (z.B. im Gerät befindliche Pumpen) erweitert werden kann, um somit gleichwertige Leistungen im Vergleich zu einem Neuprodukt, zu erbringen.

Die Rücksprache mit dem zuständigen Schornsteinfeger vor Kauf einer Heizanlage oder eines Feststoffofens wird angeraten, da aufgrund besonderer geografischer Lagen mancher Wohnorte (dichte Bebauung, Talkessel) bestimmte Anforderungen an die Abgaswerte gestellt werden.

Heizkörper

Heizkörper, ob Konvektionsheizkörper, Radiatoren oder Gussheizkörper sind gut wiederzuverwenden und werden nachgefragt.

Die meiste Arbeitszeit geht in die Demontage und den Transport. Wirtschaftlich wird es, wenn viele gut erhaltene Heizkörper unterschiedlicher Größen einschl. Thermostate auf einer Baustelle oder auch im Verkaufslager vorhanden sind. Die Heizkörper müssen frei von Rostflecken sein und gängige Anschlüsse haben. Eine Ausnahme sind historische Gussheizkörper um 1900. Diese werden in Gebäuden gleichen Baujahrs heute gern wieder als Strahlungsheizkörper (angenehmes Raumklima, geringe Vorlauftemperaturen/ großes Volumen) eingesetzt. Sandstrahlarbeiten und Neulackierung werden vom Kunden gern in Kauf genommen.

Eine Lagerung von gebrauchten Heizkörpern kann in einer trockenen Halle über mehrere Jahre erfolgen, ohne dass Schäden (Rosten) entstehen. Ein Langzeitversuch im Projekt „Heinrichstraße“ [Dechantsreiter, 1992] zeigt, dass die 1990 eingebauten Konvektions-Heizkörper, mit einer Zwischenlagerzeit von gut zwei Jahren in einer unbeheizten Garage, heute noch einwandfrei im Gebrauch sind.

Abbildung 19: Lagerware - Sortiment an Heizkörpern



[Dechantsreiter]

Heizkörper-Thermostate, die nicht älter als 5 Jahre sind können gut wieder verwendet werden. Der Ausbau ist recht einfach und es bedarf keiner Nacharbeit.

Thermostatventile sind auf Abbruchbaustellen, aber auch im Verkauf typische Mitnahmebauteile. Da sie kaum Lagerplatz benötigen, stellen sie auch bei geringen Erlösen eine gute zusätzliche Einnahmequelle dar.

Heizkörperverkleidungen sind sehr beliebt. Ein leichter Ausbau und der nur geringe Arbeitsaufwand des Säuberns machen diese Bauteile wirtschaftlich.

5.6.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Von älteren Heizanlagen, aber auch von neueren können durch augenscheinlich nicht feststellbare Materialermüdung Gefahren ausgehen. Zu vermeiden sind lange Zwischenlagerungen. Defekte Membrane (Gasaustritt), aber auch Pumpen/ Elektrik sind von Fachleuten zu prüfen. Es bedarf einer gewissen Berufserfahrung abzuschätzen, ob dieser Aufwand betrieben werden sollte. Heizkörper aus Stahlblech erzielen einen garantierten Schrottpreis. Schon bei Angeboten für einen Abbruch wird dieser Erlös vom Abbruchunternehmer mit einkalkuliert. Dies erschwert die späteren Verhandlungen über die Entnahme der Heizkörper zum Zwecke der Wiederverwendung. Rippenheizkörper können Asbestdichtungen enthalten. Dies ist von einem Sachverständigen vor Ausbau zu prüfen. Gussheizkörper können bis zu 100 kg schwer sein, daher ist die Bergung problematisch.

5.7 Sanitäreinrichtungen

Unter den Sammelbegriff Sanitäreinrichtungen fallen Objekte wie Waschtische, Bade- und Duschwannen und WCs und Urinale aus Acryl und Keramik. Einbauschränke, Spiegel und Accessoires werden in Bauteilbörsen weniger als Bauteil, eher als Mitnahmeartikel angeboten. Vorteil dieser meist standardisierten Bauteile ist, dass sie mit wenig Anpassungsaufwand ausgetauscht werden können. Objekte aus Acryl haben den Vorteil, dass sie im Gegensatz zur Stahlemaille oder Keramik leichter zu transportieren sind.

5.7.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Die oben genannten Bauteile lassen sich gut wiederverwenden, wenn sie sauber, frei von Kalkspuren Kratzern und Abplatzungen sind. Voraussetzung für den Verkauf sind günstige Preise, die mit den Baumarktpreisen einigermaßen Stand halten können. Badkombinationen (Dusche, Badewanne, Waschtisch und WC) werden nachgefragt und gekauft, vor allem wenn es Designstücke (z.B. Colani) sind.

5.7.2 Status Quo

Keramik aus den 70er-/80er Jahren wird heute nachgefragt, wenn ein Waschtisch beschädigt worden ist und deshalb nicht das gesamte Badezimmer erneuert werden soll. Ersatzobjekte können so von hohem Wert sein.

Bauteilbörsen bekommen oft Restbestände von Sanitärfachgeschäften oder aus Musterausstellungen. Außergewöhnliche Objekte, wie z.B. Keramik/Stahlemaille-Ausgussbecken aus Anfang des 19. Jahrhundert, Badewannen mit Füßen oder besondere Armaturen, werden zu Dekorationszwecken oder individuelle Badgestaltungen, aber auch von Händlern für historische Bauteile nachgefragt.

Ist die Oberfläche einer oben beschriebenen Wanne beschädigt, kann diese mittels einer neuen Beschichtung grunderneuert werden. Aufgrund der Beliebtheit dieser Objekte wird der Preis dafür gern in Kauf genommen. Badarmaturen lassen sich gut ausbauen und werden in Bauteilbörsen nachgefragt. Sie sind ähnlich wie die Thermostate auch in Bauteilbörsen Mitnahmeartikel.

Abbildung 20: Neuwertige Keramikbecken



[Dechantsreiter]

5.7.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Ältere Keramik-Waschtische haben meist zwei vorgefertigte Löcher zur Aufnahme der Kalt- und Warmwasserarmaturen, was dem heutigen gewohnten Komfort und den Wassersparmethoden durch Einhandhebelschalter nicht entspricht. Badewannen oder Duschwannen sind meist in Raumecken eingebaut. Das heißt, sie sind eingemauert, überfließt oder mit sogenannten Schürzen verkleidet. Um ein solches Objekt zu bergen, müssen meist zeitaufwändige Vorarbeiten geleistet werden. 40 Jahre alte Gussbadewannen werden trotz ihrer guten Qualität nicht wieder eingebaut. Beschichtungsmethoden und Transporte sind im Vergleich zu Neumaterialien zu aufwändig.

5.8 Pflastersteine und Sonstige

5.8.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Durch die Bauteilbörsen werden Pflastersteine und -platten ausgebaut, gereinigt und angeboten. Hier muss unterschieden werden, ob das Pflaster für einen gehobenen Bereich genutzt werden kann oder nur für eine Nutzung mit geringfügigen Ansprüchen z. B. in Wirtschaftsbereichen ausreichend ist.

5.8.2 Status Quo

Pflastersteine und Gehwegplatten eignen sich mehrfach zur Wiederverwendung. Hier muss zwischen Natur- und Betonsteinmaterial unterschieden werden. Natursteinmaterial wird oft für Kleinflächen eingesetzt, Betonsteinmaterial zur Verlegung in größeren Flächen. Verbundsteinpflaster kann sehr leicht und damit auch wirtschaftlich am besten aus großen Flächen maschinengestützt ausgebaut werden.

Als „Sonstiges“ für die Gestaltung von Außenbereichen können verschiedene gestalterische Elemente wie große Natursteine, Brunnen, Palisaden und Stützwandsysteme genannt werden. Hier besteht oft keine Standardisierung, somit müssen diese Teile ausführlich beschrieben und angeboten werden. Natursteinelemente können sehr gut vermarktet werden.

5.8.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Gehwegplatten werden oft in größerem Umfang angeboten, können aber nur vereinzelt vermarktet werden. Hier ergeben sich Einsatzmöglichkeiten in Kleingartenanlagen.

Es sind Transportfahrzeuge mit hoher Zuladung und entsprechenden Geräten für den maschinellen Ausbau sowie Be- und Entladung notwendig. Bei größeren sonstigen Teilen z.B. Betonfertigteilen, die nicht auseinanderzunehmen sind, werden oft Hebeeinrichtungen und entsprechende Transportmittel benötigt. Es bedarf größerer Außenflächen zur Sortierung und Lagerung. Entsprechende Freiflächen müssen vorgehalten und für Kunden gut und sicher erreichbar eingerichtet werden.

5.9 Umwehrung: Zäune/Tore und Geländer

Im Regelfall wird genormtes Material verwendet. Bestehen keine hohen Ansprüche (Kindergarten, Schule etc.), kann nicht genormtes Material verwendet werden, wenn es mindestens gleichwertig ist. In den Börsen werden historische Zäune aus Metall aber auch modernere Holz- und Metallzäune angeboten.

5.9.1 Geforderte Produkt- und Vermarktungseigenschaften

Die Zaunteile und Zauntore müssen stabil und von guter Grundsubstanz sein. Historische Metallzäune dürfen durchaus angerostet sein.

5.9.2 Status Quo

Zäune und Tore können gut wiederverwendet werden. Bei Drahtzäunen macht eine Wiederverwendung wenig Sinn, da der Zaun nach einem Abbau oft Beulen aufweist. Gittermaten- und Holzzäune lassen sich hingegen oft leicht abbauen und sind gut wiederverwendbar.

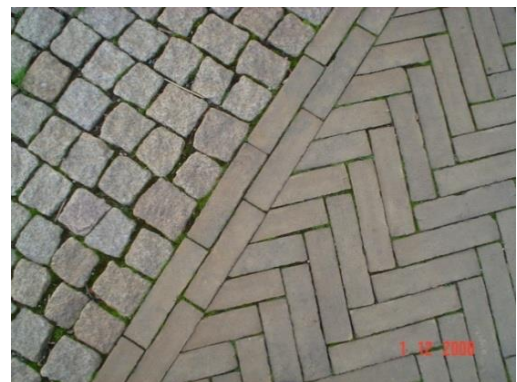
Bei Zaunpfosten muss geprüft werden ob diese einbetoniert oder wie sie montiert wurden, um die effektivste Ausbaumethode zu ermitteln oder zu entscheiden, ob nur die nicht tragenden Elemente abgebaut werden sollen.

Abbildung 21: Kombination alt + neu



[Dechantsreiter]

Abbildung 22: Kombination verschiedener Steine



[Dechantsreiter]

Abbildung 23: Metallzäune und Tore



[Dechantsreiter]

Für individuell gefertigte Bauteile sollte direkt ein Kunde gefunden werden.

Tore können auch gut ausgebaut werden. Das Anschlagssystem sollte vor Abbau geprüft und möglichst mit ausgebaut werden. Ein Foto von der ursprünglichen Einbausituation erleichtert später das Verkaufsgespräch.

Systemgeländer lassen sich oft sehr gut vermarkten.

5.9.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Bei individuell hergestellten Geländer-Anlagen empfiehlt sich eine direkte Vermarktung. Eine Anpassung von Geländern ist aufwändig und kostenintensiv.

5.10 Ökonomische und ökologische Vorteile

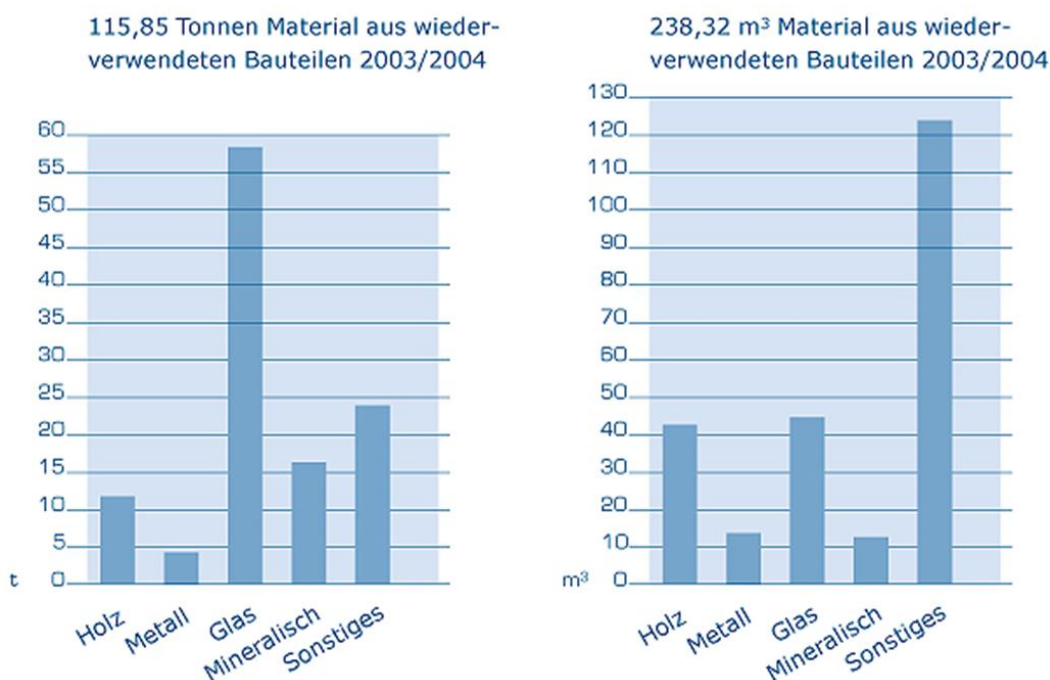
5.10.1 Abfallvermeidung durch Wiederverwendung von Bauteilen

Während der zweijährigen Aufbauphase (2003-2004) der Bauteilbörse in Bremen wurden 2000 Bauteile verkauft und damit der Wiederverwendung zugeführt (davon ein einmaliger Posten von gut 1000 Fenstern, der vermittelt wurde).

Durch die Wiederverwendung dieser Bauteile wurden im Land Bremen in dem oben angegebenen Zeitraum die Bauabfälle um 115 t gemindert.

Die stoffliche Zusammensetzung der verkauften Bauteile ist entscheidend für die Ermittlung relevanter Mengen an Abfallvermeidung/Ressourceneinsparung. Durch die verkauften Fenster (meist Wärmeschutzverglasung) wurden hierbei annähernd 60 t Glasabfälle vermieden. Die Kunststoffprofile der Fenster machen das größte Volumen aus.

Abbildung 24: Ermittelte Materialmengen 2003-2004



[bauteilbörse Bremen]

In einem konkreten Fall wurden 1000 Fenster direkt von der Abbruchbaustelle vermittelt. Der Abbruchunternehmer baute auf Nachfrage und nach entsprechendem Angebot für die gut erhaltenen Fenster und Fenstertüren mit seinen Mitarbeitern die Fenster aus. Der Fensterausbau wurde nach dem 10ten Fenster routiniert durchgeführt und in den Rückbauplan integriert. Er konnte somit wirtschaftlich bewältigt werden. Ein zusätzlicher Grund für den reibungslosen Ablauf war auch die logistische Zuarbeit der eingebundenen Bauteilbörsemitarbeiterin. In diesem Fall wurden nicht nur die Entsorgungskosten gespart, sondern auch noch ein Erlös erwirkt. Dagegen verlängerte sich die Ausbauezeit.

Die bundesweit am stärksten nachgefragte Bauteilkategorie ist „Türen/Tore“, wobei die Anzahl der Innentüren überwiegt. Von knapp 4000 Positionen des Bauteilkatalogs wurden aktuell 1300 Innentür- und 60 Haustürpositionen plus 140 Positionen für Türen-Zubehör ermittelt. Danach folgen die Bauteilkategorien Fenster, Sanitärobjekte und Heizkörper. In zwei Bauteilbörsen stehen die Sanitärartikel auf Rang zwei der Verkäufe, gefolgt von Fenstern, Heizkörpern und Heizkörperventilen.¹²

Gut etablierte Bauteilbörsen können auch mit wenig Fläche (mind. 400 qm bis 750 qm) ca. 2000-2500 Bauteile pro Jahr und Positionen verkaufen. Die einzelnen Positionen ergeben sich aus dem Bauteilkatalog, in dem z.B. 3500 Kalksandsteine eine Position darstellen.

Legt man die heute bekannten Verkaufszahlen zu Grunde, so ist es möglich, dass ca. 2000-2500 Bauteile jährlich/ pro Bauteilbörse oder Gebrauchtbauteilmarkt (Einzugsbereich 550.000 Einwohner) verkauft werden. Damit werden ca. 140 t Bauabfälle vermieden. [Endbericht bauteilbörse bremen, 2004].

Wenn ein flächendeckendes Angebot an Bauteilen existieren würde, könnten in Deutschland, unter den jetzigen Bedingungen, pro Jahr rund 35.000 t an Bauteilen des Innenausbaus und der Gebäudehülle wiederverwendet werden. Da die Bauteilbörsen üblicherweise noch nicht automatisch in das Rückbausystem der Bauwirtschaft integriert sind, ist davon auszugehen, dass das nutzbare Potenzial ein Vielfaches von diesem Wert beträgt.

5.10.2 Weitere Effekte für Umwelt und Natur

Jedes Bestandsgebäude und jeder Neubau kann schon in der Planungsphase auf seinen „Gehalt“, die Graue Energie (Energienmenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes notwendig ist) hin überprüft werden. Dabei spielt die Energie für die Herstellung (cradle to gate = von der Wiege zum Werkstor) von Gebäuden und Gebäudeteilen, aber auch der gesamte Lebenszyklus (LCA= life circle assessment oder „cradle to grave“ von der Wiege zur Bahre) eine Rolle.

Ein Beispiel für Materialbedarf und Einspareffekte:

Als Materialaufwand für eine Vollholz-Zimmertür, die ein Materialvolumen von 0,07 m³ hat, werden 0,2 m³ Holz für die Fertigung benötigt (Verschnitt).

Durch die Aktivitäten einer Bauteilbörse konnten in einem Zeitraum von 17 Monaten 297 Zimmertüren verkauft werden. Das entspricht einem Materialbedarf von 60 Bäumen, die ein 324 qm Waldstück ausmachen (Vergleich: ein Doppeltennisplatz hat 260 qm). [Both, 2005]

Ein Beispiel für Herstellungsenergie aus dem Bauteilkatalog:

Für die Herstellung eines Waschbeckens werden in diesem Beispiel umgerechnet ca. 130 kWh benötigt. In den drei befragten Bauteilbörsen wurden in den letzten 12 Monaten im Durchschnitt 80 Sanitärobjekte aus Keramik verkauft. Allein in diesem Bereich wurden damit ca. 13.200 kWh Energie eingespart. Mit dieser eingesparten Energie könnten 3-4 Privathaushalte ihren jährlichen Strombedarf decken.

¹² Telefonische Befragung Juli 2013 der Betreiber von Bauteilbörsen

Abbildung 25: Energiebedarf für die Herstellung eines Waschbeckens

Bilanzierung für Bauteil: »Handwaschbecken«

Material: **Keramik: Keramik**
 Maße: **50,00 cm x 22,00 cm x 42,00 cm**
 Gewicht: **10,00 kg** bezogen auf oben stehende Angaben

Detailangaben für Materialien pro Einheit (siehe Angaben oben)

Gruppe	Material	L [cm]	B [cm]	H [cm]	kg
Keramik	Sanitärkeramik				10,00

Herstellung (Cradle to Gate)

	Energie ges.	nicht ern.bar	CO ₂
Ökobaudat			
Sanitärkeramik 8.3.01 Sanitärkeramik	468 MJ	460 MJ	28 kg
KBOB			
Sanitärkeramik	430 MJ	419 MJ	23 kg

Herstellung

Energie	468 MJ
davon NE	460 MJ
CO ₂	28 kg

[Auszug aus dem Bauteilkatalog „bauteilnetz Deutschland“]

Zur näheren Bewertung der Bauteile aus dem selektiven Rückbau ist ein technisches, modulares System erforderlich, das sich leicht mit der Bestandsaufnahme der Materialien verbinden lässt.

Im Bauteilkatalog des bauteilnetz Deutschland werden Bauteile mit allen relevanten Daten für den Verkauf und die spätere Bilanzierung aufgenommen. Im ersten Schritt werden vorhandene aktuelle Datensätze, überwiegend aus der Ökobau.dat¹³ verwendet. Diese Datenbank wird durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung verwaltet. Die Datensätze der Ökobau.dat werden für die Bilanzierung über den Bauteilkatalog mit mindestens einer weiteren Quelle verglichen, weil es in der Vergangenheit sehr große Unterschiede in den zur Verfügung stehenden Datenbanken gab. Zum Vergleich dient die KBOB¹⁴ (eine Schweizer Datenbank) sofern entsprechende Daten dort vorhanden sind.

Neben der Aufnahme des Energiebedarfs für die Herstellung einzelner Bauteile wird zurzeit ein System zur Ökobilanzierung der gebrauchten Bauteile entwickelt. Diese Bilanzierung erfasst alle umweltrelevanten Stoff- und Energieflüsse während des gesamten Produktlebenszyklus. Es ist vor dem Hintergrund, dass die Herstellung der teilweise sehr alten Bauteile nicht bilanziert werden kann und zurzeit auch nicht ohne weiteres geschätzt werden kann, eine schwierige Aufgabe, eine Prognose über den Nutzungszeitraum eines wieder eingebauten Bauteils zu treffen.

¹³ www.Ökobau.dat.de, aufgerufen im Juli 2013

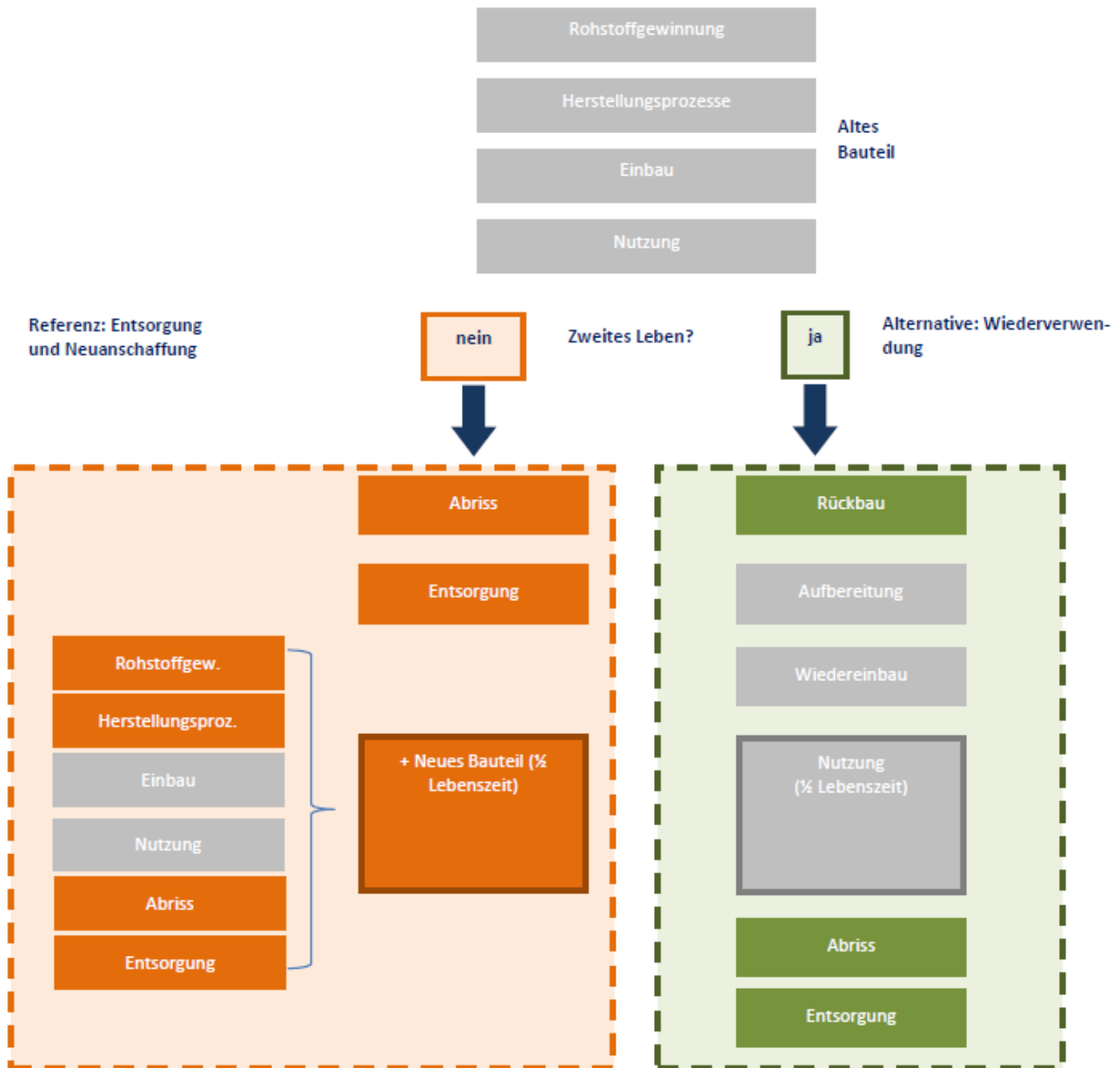
¹⁴ <http://www.eco-bau.ch>, aufgerufen im Juli 2013

5.10.3 Beschreibung des Systems und der Systemgrenzen (bauteilnetz Deutschland)

Bauteilbörsen befinden sich an einer Schnittstelle zwischen zwei Lebenszyklen, an der eine Entscheidung darüber getroffen wird, ob ein Bauteil ein „zweites Leben“ beginnt oder entsorgt wird. Das Bilanzsystem geht somit von zwei möglichen Szenarien aus, deren Differenz die CO₂- bzw. Primärenergie-Einsparung durch Bauteilwiederverwendung gegenüber Entsorgung und Neuanschaffung quantifiziert (siehe Abbildung 26).

Die Dauer des zweiten Lebenszyklus hängt vom Zustand des Bauteils ab. Beispielsweise haben hochwertige und gut gepflegte Gebraucht-Holzdielen oftmals eine genauso lange Lebenserwartung, wie ein neues Produkt. Im Rahmen des hier entwickelten Systems ist es nicht möglich die Lebensdauer genau zu bestimmen, da für jedes Einzelstück eine qualifizierte Schätzung vorgenommen werden muss. Hierfür müssten schwer bestimmbare Faktoren, wie Alter und Qualität oder die Bedingungen der zukünftigen Nutzung, bekannt sein. Es wurde daher die Annahme getroffen, dass ein gebrauchtes Bauteil im Durchschnitt im zweiten Lebenszyklus eine um die Hälfte reduzierte Lebensdauer besitzt [Quack, 2003]. Um die Vergleichbarkeit von Referenz- und Alternativmodell zu gewährleisten, muss im Referenzmodell dieselbe Lebensdauer unterstellt werden. Es wird ein neues Bauteil von der Wiege bis zur Bahre bilanziert. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zum Alternativmodell wird eine halbierte Lebensdauer und damit rechnerisch die Hälfte der mit dem Bauteil verbundenen Umweltwirkungen angenommen.

Abbildung 26: Bilanzsystem „bauteilnetz Deutschland“ (Vereinfachte Darstellung ohne Transporte)



[bauteilnetz Deutschland]

5.11 Hemmnisse

Die Art des Rückbaus von Gebäuden orientiert sich in erster Linie auf die sortenreine Gewinnung von mineralischen Stoffen. Die heute im Allgemeinen angewendete Entkernungsmethode (Entnahme von Bauteilen) sieht den schadensfreien Ausbau von noch gut erhaltenen Bauteilen und Elementen nicht vor.

Dafür werden folgende Gründe genannt:

Der zeitliche Rahmen ist auf Rückbaustellen knapp bemessen, so dass für die zeitaufwändigere Methode: Ausbau von Hand und eventuelle Beprobung von Bauteilen auf Schadstoffe keine Zeit bleibt.

Für die Gewinnung von Bauteilen aus einem Abbruchvorhaben sind logistische Absprachen mit und unter den Durchführenden notwendig. Je nach Schwierigkeitsgrad des Rückbaus muss hier flexibel auf Veränderungen im Ablaufplan reagiert werden können.

Die Abbruchunternehmen müssten zur Entnahme Fachkräfte bereitstellen, damit flexibel reagiert werden kann. Dies wird nicht praktiziert, weil hier eher Mehrkosten als Einsparungen gesehen werden.

Das liegt auch daran, dass es in Deutschland keine flächendeckenden Annahmestellen für die entnommenen Bauteile gibt und somit noch kein ausreichender Markt für die ausgebauten Teile vorhanden ist, obwohl die Erfahrungen der Bauteilbörsen grundsätzlich positiv sind.

Im Jahr 2000 wurde für den Landkreis Lüneburg festgestellt [Hahnemann, 2000], dass es trotz der überwiegend historischen Bebauung und der dadurch großen Nachfrage nach historischen Baumaterialien in Lüneburg keine zentrale Sammelstelle gibt. Im Resümee wird davon ausgegangen, dass die Etablierung einer Bauteilbörse förderlich für selektive Rückbauverfahren ist und damit zur Unterstützung des Materialrecyclings beiträgt.

Es fehlt an ausreichenden Informationen für alle am Bau Beteiligten. Es bestehen nicht nur rechtliche Unsicherheiten bei der Entnahme von Bauteilen, sondern auch bezüglich des Wiedereinbaus gebrauchter Materialien. Haftung und Gewährleistungsfragen sind nicht ausreichend geklärt. Schadstoffgehalte der z.B. Holzbauteile sind nicht immer eindeutig und schnell zu identifizieren.

Zur Qualitätssicherung einzelner Bauteile und Chargen müssen Sachverständige eingesetzt werden, die zusätzliche Kosten verursachen.

Aus 10 Jahren Erfahrung der Bauteilbörsen aus unterschiedlichen Regionen, ist festzustellen, dass das zeitaufwendigste meist nicht der tatsächliche Ausbau und Transport der Bauteile ist, sondern die Kommunikation, die geführt werden muss, um die Bauteile zu sichern. Da es kein Informationssystem gibt, wo, wann und von wem abgebaut wird, muss jeder Vorgang, egal wie viele Bauteile zu bergen sind, individuell beraten und durchgeführt werden. Es muss mit wechselnden Ansprechpartnern und Missverständnissen umgegangen werden, weil es keinen generell anwendbaren Fahrplan gibt. Weiter ist anzumerken, dass es wenig Fachpersonal gibt, das den möglichst schadensfreien Rückbau (also Einbau rückwärts) durchführen kann. Die Kenntnis über die früheren Bau-/Einbau- und Verlegemethoden ist verloren gegangen, auch weil die am Bau Tätigen, die große Erfahrung besaßen, wegen der schweren Tätigkeiten, inzwischen aus dem Arbeitsleben ausgeschieden sind. Die neue Generation verfügt nicht über diese Kenntnisse.

Oft fehlt das Bewusstsein dafür, wie wertvoll ein gut erhaltenes Bauteil ist, das noch einmal eingesetzt werden kann.

Auf der Abnehmerseite gibt es wenig Akzeptanz für gebrauchtes Baumaterial, es sei denn, es handelt sich um historische Bauteile. Gebrauchte Sanitärobjekte sind, auch wenn sie gut erhalten und vollständig gereinigt sind, nicht die erste Wahl des Endverbrauchers, obwohl zum Beispiel auch bei Hauskauf oder Mieterwechsel nicht immer gleich die Sanitärobjekte erneuert werden.

Die Bauweisen der Nachkriegszeit bis heute sind geprägt durch vergießen, verschweißen, verkleben der Bauteile und des Ausschäumens und Abdichtens von Anschlussfugen mit Materialien, die aus mehreren Komponenten bestehen oder dauerelastisch sind. Selbst wenn Bauteile sehr interessant für die Wiederverwendung sind, scheitert der Ausbau im Wesentlichen daran, dass der Aufwand für die Trennung vom Bauwerkskörper sehr hoch ist.

5.12 Lösungsstrategien in Abhängigkeit von Bautypen und Baualter

5.12.1 Demontierbarkeit von Gebäuden als Voraussetzung für die schadensfreie Gewinnung

Das größte technische Hemmnis für die schadensfreie Trennung der Bauteile und damit den Erhalt der wertgebenden Eigenschaften sind die Bauweisen der überwiegend nach 1940 angewendet wurden. Gebäude aus der Zeit des 19. Jahrhunderts bis ca. 1920 lassen sich aus Erfahrung (u.a. Rückbauprojekt Heinrichstraße im Rahmen des BMBau Forschungsauftrages 1988-1992 in Bremen) sehr gut in ihre Einzelbauteile zerlegen. Dies gilt für den Massivbau mit Ziegeln, Ornamentsteinen, Sockelquadern ebenso wie auf die in der Zeit des Historismus (1830-1900) wieder aufgekommene Fachwerkbautechnik. Diese Gebäudekonstruktionen sind im „Baukastenprinzip“, d.h. gesteckt, geklemmt oder verkeilt und meist auf einem Natursteinsockel erstellt. Der sogenannte Abbund fand pro Wandseite horizontal auf dem Boden liegend auf dem Abbundplatz statt. Jeder Balken bekam eine Kennzeichnung, so dass nach Abbau eine erneute Zuordnung beim Wiederaufbau möglich ist. Diese Bauweise ermöglicht, dass die sogenannten Ausfachungen mit verschiedenen zur Verfügung stehenden Materialien (Steine, Lehm, Stroh usw.) geschlossen werden können. Konstruktive Bauteile wurden durch konisch gefertigte Holznägel (überwiegend aus Eiche) miteinander verbunden. Diese Verbindungen können mehrfach schadensfrei gelöst und für die Konstruktion wieder verwendet werden.

Werden Gebäude aus dieser Zeit abgebrochen, ist der Rückbau (gegen die Erstellungsrichtung), also der Abbau beginnend mit dem Dach in Richtung Sockel der effektivste Weg, um die Materialien schadensfrei und sortenrein zu bergen. Für die Gebäude bis ca. Baujahr 1920 wurden oft Materialien verwendet, deren Rohstoffe heute nicht mehr zu beschaffen sind, z.B. sehr langsam gewachsenes Hartholz, zum Teil 200 Jahre alt und abgelagert. Der Wert dieser Hölzer ist erkannt (Vermarktung überwiegend über historische Baustoffhändler).

Beim Rückbau von Gebäuden nach 1940 können generell Innenausbauteile entnommen werden. Meist haben diese je nach Baujahr bereits mehrere Sanierungsphasen durchlaufen, so dass durchaus mit neuwertigen Materialien zu rechnen ist.

Die selektive Rückbaufähigkeit von Gebäuden hängt entscheidend von der Bauweise ab. Diese ist ausschlaggebend dafür, ob Bauteile überhaupt und wenn ja mit welcher Qualität aus einem Abbruch gewonnen, die Reststoffe separiert und dadurch einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden können.

Das Planen und Bauen von Gebäuden sollte in Zukunft möglichst durch die ganzheitliche Betrachtung im Sinne der Kreislaufwirtschaft und des Klimaschutzes erfolgen. Modellvorhaben, bei denen alt bewährte Bauweisen und Konstruktionen mit neuen technischen Möglichkeiten kombiniert werden, könnten hierzu einen Beitrag leisten.

Abbildung 27: Fachwerkhäuser in Hann. Münden



[Dechantsreiter]

Abbildung 28: Trennbare Verbindung



[Dechantsreiter]

5.12.2 Erfassung und Kontrolle

Durch die überwiegend in den Bundesländern eingeführte Genehmigungsfreistellung bei Abbruchverfahren ist es schwierig, aufkommende Bauabfälle und deren Entsorgungswege zu erfassen. Die neuen Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes geben den Kommunen aktuell Anlass, hier wieder Erfassungs- und damit Kontrollmöglichkeiten einzuführen. Diese könnten dann in die Landesbauordnungen einfließen. Kurzfristig könnten Kommunen eine Anzeigepflicht (kommunale Vorschrift) und die Erstellung von Entsorgungsplänen bei Rückbauvorhaben einführen.

Um die Bauteilewiederverwendung und damit die Abfallvermeidung zu ermöglichen, könnte in der Phase der Erkundung und Baubegehung eine Materialbestandsaufnahme erfolgen, mit dem Ziel zu bergenden Bauteile (nach Baualtersklassen) zu erfassen. Besondere Aufmerksamkeit ist bei Gebäuden aus der Zeit vor 1945 geboten, da für diese gut demontierbaren Gebäude eine erhöhte Wiederverwendungsrate zu erwarten ist.

Die Erstellung von Musteraufnahmebögen (Rückbaublätter zur Aufnahme von Bauteilen), die die jeweiligen Materialien der Erstellungsjahre der Gebäude, aber auch die Phasen der Sanierungen, einschl. der möglichen Schadstoffbelastungen widerspiegeln, ist für die Erfassung der Gebäudesubstanz förderlich. Der Beprobungsaufwand für Bauteile ist zurzeit allerdings sehr hoch. Es gibt noch keine geeigneten Verfahren, um Schadstoffe in und an Holzbauteilen schnell zu erkennen. Benötigt wird ein Probenkoffer zur Schnellerkennung auf der Baustelle. Dies sollte Inhalt einer Forschungsarbeit werden. Generell könnte, durch geschulte Sachverständige, der Vollzug gemäß der Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes in Planung und Durchführung von Abbruchbaustellen zunächst stichprobenartig geprüft werden.

Betreiber von Bauteilbörsen könnten hier in Zukunft die Aufnahme der Rückbaumasse und die Kontrolle über die Einhaltung der oben genannten Verfahrensweise übernehmen, da sie über die notwendigen Erfahrungen verfügen. Von der gezielten Entnahme vermarktbarer Bauteile könnten alle betroffenen Akteure (Eigentümer, Abbruchunternehmer, Bauteilbörse und spätere Erwerber der gebrauchten Bauteile) profitieren.

Hinweise in den Ausschreibungen auf Abweichung vom allgemeinen Hinweis (ungebrauchte Baustoffe) der VOB Teil C, DIN 18299 und auf generelle Einsatzmöglichkeiten von gebrauchten Bauteilen bei gleicher technisch- funktionaler Qualität sollten zumindest alternativ mit aufgeführt werden. [Bredenbalz/Willkomm, 1995]

Die Einrichtung einer umfangreichen Wissensplattform, die Informationen zu Rückbaumethoden, Weiterbildung, An- und Abnahme von Bauteilen und Baustoffen enthält, ist angesichts der vielfältigen und komplexen Aufgaben hilfreich.

5.12.3 Weiterbildung und Qualifizierung von Fachkräften

Für die gezielte Durchführung auf den Baustellen ist Fachpersonal notwendig, da der Blick für den selektiven Rückbau bzw. für eine neue Form des Bauens noch fehlt. Mit spezialisierten Qualifizierungs- und Weiterbildungsmodulen im Baubereich sollten die vorhandenen Ausbildungsberufe und Weiterbildungsangebote für Bauhandwerker oder Bauwerksmechaniker erweitert werden. Damit kann die alte Handwerkstechnik sowie die Unterschiede in den Bauweisen und die eventuell vorhandenen Hindernisse beim Rückbau, vermittelt werden. Über das von der DBU geförderte Projekt¹⁵ wird zum ersten Mal die Qualifizierungsmaßnahme „Fachkraft für die Bauteile-Wiederverwendung“ durchgeführt. Sie dient dazu auch unge-

¹⁵ Entwicklung zukunftsfähiger Instrumente zum bewussteren Umgang mit gebrauchten Bauteilen“, Interdisziplinäre Kommunikation und Weiterbildungsmaßnahmen, gefördertes Projekt DBU 2011-2015, bauteilnetz Deutschland, RWB

lernte Personen für die Baustelle, das Lager oder den Verkauf zu schulen. Ebenso werden Weiterbildungen für Planer und Handwerker angeboten, in denen die Rückbaufähigkeit thematisiert und alle am Bau Beteiligten zu Wieder- und Weiterverwendungsoptionen gezielt informiert werden. Diese können breiter angeboten und durchgeführt werden.

Der Lehrplan des Architekturstudiums sollte die Themen „Bauen im Bestand“ und „Abfallvermeidung“ generell mit anbieten. Im oben erwähnten Projekt wurden und werden für den Entwurf und die praktische Umsetzung kleine Bauwerke erstellt. Ein Bauwerk das „entropy house“ hat bereits erfolgreich auf dem Solar Decathlon 2012¹⁶ den fünften Platz belegt. Weitere Modellvorhaben können über die öffentliche Hand initiiert werden.

5.12.4 Informationen und Handreichung für Hausbesitzer/innen

Viele Hausbesitzer (80% der Käufer von gebrauchten Bauteilen sind Privatpersonen)¹⁷ verfügen über keinerlei Informationen zu den Möglichkeiten der Wiederverwendung bzw. der hochwertigen Verwertung und über den möglichen Einsatz von gebrauchten Bauteilen. Oft besteht auch keine Kenntnis über die baukonstruktiven Eigenschaften der eigenen vier Wände oder über verwendete Dämm- und Dichtstoffe.

Eine gezielte kommunale Anlaufstelle (Hotline oder Abfallberater/in) Bauabfallberatungsstelle wäre hilfreich, um für Hausbesitzer/innen zu beraten.

Ein übersichtliches Checkheft für Eigentümer mit der Zuordnung von Indizien und regionaltypisch eingesetzten Baumaterialien könnte an dieser Stelle hilfreich eingesetzt werden. Das Checkheft sollte folgende Inhalte darstellen:

- Vorstellung und Beschreibung der Gebäudetypologien (regional abgestimmt),
- Anwendungen von Baustoffen Klebern und Holzschutzmitteln etc. nach Jahrgang,
- Übersichtslisten mit Fotos für die Bauteilentnahme und Möglichkeiten des Einbaus,
- Entsorgungsmöglichkeiten,
- ortsbezogene Marktübersichten von Recyclingprodukten und Gebrauchtbauteil-Händlern (Branchenführer: Gebrauchtwagen in der Region).

Auch eine Liste von ausführenden Firmen mit Erfahrungen im Bereich der Bauteilentnahme ist empfehlenswert. Sie sollte kontinuierlich aktualisiert werden. Die Erweiterung des Bauteilkatalogs mit Hinweisen und Verknüpfungen zu z.B. ALOIS¹⁸.

¹⁶ Solar Decathlon 2012, Madrid.

¹⁷ Umfrage bei den Betreibern von Bauteilbörsen, Juli 2013

¹⁸ ALOIS - Abfall online Informationssystem des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW

Abbildung 29: Startseite Bauteilkatalog

The screenshot shows the website <http://www.bauteilnetz.de> with the URL `http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/bauteilsuche;jsessionid=EC0066DFBA5C768239746165D77CCDC?btk_suche=true`. The browser's address bar and menu bar are visible. The website's logo, "bauteilnetz DEUTSCHLAND", is at the top left. The main header is "Bauteilkatalog".

Left Navigation Menu:

- Die Idee
 - Ziele
 - Meinungen
 - Angebote
- Der Bundesverband
 - Vereinssatzung
- Aktuelles
 - Veranstaltungen
- Dokumentation
 - Planen und Bauen
 - Aktionstagebuch
 - Pressespiegel
 - DBU-Projekt
- Bauteilbörsen
- Verzeichnis
 - Unterstützer
 - Historisches Baumaterial
 - Planer
 - Energieagenturen
 - Entsorgungsbetriebe
 - Handwerk
 - Institute
 - Verbände
 - Materialprüfungen
- Kontakt
 - Börse einrichten
 - Anmeldung für Veranst.
 - Ins Verzeichnis kommen
 - Allgemeine Anfrage
- Impressum

Main Content Area:

Treffen Sie bitte in der Kategorien-Liste eine Vorauswahl und grenzen Sie dann gegebenenfalls Ihre Suche über die Eingabe eines Suchbegriffs oder eine Auswahl in der Detailsuche ein.

Suche nach: [zur Detailsuche](#)

Was findet sich wo?

 Türen / Tore Haustüren, Wohnungstüren, Zimmertüren, Schiebetüren, Außen-/Balkontür, Sonstige Türen, Tore, Zubehör	 Fenster Außenfenster, Vorsatzfenster, Oberlichter, Dachfenster, Sonstige Fenster, Fensterbänke, Fensterläden, Glas, Zubehör
 Treppen Ganze Treppen, Geländer, Zubehör	 Böden Parkett / Dielen, Fliesen
 Wände / Dach Dachhaut, Ziegelstein, Konstruktion, Verkleidung, Sonstiges, Zubehör - z. B. Biberschwänze, Dachpfannen, Kacheln	 Elektro Leuchten, Dosen / Schalter, Sonstiges

Right Sidebar (Aktionen):

- Hilfe
- Alle Angebote
- Türen / Tore
- Fenster
- Treppen
- Böden
- Wände / Dach
- Elektro
- Heizung / Lüftung
- Sanitär
- Innenraum
- Außenbereich
- Gebäude
- Verschiedenes

www.bauteilnetz.de

6 Ausbau/Wieder- und Weiterverwendung von konstruktiven Bauteilen/-elementen

Der Bausektor spielt in der Nachhaltigkeitsdebatte eine wichtige Rolle, da einerseits große Mengen nicht erneuerbarer Ressourcen verbraucht und andererseits große Mengen an Bauabfall produziert werden.

An dieser Stelle sind die Überlegungen für Wieder- bzw. Weiterverwendungsoptionen für Stahlbeton-, Stahl- und Holzbauteile, aber auch für deren Wiederverwertung, anzusetzen.

Der Lebenszyklus eines Gebäudes ist durch die Phasen Konzeption, Planung, Errichtung, Nutzung, Modernisierung/Sanierung, Abbruch/Rückbau, Aufbereitung u./o. Aufarbeitung und Sekundärnutzung gekennzeichnet. Im Bemühen um mehr Energie- und Ressourceneffizienz ist insbesondere die Bauwirtschaft gefordert, in Stoffkreisläufen zu denken und zu handeln, und nach der Erstnutzungsphase anfallende Bauabfälle und Bauteile als Wertstoffe zu betrachten [Mettke, 1995, S. 9]. Die erneute Wieder- u./o. Weiterverwendung von Bauteilen in Gänze nimmt derzeit zwar quantitativ nur einen geringeren Umfang ein als das Materialrecycling, dennoch ist diese Nachnutzungsart die qualitativ höchstwertige Recyclingoption. Dies ist tatsächlich ein Beitrag für einen intelligenten und effizienten Ressourcenschutz, weil die Wertschöpfung erhalten bleibt, natürliche Ressourcen und Energie, die zur Herstellung neuer Bauteile erforderlich sind, eingespart und die damit im Zusammenhang stehenden Emissionen reduziert werden. Daher sollte bei jedem Abbruch-/Rückbauvorhaben diese Möglichkeit geprüft werden.

Im Zuge der Beräumung (Entrümpelung, Entkernung) von Abbruch- und Rückbau-/Demontageobjekten werden i.d.R. Bauteile wie Fenster, Türen, Heizkörper etc. ausgebaut, um sie wiederzuverwenden. Im Kapitel 5 wird darauf eingegangen.

Eignet sich der Rohbau für einen selektiven bauteilorientierten Rückbau/Demontage, so sollte

- a) der Frage der Wieder-/Weiterverwendung der ehemals verbauten Bauteile (Betonelemente, Stahl- und Holzbauteile) in ihrer originären Gestalt und Form nachgegangen werden, bevor
- b) die Frage zur stofflichen Aufbereitung oder Stahlschrott beantwortet wird.

Die bei Rückbau-/Demontagevorhaben der Rohbaukonstruktion anfallenden/zurückgewonnenen Bauteile in Gänze wie Betonelemente, Holz- und Stahlbauteile stellen ebenso wie gebrauchte Ausbauteile ein Wirtschaftsgut dar.

6.1 Stahlbetonbauteile

6.1.1 Ausgangssituation - Grundlegendes zur Stahlbetonmontagebauweise

Das Bauen mit Stahlbetonbauteilen (Montagebauweise) hat eine breite Anwendung in den einzelnen Bauparten v.a. im Hochbau, aber auch im Tiefbau, gefunden. Insbesondere im eingeschossigen Industrie- und Gewerbebau sowie im mehrgeschossigen Wohnungs- und Verwaltungsbau kam und kommt die Stahlbeton-Fertigteilbauart zur Anwendung.

Nachfolgend wird der Stahlbeton-Fertigbau in Ost- und Westdeutschland für den relevanten Bauzeitraum von ca. 1960 - 1990 getrennt voneinander betrachtet. Dies begründet sich darin, dass aufgrund der politischen Teilung in den vergangenen Jahrzehnten sich z.T. unterschiedliche Entwicklungen herausgebildet haben und der Entwicklungs- und Kenntnisstand zu Wieder- und Weiterverwendungsoptionen von Stahlbetonbauteilen aus dem Bestand im Osten Deutschlands höher anzusehen ist.

Bezieht man sich auf den Gebäudebestand in Ostdeutschland, so werden diese Gebäude im allgemeinen Sprachgebrauch mit „Plattenbauten“ oder „die Platte“ betitelt. Diese Begriffe lassen sich aus den Rationalisierungsstufen und u.a. auch als ein Synonym für die noch laufenden Stadtumbauprozesse in Ostdeutschland ableiten. Hier werden alle Konstruktionstypen des Montagebaus unter einem Oberbegriff zusammengefasst, welcher aus konstruktiver Sicht nicht korrekt ist.

Für den Westteil Deutschlands sind andere Begriffe wie Großtafelbauweise, Tafelbauweise oder auch Beton-Großplattenbau eher geläufig. Zudem wurden hier ab den 1960er Jahren die Termini Primär- und Sekundärstruktur geprägt. Primärstruktur beinhaltet das Tragwerk/die Tragkonstruktion, die Sekundärstruktur den Ausbau.

Die Konstruktionsprinzipien/-systeme (Unterscheidung in tragende, nichttragende Elemente) von Gebäuden in Stahlbetonfertigteilebauweise beider ehemaligen deutscher Staaten unterscheiden sich prinzipiell nicht voneinander. Beiderseits wurde auf vorangegangene Bauentwicklungen und -traditionen aufgebaut und diese mit Beginn der 1960er Jahre intensiv weiterentwickelt. In der Detailausbildung existieren jedoch Unterschiede.

Die industriell vorgefertigten Montagebauten wurden in Ost- wie auch Westdeutschland nach konstruktiven Gesichtspunkten gleichermaßen unterschieden: Längsbauweise und Querwandbauweise. Die Querwandbauweise wurde im Westteil Deutschlands als Schottenbauweise bezeichnet. Oder, die mehrschichtigen Außenwandelemente werden auch unter dem Namen Betonsandwichplatten geführt.

Die errichteten Gebäude in Montagebauweise [Mettke, 2008a, S. 18 ff] sind für Ost- und Westdeutschland zu unterscheiden in:

- Tafelbauweise, d.h. Wand- und Deckenelemente (Wohngebäude in Block-, Streifen- und Plattenbauweise),
- ein- und mehrgeschossige Skelettbauweise (überwiegend Industrie- und Gewerbebauten) oder
- Mischbauweise, d.h. eine Kombination aus Wand- und Skelettbauweise (überwiegend Gesellschafts- und Verwaltungsbauten, aber auch Wohngebäude mit Funktionsunterlagerung),
- Raumzellen-Bauweise,
- Sonderkonstruktionen (z.B. Flächentragwerke).

Ostdeutschland

Im anthropogen geschaffenen Lager Ostdeutschlands sind die Bauarten: Skelett- o./u. Wandbau, Flächentragwerke und Raumelemente-Konstruktionen vertreten.

Bspw. wurden nach statistischen Angaben auf dem Gebiet der ehemaligen DDR seit den 1950er Jahren bis 1990 von den insgesamt rd. 8 Mio. Wohneinheiten (WE) ca. 2,17 Mio. WE in mehrgeschossigen Wohngebäuden in serieller Montagebauweise industriell errichtet [Mettke/Thomas, 1999, S. 8]. Im Zuge des Programms „Stadtumbau-Ost“ wurden insgesamt rd. 260.800 WE abgebrochen bzw. technologisch bedingt z.T. selektiv zurückgebaut [BMVBS, 2010, S. 23]. Im Zeitraum von 2001 bis Mitte 2010 entfiel ein Großteil auf die industriell, in Betonfertigteilebauweise, errichteten Wohnbauten, die zurückgebaut wurden. Für die kommenden Jahre bis 2016 ist angestrebt, weitere 200.000 bis 250.000 WE vom Markt zu nehmen. Hier wird wiederum der Hauptanteil bei den Wohngebäuden in Stahlbetonmontagebauweise liegen. Prognosen zufolge wird sich der Anteil an Komplettabbrüchen insgesamt verringern, der Teilrückbau bei der Bestandsreduzierung von Wohnungen hingegen erhöhen.

Westdeutschland

Das industrialisierte Bauen hat in der BRD aufgrund der marktwirtschaftlichen Bedingungen, der kleinteiligeren Bauwirtschaft und v.a. der privaten Bodeneigentumsverhältnisse einen geringeren Stellenwert erfahren als in der DDR.

Dennoch wurde in den 1960er und 1970er Jahren in der BRD das industrielle Bauen zu einem wichtigen Baustein zur Deckung des Nachholbedarfs im sozialen Wohnungsbau. Für den staatlich geförderten, sozialen Wohnungsbau wurde die Rationalisierung des Bauens - Innenausbau, Typisierung, Vorfertigung - bedeutsam und explizit durch sogenannte Demonstrativbauvorhaben des Bundes ab den 1960er Jahren vorangetrieben. Hier existiert(e) ein hoher Grad der Standardisierung in den Gebäuden des sozialen Woh-

nungsbaus. Aber bereits Ende der 1970er Jahre wurde die politische Förderung des Wohnungsbaus eingestellt [Hannemann, 2005, S. 48-50] und somit auch die Fertigteilbauweise im sozial geförderten Geschosswohnungsbau drastisch zurückgefahren. Das erlangte Knowhow wurde nicht verworfen, Betonfertigteile wurden weiterhin in den 1980er und 1990er Jahren im Wohnungsbau verbaut, jedoch nicht mehr in einem so großen Umfang.

Der Anteil der in Fertigteilbauweise errichteten Wohnungen an der Gesamtanzahl der Baufertigstellungen betrug, den Angaben der statistischen Jahrbücher der BRD folgend, im Jahre 1966 ca. 4 % und im Jahr 1974 etwa 9 % und 6 % im Jahre 1987. Hierbei erlangte der Montagebau seine größte Bedeutung bei der Errichtung von Eigenheimen. Der Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern an in Fertigteilbauweise errichteten Wohngebäuden lag bspw. 1966 bei 86 %, 1974 bei 94 % und 1987 bei 99 %. Zu beachten ist jedoch, dass sich für die hier eingeschossige Bauweise weniger der Einsatz von Betonfertigteilen, sondern vielmehr die Verwendung von Holzfertigteilelementen relevant darstellt. Im Vergleich zum Ein- und Zweifamilienhausbau lässt sich die Abkehr von der industrialisierten Montagebauweise im staatlich geförderten Wohnungsbau auch anhand der statistischen Zahlen zu in Fertigteilbauweise errichteten Gebäuden mit 3 oder mehr Wohnungen ablesen; im Jahre 1966 waren es noch 63 %, 1974 etwa 55 % und 1987 nur noch etwa 7 %. [Hoscislawski, 1991, S. 200-203].

Hingegen hatte die Verwendung vorgefertigter Betonelemente in der Skelettbauweise für den Verwaltungs- und Industriebau, zunehmend auch für den Bau von Universitäts-, Forschungs- und Institutsgebäuden sowie von Kliniken und Warenhäusern etc., umso mehr an Bedeutung gewonnen. Hier wurden auch im Laufe der Jahrzehnte weitere Optimierungspotenziale für den Betonfertigteileinsatz und -konstruktionen gesucht, aber auch ausländische Baumethoden angewandt und weiterentwickelt. Hierbei traten verschiedene Baufirmen/Hersteller mit eigenen Entwicklungen und Systemen (Individuallösungen) auf dem Markt auf [Berndt, 1969].

Für Westdeutschland wurden mit Bezug auf den Wohnungsbau in den 1960er/1970er Jahren eine Vielzahl an verschiedenen Bausystemen (Großtafelbauweise, Tunnelbauweise, z.T. Skelettbauweise) entwickelt und angewandt, welche v.a. von französischen und skandinavischen Systemen beeinflusst wurden [Czie-ski, 1997, S. 374 ff]. Eine einheitliche Typisierung und Serienfertigung wie sie in der DDR existierte, gab es in dem Sinne nicht.

Vielmehr kann gelten, dass jede Firma ihr eigenes geschlossenes System entwickelt und angewandt hat [Walter, 1984, S. 132-136]. Obwohl, analog wie bspw. in der DDR, ein Grundraster von 1.200 mm angestrebt wurde, gibt es für die Skelett- und Großtafelbauweise kein einheitliches Grundsystem, keine einheitliche Modularisierung. Lediglich zur Vereinheitlichung und Systematisierung der baulichen Elemente für das jeweilige/ Augenblickliche Bauprojekt (Komponenten) wurde ein Bausystem/eine Serie entwickelt. Die Betonfertigteileindustrie hatte sich, zumindest was den Wohnungsbau betrifft, darauf eingestellt, möglichst vielfältige Gestaltungswünsche realisieren zu können. D.h., die Serie wird nicht in den gleichen äußeren Abmessungen, sondern vielmehr in gleichen Bauteildicken gesehen [Feldmann, 1994, S. 18].

In der konstruktiven Ausführung der Stahlbetonfertigteilebauten gibt es dahingehend Unterschiede zum industriellen Bauen, dass in Westdeutschland z.T. ein verstärkter Einsatz von Fertigteilelementen in Kombination mit Ortbetonerfüllung (Decken und Wände) festzustellen ist. Zudem wurden in der Detailausführung und gerade in der Fassade (Materialien für die Oberflächen, Fassadengliederung) die Gestaltungsmöglichkeiten mit vorgefertigten Betonelementen in Westdeutschland in höherem Maße ausgeschöpft.

Gesamtdeutschland

Stahlbeton ist auch heute noch in Gesamtdeutschland der Hauptbaustoff, wenn gleich der Anteil an Gebäuden, welche davon unter Verwendung von Stahlbetonfertigteilen errichtet werden, geringer ausfällt.

Der Anteil an Gebäuden in Deutschland unter Verwendung von Stahlbeton hat sich in den letzten Jahren wie folgt entwickelt: Den Zahlen des Statistischen Bundesamtes zufolge betrug der relative Anteil der

fertiggestellten Gebäude in Stahlbetonbauweise im Jahr 2011 bundesweit bei Wohngebäuden 7 % und bei Nichtwohngebäuden 28,2 % [Statistisches Bundesamt, 2012]. Im Bundesdurchschnitt nahm bis 2011 bei Wohngebäuden die Quote seit 2000 (5 %) nur geringfügig zu, hingegen stieg der Anteil an Baufertigstellungen bei Nichtwohngebäuden in Stahlbeton seit dem Jahr 2000 von 21,6 % bis zum jetzigen Wert von 28,2 % (2011) an.

Von insgesamt 96.549 Wohngebäuden wurden im Jahr 2011 6.800 Häuser unter überwiegender Verwendung von Stahlbeton errichtet. Der überwiegende Teil davon sind, wie auch bereits in den Jahren zuvor, Einfamilienhäuser (5.119 bzw. 75,3 %) und Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen (1.153 bzw. 17 %). Der Anteil der in Fertigteilbauweise errichteten Wohngebäude lag bei 17 % (1.157).

Im Jahr 2011 sind bei Nichtwohngebäuden von den 28.473 Baufertigstellungen 8.021 Bauten überwiegend mit dem Baustoff Stahlbeton errichtet worden. Den Großteil davon nehmen Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude (4.406 bzw. 54,9 %) und Landwirtschaftliche Betriebsgebäude (2.038 bzw. 25,4 %) ein.

Auf die Nichtlandwirtschaftlichen Gebäude (4.406 Bauten) entfallen 1.867 Handels- und Lagergebäude (42,4 %) und 1.406 Fabrik- und Werkstattgebäude (31,9 %). Der Anteil an Büro- und Verwaltungsgebäuden an Nichtwohnbauten in Stahlbeton liegt mit 563 Bauten bei 7 %.

6.1.2 Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Stahlbetonelementen

Die bautechnischen und ästhetischen Anforderungen, die an wieder- u./o. weiterverwendungsgeeignete Stahlbetonbauteile gestellt werden, sollten den Kriterien neuer Stahlbetonbauteile entsprechen. Zusätzlich besteht jedoch die Notwendigkeit, dass für die Beurteilung und Einschätzung der Gebrauchseigenschaften zusätzliche Faktoren zu berücksichtigen sind, welche mit der Konstruktion/konstruktiven Ausbildung, der Nutzung des Gebäudes bzw. der Gebäudeteile in Zusammenhang stehen.

Für eine Wieder- bzw. Weiterverwendungseignung von Stahlbetonbauteilen lassen sich vier Grundbedingungen (GB) formulieren [Mettke, 1995, S.161]:

- Gewährleistung der Zugänglichkeit und Demontierbarkeit im Gebäude,
- Nachweis ausreichender Restgebrauchseigenschaften und Prognose der Restnutzungsdauer,
- Gewährleistung der Standsicherheit während des Demontagevorgangs und danach,
- Sicherung der Remontierbarkeit.

Nachfolgend aufgeführte Anforderungen/Faktoren stellen Kriterien für die o.a. Wieder- bzw. Weiterverwendungseignung von Stahlbetonbauteilen dar. In Abhängigkeit der Nachnutzung können diese je nach Anwendungsfall differenziert ausfallen.

a) Gebäudekonstruktion und bauteilbezogene Anforderungen/Faktoren (Qualitätssicherung):

- rückbaufähige Gebäudekonstruktion und Sicherung der Stabilität während der Demontage und danach,
- Einbausituation der/des Stahlbetonbauteile(s), Art und Ausführung der Bauteilverbindungen (Auslösbarkeit der Einzelteile), Demontageaufwand und -umfang,
- Abmessungen/Geometrie und Gewicht der/des Bauteile(s),
- Gebrauchstauglichkeit/Maßhaltigkeit,
Bauelementeprüfung (visuell und ggf. spezifisch bauwerksdiagnostisch): Bauzustand, Bauteil- bzw. Oberflächenbeschaffenheit/optischer Zustand/mögliche (mechanische) Beschädigungen/Mängel (z.B. Risse, Schadstellen infolge mechanischer Einwirkungen, Perforierungen durch Verbindungsmittel etc.), Korrosion von Tragösen, offenliegende Bewehrung,
- Gewährleistung Schadstofffreiheit,

- Ausbaukonzept, Geräteauswahl,
- zerstörungsfreier bzw. -armer Ausbau-Knowhow beim Ausbau,
- (Mehr)Zeitaufwand für den sorgfältigen, zerstörungsfreien Rückbau einplanen,

b) TUL-Prozesse - Transport/Umschlag/Lagerung:

- Bauteilprüfung nach Ausbau zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit (durch einen Fachkundigen bzw. Statiker),
- Wirtschaftlichkeit - Lagerungs- und Transportaufwand, -dauer und -kosten,
- Handling und Lagerung der Stahlbetonbauteile-Transport, Umschlag, Lagerung (TUL) in Einbaulage,
- Aufwand für eine Aufarbeitung, Reinigung (z.B. Strahlen, Entfernen von Tapeten und Anhaftungen),

c) Rechtliche Aspekte:

- Berücksichtigung geltender Normen und Vorschriften,
- Merkblätter und Richtlinien.

6.1.3 Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Stahlbetonbauteilen

Wieder- und Weiterverwendungen von Betonelementen aus einstigen Rohbaukonstruktionen der DDR-Bauten sind derzeit noch Ausnahmen und sind trotz erfolgreich umgesetzter Projekte noch nicht Stand der Technik.

Größtenteils wurden im Rahmen von Forschungsvorhaben der BTU Cottbus-Senftenberg, Fachgruppe Bauliches Recycling, - gefördert vom BMBF und der DBU - Wieder- und Weiterverwendungsprojekte ingenieurwissenschaftlich vorbereitet und umgesetzt. Die vielschichtigen Fragen, die mit der dramatischen Leerstandsproblematik der Plattenbauten im Zuge von Stadtumbaumaßnahmen einhergingen, bedürfen seit der Jahrtausendwende dingender Lösungen.

Tragfähige, moderne, nachhaltige Konzepte waren - und sind heute immer noch vielerorts - zu entwickeln oder im Rahmen integrierter Stadtentwicklungskonzepte fortzuschreiben. Schnell wurde den beteiligten Akteuren klar, dass der Erfolg und die Akzeptanz des Umbaus der industriell errichteten Wohn- und Gewerbebauten maßgeblich davon abhängig sein werden, wie es gelingt, diesen Prozess nicht als Verlust, sondern als Gewinn von Lebensqualität und örtlicher Attraktivität zu vermitteln.

Eine Schlüsselposition zur Verminderung überhängiger Wohnungen in Plattenbauten gekoppelt mit einer Rückgewinnung der dabei anfallenden Betonelemente hat der Teilrückbau. Von außerordentlichem Vorteil ist, dass ein Teil des Baubestandes erhalten bleibt, dieser modernisiert und saniert werden kann (bspw. grundrissmäßig verändert, energetisch und architektonisch aufgewertet) und gleichzeitig die dabei angefallenen Betonelemente zur Wieder- oder Weiterverwendung bereit gestellt werden können.

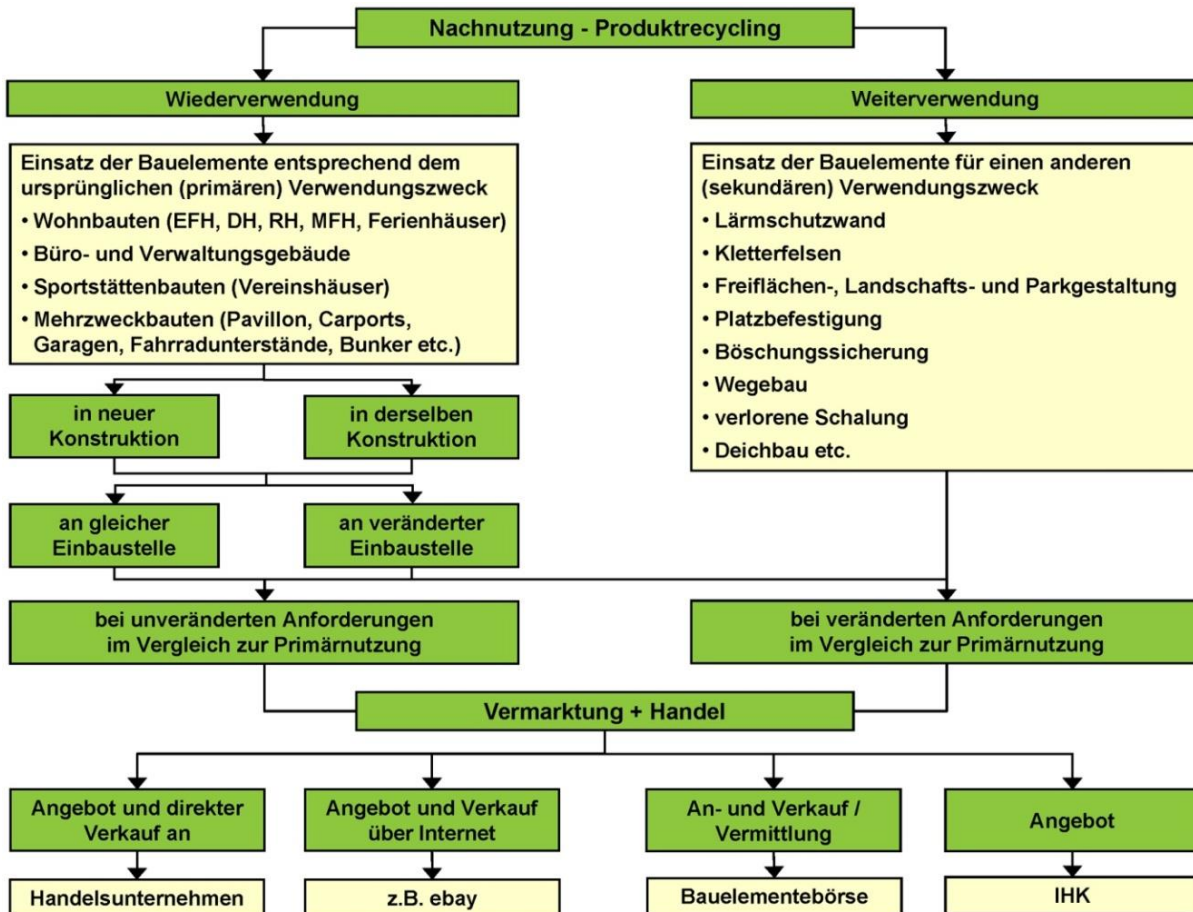
Rückgebaute Betonelemente sind in vielfältigen Bereichen einsetzbar [Mettke, 2009a, S. 175 ff.] wie bspw.

- im Hausbau (Einfamilien-, Doppel-, Reihen-, Ketten-, Mehrfamilien-, Ferienhäuser),
- im Verwaltungs- und Sportstättenbau (Vereinsgebäude, Büromodule),
- im Mehrzweckbau (Pavillons, Garagen, Fahrradunterstände, Bunker),
- zur Landschafts- und Parkgestaltung sowie im Wohnumfeld (Treppen, Begrenzungselemente, gestalterische Elemente),
- für Maßnahmen im Umweltschutz (Lärmschutzwände, Deichbau zur Stabilisierung dieser),

- im Landwirtschaftsbau (Silos, Platzbefestigung).

In nachfolgender Abbildung 30 sind erprobte und denkbare Einsatzbereiche zur Nachnutzung demontierter Betonelemente aufgeführt.

Abbildung 30: Zum Teil erprobte/umgesetzte sowie denkbare Einsatzbereiche für gebrauchte Betonbauteile



[Mettke, 2009a, S. 22]

Im Anlagenteil Kapitel 14.1 dieser Dokumentation ist ein Überblick für beispielhaft umgesetzte Pilot-, Muster- und Demonstrationsprojekten zusammengestellt. Die realisierten Bauvorhaben machen deutlich, dass gebrauchte wiederverwendungsgerechte Betonelemente bisher hauptsächlich

- zum Bau von Wohnhäusern unterschiedlichster Wohnformen und Architektur und
- in Mehrzweckbauten, insbesondere in Bauten für Sportvereine, aber auch
- zur Gestaltung von Freiflächen im Wohnumfeld und in Parkanlagen verwendet

wurden.

Darüber hinaus wurden gebrauchte Betonelemente zur Befestigung von Flächen landwirtschaftlicher Betriebe eingesetzt. Zudem sind eine Vielzahl von Betonelementen u.a. in die Niederlande transportiert worden, um sie in landwirtschaftlichen Gebäuden und Anlagen (Ställe, Silos) sowie kleineren Abstützungen zur Überquerung von Bächen einzusetzen. Etliche Wiederverwendungsvorhaben sind jedoch leider nicht über die Planungsphase hinaus gekommen. Dazu zählen bspw. das Vorhaben „Santa Fe“ (Campingplatzanlage am Gräbendorfer See; <http://www.camping-santafe.de>; am 19.06.2013) auf dem Zwischenlager befinden sich 211 Betonelemente (Lagerdauer bis dato: rund 4 Jahre) und grenzüberschreitende Vorhaben

zum Bau von mehrgeschossigen Wohnbauten. Wie die meisten praktisch umgesetzten Beispiele zeigen, kommen die Betonelemente in unmittelbarer Nähe der Demontagebaustelle wieder zum Einsatz. Dazu gehören auch die Errichtung von Funktionsbauten wie bspw. die Carportanlage in Waltershausen und die eingeschossigen Mehrzweckbauten u.a. zur Nutzung für das Unterstellen von Fahrrädern in einem Wohnkarree in Weißwasser. Ein interessanter Impuls für eine Weiterverwendung wird in der Freiraumgestaltung gesehen. Besonders gelungen ist der Jugend- und Freizeitpark in der Stadt Gröditz, der von den Bewohnern gut angenommen/frequentiert wird. Hier wurden Betonbauteile aus der am Standort rückgebauten Schule an gleicher Stelle zum Bau verschiedener Kubaturen eingesetzt (siehe Kapitel 14.1). Kletterfelsen aus Altbetonelementen sind weit über 50 an der Zahl in unterschiedlichsten Größen in der gesamten Bundesrepublik errichtet worden.

Die umgesetzten Beispiele zeigen die verschiedenartigen Verwertungswege auf und in welcher Form, zu welchen Beanspruchungen die Betonelemente nachgenutzt werden können. Ausschlaggebenden Einfluss darauf haben die Entscheidungsträger (Bauherren) und außerdem die lokalen und regionalen Randbedingungen.

Für Wieder- und Weiterverwendungen von Stahlbetonelementen aus Bauten Ostdeutschlands sind etliche Konzeptionen entwickelt und erforscht worden. Besonders interessant sind die Untersuchungen, demonstrierte Betonelemente zur Stabilisierung von Deichen einzusetzen. In Feldversuchen konnten die ermittelten positiven rechnerischen Ergebnisse zur Stabilitätsverbesserung nachgewiesen werden [Mettke, 2009b]. Leider ist es bisher nicht gelungen, eine der drei untersuchten Ausbildungsvarianten (Oberflächenabdichtung, Innendichtung, Überströmstrecken) unter praktischen Bedingungen zu testen. Jedoch wird gegenwärtig eine Baumaßnahme von der Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus-Senftenberg vorbereitet.

Neben der Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus - Senftenberg, die gewissermaßen eine Vorreiterrolle für die Betonbauteilwiederverwendung einnimmt, sind das Institut für Fertigungstechnik und Fertigteilbau Weimar e.V. (iff), das Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB) sowie vereinzelt innovativ und kreativ engagierte Bauherren, Architekten und Planer zu nennen, die Wieder- u./o. Weiterverwendungsprojekte initiiert, geplant oder wissenschaftlich begleitet haben.

Für Wieder-/Weiterverwendungen von Stahlbetonelementen aus dem Gebäudebestand Westdeutschlands liegen keine derartigen umfangreichen Ergebnisse vor.

Dennoch sind nachfolgend zwei öffentlichkeitswirksame Projekte aufgeführt, die zeigen, dass Betonfertigteile aus westdeutscher Produktion wiederverwendet wurden.

Im Zuge der Fragestellung: „Wie verändern städtebauliche Maßnahmen - Umbau, Neubau und Abriss - die Entwicklung einer Stadt und ihrer Gesellschaft?“ [Fischer/Huber, 2009, S. 1226-1230], wurde 2008 ein Projekt in München ins Leben gerufen, drei Bungalowbauten (Stahlbetonfertigteile-Bauweise) aus dem Olympischen Dorf an zwei anderen Orten, zwei öffentlichen Plätzen der Stadt, temporär (08/2008-03/2009) zu transplantieren. Im Gesamtkontext sollte das Projekt „Bestandsverpflanzung“, initiiert von zukunftsgeräusche gbR, Diskussionen und Berührungspunkte schaffen, wie Orte und Menschen städtischen Wandel erfahren und was mit baulicher Substanz möglich ist, die ihren Nutzungszyklus durchlaufen haben.

Aus dem laufenden Abbruch von Teilen des ehemaligen Olympischen Dorfes wurden einzelne Betonbauteile (Decken-, Wand- und Attikaelemente) gezielt rückgebaut, so dass die drei Bungalows als fliegende Solitärbauten wiedererrichtet werden konnten. Es zeigte sich, dass die 1969 produzierten Betonelemente eine hohe Qualität aufwiesen und problemlos handhabbar waren. Die Bauteile waren nur punktuell miteinander verbunden (Anschluss- und Transportbewehrung); der Betonverguss ließ sich rückstandslos entfernen. Eine Kombination aus verschiedenen Ursprungsgebäuden war möglich.

Dieses Beispiel verdeutlicht eindrucksvoll die einfache und unkonventionelle Wiederverwendbarkeit ausgedienter Betonbauteile. Fazit: Insgesamt wurden 51 Betonfertigteile dreimal de- und zweimal remon- tiert. Nach Projektende 2009 wurden diese Bauteile, bis auf drei Elemente, der stofflichen Verwertung

zugeführt.

In den Jahren 2010/2011 wurde mit Unterstützung der DBU und unter Mitwirkung des IEMB ein Demonstrationsprojekt zur Wiederverwendung von Betonelementen am Standort Berlin erfolgreich in kleinem Maßstab umgesetzt [Fischer/Asam, 2012]. Als Lehrbaustelle initiiert, wurde hierbei ein modellhaftes Recyclinggebäude (siehe Kapitel 14.1) in einer Kombination aus Betonfertigteilen zweier verschiedener Spendergebäude aus Ost und West auf dem Tempelhofer Feld errichtet. Die Betonelemente stammen teils aus dem olympischen Dorf in München, teils aus einem Rückbau eines Wohnhochhauses in Frankfurt/Oder.

6.1.4 Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung

Stahlbetonbauteile können, sofern nichts der gewünschten/geforderten Gebrauchstauglichkeit entgegensteht, nach zerstörungsfreier bzw. -armer Demontage für den gleichen oder auch für einen anderen Einsatzzweck wieder-/weiterverwendet werden (siehe Abbildung 30). Es ist zu entscheiden, ob für den geplanten Einsatzzweck ggf. eine Aufarbeitung notwendig ist.

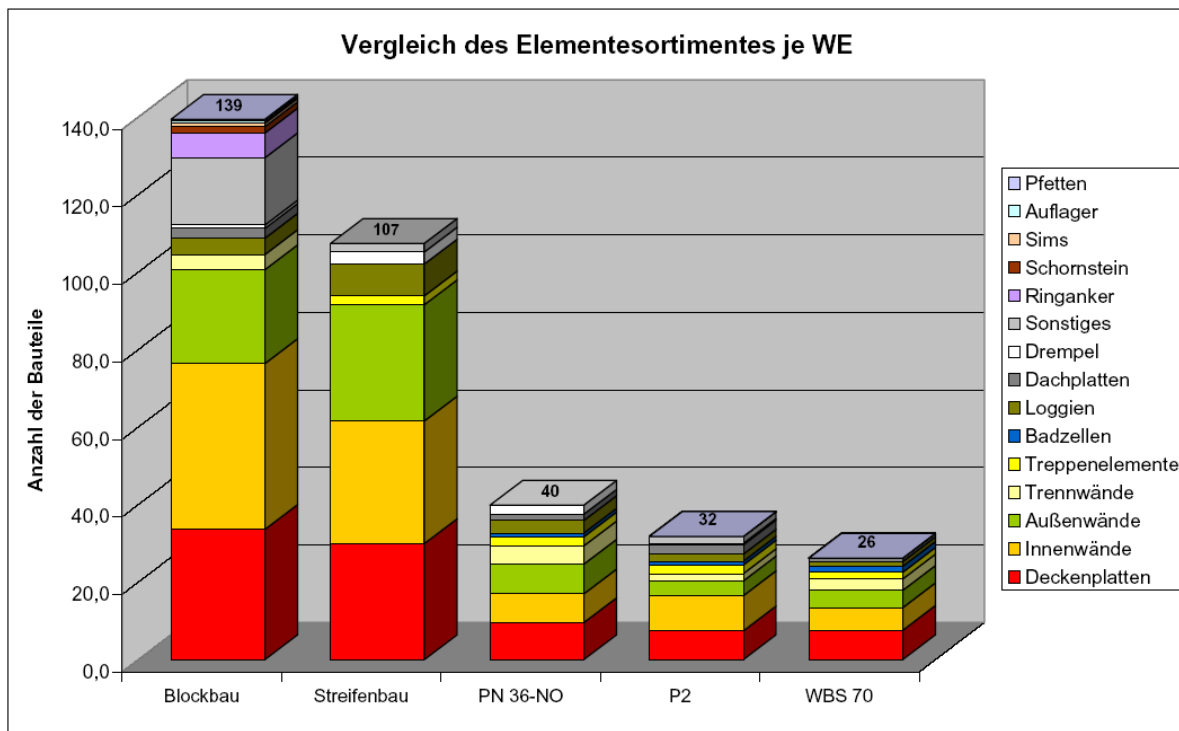
Im Zuge wissenschaftlich begleitender Untersuchungen der Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus - Senftenberg an einer Vielzahl von verschiedenen Rückbauobjekten des industriellen Wohnungs- und Gesellschaftsbaus in Ostdeutschland wurde trotz der Typisierung deutlich, dass sogar innerhalb der standardisierten Bau-/Typenserien Unterschiede bestehen, v.a.:

- in der Bauteilsortimentverwendung,
- in den geometrischen Abmaßen der Betonelemente,
- in den Elementemassen bedingt durch den unterschiedlichen Bewehrungsanteil (z.B. aufgrund der Einbaulage bzw. der unterschiedlichen Belastungen der Deckenplatten), der Mörtelfugenanhaftungen und installierter Kabel, Rohre usw. sowie
- in der verbauten Elementeanzahl (je WE).

Das verbaute Betonelementesortiment ist auf die örtlichen Anpassungen der Typenprojekte in Abhängigkeit der damaligen lokalen Verfügbarkeit von Baustoffen und der Kapazitäten der Betonfertigteilwerke sowie auf die regionale Fokussierung bestimmter Bauserien und den Kombinationen von Betonelementen aus verschiedenen Bauserien (Elementemix) zurückzuführen.

Nachstehende Abbildung 31 gibt einen Überblick zur Anzahl der verbauten Betonelemente hauptsächlich anzutreffender Gebäudetypen in Montagebauweise in Ostdeutschland.

Abbildung 31: Synopse der Anzahl verbauter Betonelemente nach Gebäudetypen



[Mettke, 2008b, S. 150]

Für alle betrachteten Bauserien aus industrieller Vorfertigung für den Wohnungsbau auf dem Gebiet Ostdeutschlands gilt, dass diese vorzugsweise auf der Quer- aber auch auf der Längswandbauweise basieren. Diesem liegt ein Grundraster von 1.200 mm (Systemachsenmaß: 2.400 mm und 3.600 mm) zugrunde. Die Normalgeschosse weisen eine Systemhöhe von 2.800 mm auf. An diesen Maßen orientieren sich auch die Maße der Wandelemente in Breite und Höhe. Detaillierte Angaben finden sich u.a. in den von der Fachgruppe Bauliches Recycling erarbeiteten Elementekatalogen [Mettke, 2003a ; 2007a].

Die aus einzelnen Projektdatenblättern in den Elementekatalogen zusammengefassten Übersichten zum Hauptsortiment verbauter Betonelemente (Standardprojektierung) können allenthalben eine Hilfestellung darstellen, um erste bautechnische Informationen zu den Bauteilen abzugreifen. Sie entbinden nicht von einer Vorortaufnahme des verbauten Rückbau- bzw. Spenderobjektes¹⁹.

D.h., die Auswahl der Betonelemente für eine Wieder- /Weiterverwendung erfordert eine genaue Erfassung des Spendergebäudes analog der Bestandserfassung in Vorbereitung von Sanierungs- und/oder Modernisierungsmaßnahmen. Im Idealfall helfen Bestandspläne und Projektierungsunterlagen - sofern vorhanden - weiter. Dennoch ist eine Begehung des Spendergebäudes - wie zuvor aufgeführt - unabdingbar. Erfahrungsgemäß stimmen die vorliegenden Projektierungsunterlagen nur in den seltensten Fällen mit der Ausführung überein.

Ziel der Gebäudeerfassung in Vorbereitung von Wiederverwendungen ist eine genaue Bauteil- resp. Bauelementaufnahme, um das verfügbare Potenzial und den Bauzustand bzw. die Qualität dieser (Wiederverwendungseignung) zu ermitteln.

¹⁹ Der Begriff „Spenderobjekt“ ist der Medizin entlehnt. Dort wird der Begriff „Spenderorgan“ verwendet, um ein Organ von einem Organspender auf einen Organempfänger zu übertragen (Transplantation). Diese Definition ist auf das Bauwesen übertragbar, denn ein Bauteil von einer rückzubauenden Immobilie wird zu selbiger oder anderer Immobilie oder zu einem veränderten Anwendungszweck eingesetzt [Mettke].

Die Bewertung der Wieder- bzw. Weiterverwendungseignung von Betonelementen ist dabei durch eine grundsätzliche Vorgehensweise gekennzeichnet, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich der qualitativen Eigenschaften, statischen sowie technologischen Kriterien des Wiedereinsatzes der untersuchten Bauteile eindeutig abzusichern. Diese grundsätzliche Vorgehensweise beruht auf einem mehrstufigen Problemlösungsprozess. Dieser erfordert eine bestimmte Reihenfolge in seiner Abarbeitung und wird an Entscheidungsstufen der Eignung für eine Bauteilnachnutzung [Mettke, 1995, S. 154 ff.] und an ein Untersuchungsprogramm zum Bauzustand der Betonelemente [Mettke, 2008b, S. 19 f.] geknüpft.

Eine zusammenfassende Übersicht der Entscheidungsstufen zur Wieder-/Weiterverwendungseignung von sekundären Betonbauteilen gibt nachfolgende Tabelle 2.

Tabelle 2: Entscheidungsstufen zur Wieder-/Weiterverwendungseignung

Untersuchungen	im eingebauten Zustand; vor der Demontage	Nullstufe (als vorgeschaltete Stufe): Voruntersuchung Feststellen der Demontierbarkeit des Gebäudes (Zugänglichkeit, Konstruktionstyp etc.)
		Entscheidungsstufe I: Eignungsprüfung Beurteilung des Bauzustandes der Betonelemente (visuelle und bauteildiagnostische Analyse, baustoffliche, -technische und -physikalische Untersuchungen); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit; entsprechende Kennzeichnung der Betonelemente wird empfohlen
	im ausgebauten Zustand; nach der Demontage	Entscheidungsstufe II: Hauptprüfung Erfassung evtl. Beschädigungen und/oder Schäden infolge des Demontageprozesses (Risse, Kantenabbrüche, Verbindungsmittel, Tragösen etc.); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn Transport der Bauelemente zur (Re)Montagebaustelle erforderlich wird, ansonsten endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn De- gleich (Re)Montagebaustelle ist (Idealfall); endgültige Bewertung jeweils unmittelbar vor der (Re)Montage
		Entscheidungsstufe III: Zusatzprüfung Erfassung evtl. Schäden und/oder Beschädigungen infolge weiterer TUL-Prozesse und/oder längerer Zwischenlagerung der Betonbauteile vor der sekundären Verwendung; endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit

[Mettke, 2008b, Teil 2, S. 19 f.]

Insbesondere bei der Eignungsprüfung der Betonelemente (Entscheidungsstufe 1) hat sich im Zuge der visuellen Analyse eine Bauzustandseinschätzung über Bauzustandsstufen (BZS 1-4) bewährt [Mettke, 2008b, Teil 2, S. 23 f.].

Zur Definition der Gebrauchseigenschaften der rückgebauten Elemente liegt ein besonderes Augenmerk auf folgende mögliche Verschleiß- u./o. Schadensbilder sowie Einbaubedingungen:

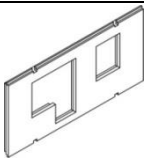
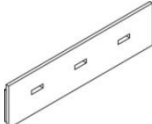
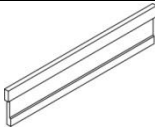
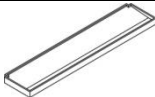
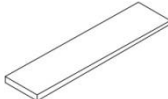
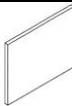
- Risse und Rissbilder,
- Fugen- und Anschlussausbildungen,
- Abplatzungen und Absandungen,
- Poren, Lunker, Kiesnester,
- Anstriche, Ausbesserungsstellen, Bewuchs,
- Verschmutzungen und Ausblühungen,
- stehendes Wasser und Undichtheiten.

Die bisherigen umfangreichen Untersuchungen an rückgebauten Betonelementen ergaben, dass diese bei sachgemäßem Rückbau, Umschlag, Transport und Zwischenlagerung zu 80 - 90 % in die Bauzustandsstufe (BZS) 1 und 2 eingestuft werden konnten [Mettke, 2008a, S. 152 ff.]. Darüber hinaus erfolgten messtechnische Untersuchungen, um v.a. die Dauerhaftigkeit belegen zu können. Die Ergebnisse sind detailliert in

Forschungsberichten der BTU Cottbus-Senftenberg, Fachgruppe Bauliches Recycling, dokumentiert [Mettke, 2008b; 2008a; 2009b]. Nachgewiesen werden konnte, dass die etwa 20 bis 30 Jahre alten Betonbauteile ausgezeichnete bautechnische Merkmale aufweisen, die mit neu hergestellten Betonbauteilen vergleichbar sind.

Nachstehende Tabelle 3 gibt einen Überblick zur Wiederverwendungseignung zur sekundären Verwendung von Betonelementen in Wohnbauten. Die Bewertung erfolgt aus bautechnischer Sicht der hauptsächlich verbauten Betonelemente der in Ostdeutschland industriell errichteten Gebäude.

Tabelle 3: Bewertung der Eignung rückgebauter Bauteile zur Wiederverwendung aus bautechnischer Sicht²⁰

Betonelementesortiment		Wiederverwendungseignung am Beispiel Wohnbauten	
		Bewertung	Bemerkungen
Deckenplatten		besonders geeignet	aufgrund der Qualität und geometrischer Abmaße und verbauter Anzahl
Innenwände			
Außenwände		geeignet	Außenwände ohne Kamilit als Dämmstoff
Kellerwände			Anzahl begrenzt
Drempелеlemente			
Treppenstufen-elemente		bedingt geeignet	ästhetische Anforderungen sind im Wohnbau z.T. nicht mehr ausreichend; bevorzugt geeignet als Kellertreppe oder in Wirtschaftsgebäuden
Treppenpodeste			
Loggiabrüstungen			6,00 m lange Brüstungselemente z.T. sichtbar verformt, an Loggiabrüstungselementen z.T. Betonabplatzungen durch zu geringe Betonüberdeckung
Loggiawände			
Loggiadecken			
Dachkassetten-platten			nur geeignet ohne teerhaltige Schadstoffe
(leichte) Trenn-wände		nicht geeignet	zu geringe Bauteildicke; zerstörungsfreie Demontage kaum möglich

[Mettke/Asmus]

²⁰ Zusammenführung Ergebnisse der Untersuchungen zur Wiederverwendungseignung im Zuge verschiedener Forschungsaktivitäten der Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus-Senftenberg.

Nachweislich (rechnerisch, messtechnisch sowie baupraktisch) ist, dass sich folgendes Elementesortiment besonders zur Wiederverwendung resp. zum Bau von Häusern eignet:

- die mehrschichtigen Außenwände ohne Kamilit²¹ (als verbauter Dämmstoff),
- ehemals tragende Innenwände,
- Deckenplatten der Normalgeschosse.

Die Praxis zeigt, dass uneingeschränkt hauptsächlich Deckenplatten (Stahl- und Spannbetondeckenplatten) für sämtliche Anwendungen nachgefragt werden.

Unter der Annahme, dass von den bis zum Jahr 2016 weiteren Rückbaumaßnahmen in Höhe von 200.000 bis 250.000 WE (siehe Kapitel 6.1.1) 60 % auf Plattenbauten entfallen, würden 120.000 bis 150.000 WE demontiert werden. D.h., es würden bei angenommenen rund 30 verbauten Betonelementen pro WE 3,6 Mio. bis 4,5 Mio. Elemente anfallen. Stuft man hiervon 40 - 80 % als wiederverwendungs- oder weiterverwendungsgeeignet ein und führt diese in Gänze dem Produktkreislauf zu, so entspräche dies einer Menge von 1,5 Mio. (3,6 Mio. BE x 0,40) bis 2,7 Mio. (4,5 Mio. BE x 0,60) Betonelementen. Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 3,0 t/BE wären dies rund 4,5 Mio. t bis 8,1 Mio. t Bauabfallvermeidung, d.h., pro Jahr würden etwa 1 bis 2 Mio. t weniger Bauabfallmengen anfallen.

6.1.5 Ökonomische und ökologische Vorteile

Wissenschaftliche Begleituntersuchungen der Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus-Senftenberg zu Wiederverwendungsprojekten haben ergeben, dass durch die Wiederverwendung von Betonbauteilen aus dem industriell errichteten Gebäudebestand Ostdeutschlands (Plattenbauten) für den Bauherrn ökonomische Vorteile gegenüber dem Bauen mit neuen konventionellen Baumaterialien möglich sind. Durch eine gründliche Vorplanung (Bauteilbereitstellung und -vorauswahl, TUL-Prozesse etc.), modulare Grundrissgestaltung, optimierte Arbeitsabläufe und der (Re)Montageprozesse konnten nachweislich i. M. Kosteneinsparungen für den Rohbau von 10 bis 30 % erzielt werden. Die größten Einsparungen konnten bei der Verwendung von Deckenplatten, hier sogar bis zu 50 % der Rohbaukosten, festgestellt werden. Entscheidende Faktoren waren hierbei die optimierten vorbereiteten Maßnahmen zur Montage für die Wand- und Deckenelemente inkl. der optimierten Logistikkette und die Erfahrungen der ausführenden Firma bei der (Re)Montage.

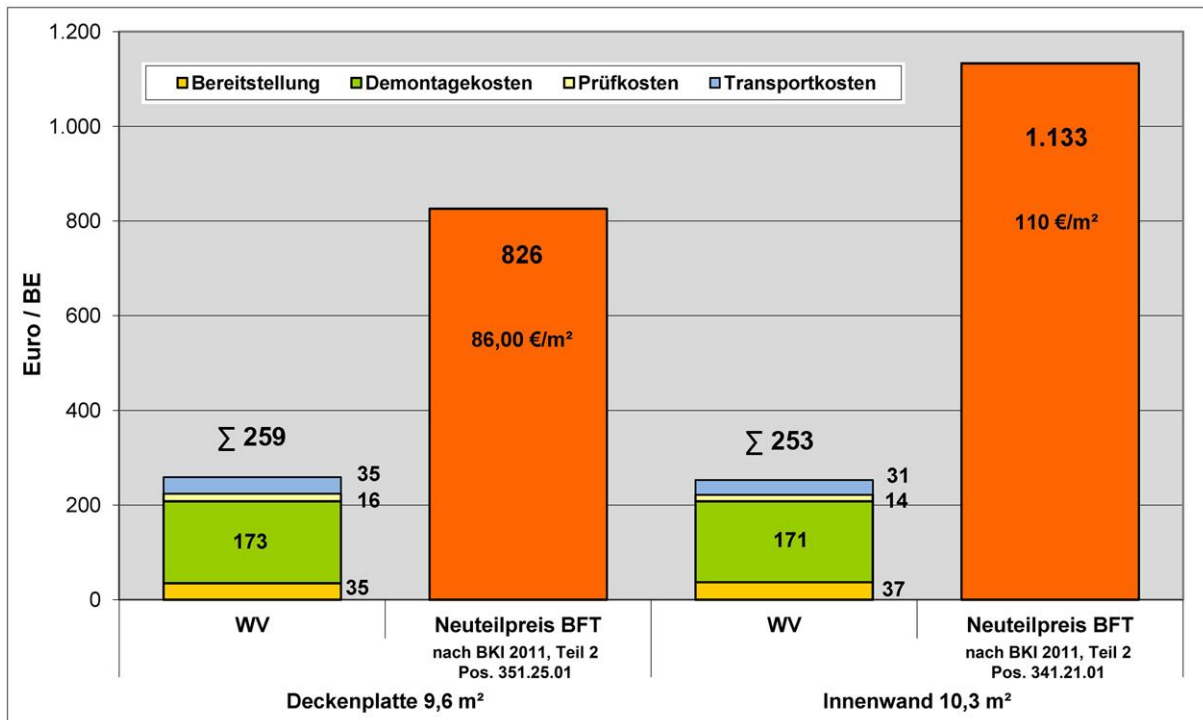
Bei der ökonomischen Bewertung des Wiedereinsatzes der Betonelemente in einer Rohbaukonstruktion spielen insbesondere die Wahl der alternativ in Betracht kommenden, konventionellen Baumaterialien bzw. -teile, z.B. Mauerwerk, Ortbeton, Betonfertigteile, eine sehr wichtige Rolle. Die im Vergleich höheren Bereitstellungs-/Materialkosten bspw. für Mauerwerk konnten insbesondere durch die schnelle Montage der Betonelemente und den Wegfall von Putzarbeiten unterboten werden.

Eine andere Betrachtungsweise ist der direkte Vergleich gleichwertiger Bauteile. So wird ein Altbetonbauteil einem neuen Betonfertigteile (BFT) gegenübergestellt. Für das Altbetonfertigteile werden dabei anteilig die Bereitstellungs-, Demontagekosten-, Prüf- und Transportkosten angesetzt²². Für das neue Betonfertigteile werden Kostenkennwerte (brutto inkl. MwSt. 19 %), hier nach BKI [BKI, 2011], zugrunde gelegt. Wie in Abbildung 32 dargestellt, betragen demnach die Kosten einer hier beispielhaft aufgeführten gebrauchten Deckenplatte nur etwa 31 %, die eines gebrauchten Innenwandfertigteils etwa 23 % der vergleichsweise angesetzten neuen Betonfertigteile.

²¹ Kamilit: Handelsname für einen Wärmedämmstoff aus künstlichen Mineralfasern (KMF) der DDR-Produktion.

²² Anteilige Kosten wurden durch die Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus - Senftenberg auf Basis der langjährigen wissenschaftlichen Begleituntersuchungen ermittelt.

Abbildung 32: Kostenvergleich gebrauchte Stahlbetonfertigteile und Neuteilpreise Stahlbetonfertigteile



[Mettke]

Dem Produktrecycling (Wieder- und Weiterverwendung) kommt bei der Erfüllung der Ziele der Nachhaltigkeitspolitik, natürliche Ressourcen zu schonen, eine herausragende Bedeutung zu. Die Wertschöpfung bleibt erhalten und somit sind die eingesetzten Stoffe (Materialien und Energie) weitgehend oder vollständig ausnutzbar. Energie- und Rohstoffeinsparungen ergeben sich aus der Substitution für neu herzustellende Betonbauteile. Anhand des Indikators MIPS (Materialinput pro Serviceeinheit) wurde ermittelt, dass für 1 Tonne Betonfertigteile der ökologische Rucksack das 6-fache beträgt. D.h. für 1 Tonne Betonprodukt müssen 6 Tonnen Rohstoffe bereitgestellt werden. [Mettke, 2009a, S. 235]

Das MIPS-Konzept erlaubt eine grobe Abschätzung des Gesamtpotenzials der Umweltbelastung und gilt als Indikator für die Ressourcen- und Energieintensität eines Produktes oder einer Dienstleistung. Hierbei werden alle Ressourcenaufwendungen (Inputs) von der anfänglichen Rohstoffgewinnung zur Herstellung eines Produktes oder Dienstleistung, über die Nutzung, bis zum Recycling und/oder Entsorgung berücksichtigt.

Für die Stahlbetonfertigteile werden vergleichsweise die Werte für neue Betonfertigteile (Beton, Stahl) herangezogen. In nachstehender Tabelle 4 sind die einzelnen Materialintensitäten als Verrechnungsfaktoren für die Materialien Beton und Stahl dargestellt.

Tabelle 4: Daten zur Materialintensität (MIT) und Ressourcenverbrauch von Beton und Stahl²³

	Materialintensitäten					
	abiotische Ressourcen	Biotische Ressourcen	Wasser	Luft	Bodenbewegungen	Ressourcenverbrauch [t/t]
Beton	1,33	0	3,4	0,044	0	4,77
Stahl	8,14	0	63,7	0,044	0	72,28

Dabei ist zu erkennen, dass Stahl in der Herstellung bis zum Recycling/zur Entsorgung die meisten Energien und Ressourcen zehrt.

Bezogen auf die beiden beispielhaft voran aufgeführten Betonbauteile (Typenserie P2) können folgende Materialintensitäten je Betonelement errechnet werden, siehe Tabelle 5.

Tabelle 5: Materialintensitäten von Beton und Stahl sowie je Betonelement²⁴

Element	Abmaße [mm]	Masse Element [t]	Masse [t]		MIPS [t/t]		MIPS je BE [t/BE]		MIPS [t/BE]
			Beton	Stahl	Beton	Stahl	Beton	Stahl	
DP	5.970 x 1.785 x 140	3,536	3,471	0,066	4,77	72,28	17	5	22
IW	3.580 x 2.635 x 150	3,157	3,145	0,012	4,77	72,28	15	1	16

[ebenda]

Durch eine Wieder- u./o. Weiterverwendung von den hier zwei beispielhaft aufgeführten Betonelementen lassen sich hochgerechnet rund. 16 t/BE (Innenwand) bzw. 22 t/BE (Deckenplatte) an natürlichen Ressourcen einsparen.

Im Rahmen der Wieder- u./o. Weiterverwendung von gebrauchten Betonelementen bildet der Nachhaltigkeitsindikator KEA (Kumulierter Energie-Aufwand) eine weitere Möglichkeit für die ökologische Bewertung. Erfasst wird die Summe aller primärenergetischen Aufwendungen eines Produktes oder einer Dienstleistung von der Herstellung (KEA_H), über die Nutzung (KEA_N), bis hin zur Beseitigung/Entsorgung (KEA_E). Als Bezugsquelle wird dabei auf die Ergebnisse der Ganzheitlichen Bilanzierung von Baustoffen (GaBIE)²⁵ der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. zurückgegriffen.

Hierbei wird der Kumulierte Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H) neuer bewehrter Betonfertigteile (ab Werk) in Bezug auf die beiden beispielhaft benannten Altbetonfertigteile vergleichsweise angesetzt.

Der Primärenergiebedarf für die Herstellung eines neuen Betonfertigteils liegt nach GaBIE bei 2.318 MJ_{prim}/t. Für das hier betrachtete Deckenelement bedeutet dies bei einer Masse von rund 3,5 t ein Energieaufwand von rund 8.000 MJ, für die Stahlbetoninnenwand mit rund 3,1 t ein Energieaufwand von etwa 7.200 MJ.

Vergleichsweise verbraucht ein 3-Personen-Haushalt durchschnittlich 3.900 kWh (14.040 MJ) pro Jahr.

²³ MIT-Wertetabelle (Materialintensitäten von Materialien und Energieträgern im Überblick, Version 2, 28.10.2003), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH <http://www.wupperinst.org>, aufgerufen im Juni 2013.

²⁴ ebenda.; Ausführungsunterlagen P2 5- und 8-geschossig (1973-1981). Elementedatenblätter.

²⁵ Angaben zu KEA [MJ] entnommen aus: GaBIE - Ergebnisse zur Ganzheitlichen Bilanzierung von Baustoffen, <http://www.ffe.de/images/stories/Berichte/Gabie/baustoff.htm>, aufgerufen 08.2013

Auf bspw. nur ein Deckenelement bezogen, wird eine Energiemenge benötigt, die ein 3-Personen-Haushalt in etwa einem halben Jahr verbraucht.²⁶ Anders ausgedrückt, müssten für die Erzeugung von 8.000 MJ/Deckenelement ca. 270 kg Steinkohle, 900 kg Braunkohle oder ca. 220 l Heizöl eingesetzt werden (Ansatz Heizwerte 8,1 kWh/kg Steinkohle, 2,4 kWh/kg Rohbraunkohle bzw. 10 kWh/l Heizöl).

Die o.a. Ergebnisse verdeutlichen eindrucksvoll, welche enormen Ressourceneinsparpotenziale in der Wieder- u./o. Weiterverwendung von Betonelementen, selbst für untergeordnete Zwecke, liegen.

Außerdem trägt das Bauteilrecycling dem Vermeidungsgedanken von Bauabfällen gemäß § 6 (1) KrWG²⁷ Rechnung (höchste Priorität). D.h., der Entstehung von Bauabfall kann bei Erfüllung der Vorgaben nach KrWG entgegen gewirkt und Energie- sowie Stoffflüsse können reduziert werden.

6.1.6 Hemmnisse

Die Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen in Gänze ist vor allem eine organisatorische Herausforderung.

Obwohl eine Vielzahl an Dokumentationen, Forschungsberichten und Handlungshinweisen explizit zum Rückbau industrieller errichteter Bausubstanz Ostdeutschlands sowie zu geeigneten Nachnutzungsoptionen für Stahlbetonelemente in den vergangenen Jahren erarbeitet wurden und die Praxisrelevanz durchweg nachweisbar ist, bestehen weiterhin Hemmnisse und Akzeptanzprobleme.

Im Zuge wissenschaftlicher Begleituntersuchungen zur Wieder- u./o. Weiterverwendung und dem fachlichen Austausch mit Planern und Bauherren haben sich nachfolgend dargestellte Probleme/Hemmnisse herausgestellt, diese wären:

- gegenwärtige Fördermittelbereitstellung aus „Stadtumbau Ost“ (Forcierung des Abbruchs anstatt des bauelementeorientierten Rückbaus) - Wertevernichtung statt Werterhaltung-bzw. fehlende Förderanreize für Entscheidungen zum krangeführten Rückbau und einer hochwertigen Nachnutzung,
- Unkenntnis zur generellen Option der Wieder- und Weiterverwendung,
- Akzeptanz-/Imageprobleme von (gebrauchten) Betonelementen als gleichwertiges Bauteil zu Neubauteilen bzw. Neubaumaterialien,
- fehlende Kenntnisse zu eindeutigen Vorteilen des Produktrecyclings im Vergleich zum Materialrecycling (trifft auf alle beteiligten Akteure zu),
- Unkenntnis, wo und wann, wie viele BE anfallen?/Problem der Bauteilerfassung und -weitergabe; kein funktionierendes Netzwerk unter Berücksichtigung der „Handling“-Komplexität aus bauteilbezogenen Parametern (Größe, Gewicht, konstruktive Besonderheiten etc.), (Zwischen-) Lagerung außerhalb der Baustelle nicht effizient gelöst,
- Wettbewerber /Hersteller neuer Betonfertigteile wie auch RC-Unternehmen (Erzeugung hochwertigen Betonbruchs) sind per se gegen eine Betonbauteilwiederverwendung,
- rechtliche Aspekte: Aufwand zur Genehmigung des Wiedereinsatzes von BE hoch (i.d.R. Zustimmung im Einzelfall), offene Haftungs-/ Gewährleistungsfragen,

²⁶ 1 kWh = 3,6 MJ; Durchschnittlicher Stromverbrauch 3-Personen-Haushalt: 3.900 kWh/a bzw. 14.040 MJ/a;

ca.8.000 MJ sind ca.2.200 kWh; <http://www.stromtipps.net/stromverbrauch/sparpotentiale> , aufgerufen im Juli 2013

²⁷ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

- fehlende Kommunikation beteiligter Akteure,
- wirtschaftlicher Anreiz nicht groß genug für Bauherren,
- kein Vorteil durch verminderte Umweltauswirkungen.

Bezüglich des ersten Unterpunktes bei den o.a. Hemmnissen besteht dringlichste Korrektur staatlicher Fördermodalitäten für Bauherren, zinsgünstige Kredite beantragen zu können: Der Erwerb von gebrauchten Betonbauteilen und die Lagerung dieser auf einem Zwischenlager darf nicht als bereits begonnener bzw. als vorzeitiger Baumaßnahmenbeginn resp. als Nachfinanzierung von Fördermitteln gewertet werden. Eine Zwischenlagerung ist immer unerlässlich, weil der Zeitpunkt der Teilrückbaumaßnahme bzw. des Anfalls an Bauelementen i.d.R. nie mit dem Zeitpunkt des Neubauvorhabens übereinstimmt - abgesehen vom Idealfall: Rückbaubaustelle ist gleich Neubaubaubastelle. Wissenschaftliche Begleituntersuchungen der BTU zeigten jedoch, dass selbst Wiederverwendungen am Standort (Demontagebaustelle ist gleich (Re-) Montagebaustelle) Zwischenlagerungen erfordern, da sich die Reihenfolge der Rückgewinnung / des Anfalls an Betonelementen nicht mit der Montagereihenfolge des neuen Bauvorhabens deckt.

Eine Beibehaltung der bisherigen Fördermodalitäten konterkariert gänzlich den Wiederverwendungsgedanken bzw. führt das begonnene ressourcen- und energieeffiziente Bauen mit wiederverwendungsgeeigneten Bauelementen ins ad Absurdum. Zudem widerspricht diese Vorgehensweise generell dem Umweltschutzgedanken, so wie es bspw. im Programm ProgRess der Bundesrepublik gefordert wird.

Als ein weiteres Problem stellt sich in der Praxis dar, dass es z.T. schwierig ist, insbesondere Daten zu den Betonbauteilen (statische Kennwerte, Bauteilspezifika), bspw. als Datenblätter, zu erhalten. Anfragen von Planern haben dies bestätigt. Im Zuge der Genehmigungsplanung (Statik) muss auf diese im Einzelfall zurückgegriffen werden, sofern nicht ein Konformitätsnachweis aus vergleichbaren Gebäuden bzw. ein Tragfähigkeitsnachweis/-gutachten vorliegt.

Obwohl es zu jedem Typenprojekt der industriellen Bauweisen der DDR Projektierungsunterlagen gab, sind entweder keine oder nur vereinzelt Unterlagen vorhanden. Oftmals sind in den Wirren der Nachwendezeit, durch Auflösung der Strukturen im Bausektor oder Umstrukturierungen, Unterlagen vernichtet (z.T. in Unwissenheit der Relevanz) oder unkontrolliert in „Hände“ gelangt, die heute daraus Kapital schlagen.

Für Wiederverwendungsoptionen von Stahlbetonbauteilen aus dem Baubestand der ehemaligen BRD sowie vor Einführung der digitalen Medien nach 1990 liegen aus Sicht der Verfasser bisher keine verwertbaren Ergebnisse zur Wieder- u./o. Weiterverwendung in einem relevanten Ausmaß vor. Es gibt zwar statistische Daten zur Bautätigkeit und zu eingesetzten Materialien, aber keine genaue Differenzierung nach Konstruktionen, z.B. Fertigteilbauweise.

Für die in Westdeutschlandpotenziell beim Abbruch/Rückbau anfallenden Stahlbetonelemente ist es aus jetzigem Kenntnisstand schwer, eine Systematisierung bzw. Typisierung vorzunehmen. Aufgrund der Vielzahl an Anbietern/Herstellern wäre eine generelle Katalogisierung der Stahlbetonfertigteile erforderlich. Dies stellt sich als zeit- und kostenintensiv dar, da mit jetzigem Kenntnisstand davon auszugehen ist, dass immer eine Vorortaufnahme notwendig sein wird, um den Umfang und die Rückbaufähigkeit potenzieller Betonbauteile aus diesen Gebäuden einschätzen zu können. Daran anschließend sind die Fragen zur Qualität bzw. zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit der Betonbauteile zu beantworten. Erst dann kann eine Wieder-/Weiterverwendungseignung ausgewählter Betonbauteile beurteilt werden. Anhand einer Marktanalyse ist außerdem der Bedarf zur Nachnutzung zu ermitteln.

6.1.7 Handlungsempfehlungen

Als Handlungsempfehlungen für eine Wieder- u./o. Weiterverwendung von Stahlbetonfertigteilen werden gesehen:

- Verbesserung der baurechtlichen Rahmenbedingungen, um gebrauchte Betonelemente wieder- oder weiterverwenden zu können; Aufnahme in Bauregelliste A; als Grundlage hierfür kann z.B. das „Merkblatt Fertigteile“ des Landes Brandenburg [LBV, 2012] herangezogen werden,
- Schaffung von staatlichen Förderanreizen durch bspw. differenzierte Förderhöhen für den selektiven Rückbau im Vergleich zum klassischen Abbruch,
- Veränderung vorhandener staatlicher Fördermodalitäten: der Erwerb von gebrauchten Betonbauteilen darf nicht vor Beantragung von Fördermitteln als vorzeitiger Baumaßnahmenbeginn bewertet werden,
- Verbesserung der logistischen Prozesse im Hinblick auf eine optimale Vermarktung der gebrauchten BE (z.B. Einrichtung von Zwischenlagern, Etablierung der durch die Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus-Senftenberg initiierten Internetplattform/webbasierte BE-Börse (Unterstützung des Angebots- und Nachfragesystems),
- Entwicklung und Weiterführung von Wiederverwendungsprojekten, z.B. für Bauten im Katastrophenschutz,
- Schaffung von anwendungsorientierten Handlungsanleitungen für Wieder- und Weiterverwendungen (adäquat: Rahmentechnologie für Demontagen), Empfehlung für den Gebäudeneubau: Anwendung und Nutzung von Merkblättern/Planungshinweisen zum Bauen mit Stahlbetonfertigteilen von Fachvereinigungen und -verbänden, z.B. der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. [FDB, 2013], dort wird z.T. auf die Umnutzbarkeit, das Recycling sowie auf Wiederverwendungsaspekte eingegangen,
- Erarbeitung einer Software zur Bemessung der Rentabilität (Kosten-Nutzwelkenrechnung), Darstellung der „Systemgrenzen“ Rentabilität und Machbarkeit (lokale bzw. überregionale Bedeutung),
- Weiterentwicklung der Anwendungsbereiche.

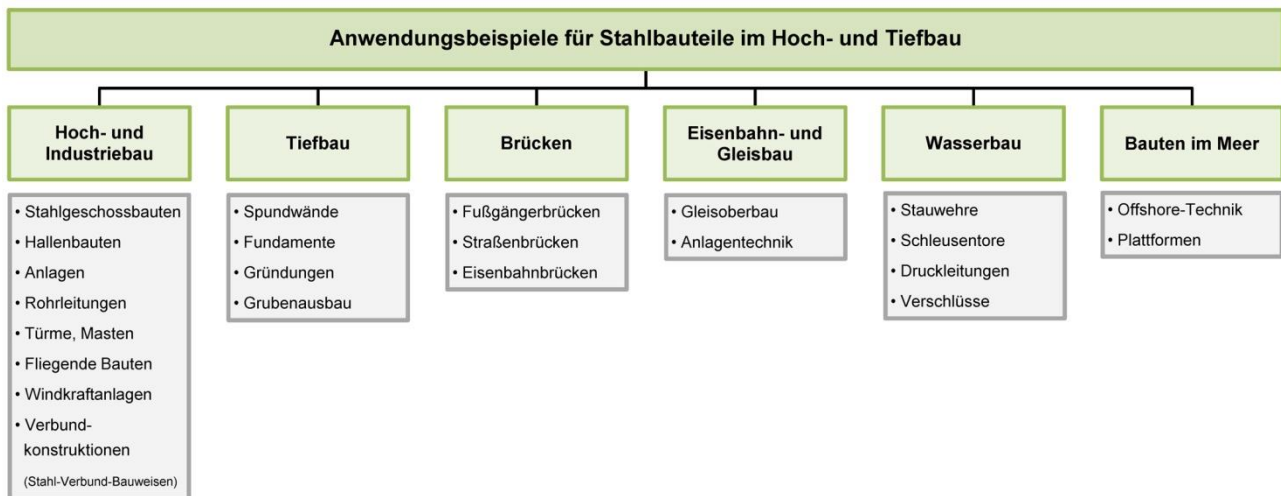
6.2 Stahlbauteile

6.2.1 Ausgangssituation

Das Bauen mit Eisen- bzw. Stahlbauteilen basiert auf einer etwa 200 jährigen Tradition und umfasst eine Vielzahl von Gebäuden und baulichen Anlagen im Hoch- und Tiefbau.

Industrie- und Gewerbebauten, Bahnhöfe, Ausstellungsgebäude, Flughäfen, Büro- und Kaufhäuser, Hochhäuser und Brücken prägen das allgemeine Bild zur Verwendung von Stahl in der Architektur und dem konstruktiven Ingenieurbau. Weitere Anwendungen findet Stahl bei Sportstätten, Garagen, Wohnhäusern, Sanierungen, Um- und Ausbauten, Dachausbauten und bei der Fassadengestaltung, aber auch im Wasserbau, beim Bau von Windkraftanlagen sowie bei Bauten im Meer (siehe Abbildung 33).

Abbildung 33: Anwendungsgebiete von Stahlbauteilen im Hoch- und Tiefbau



[Asmus]

Nicht unbedeutend sind auch Verbundkonstruktionen/-bauweisen mit anderen Materialien, insbesondere in Kombination mit Beton, welche sich in den letzten Jahrzehnten zu eigenständigen Bauweisen entwickelt haben.

Stahlbauteile können entweder innerhalb eines Konstruktionsverbundes wie auch als Einzelbauteile zur Anwendung kommen. Zu unterscheiden ist bspw. in:

- Skelett- und Fachwerkkonstruktionen, Verbände, (Rahmen)Tragwerke (Stützen, Riegel, Träger, Zugstäbe als Zuglaschen und Zuganker usw.),
- Stahl-Verbundbau/Stahl-Verbundkonstruktionen (als eigenständige Bauweisen),
- Einzelbauteile.

Der Stahlbauanteil im Bauwesen in Deutschland hat sich in den letzten Jahren wie folgt entwickelt: Den Zahlen des Statistischen Bundesamtes zufolge wurden im Jahr 2011 bundesweit 28.473 Nichtwohngebäude unter überwiegender Verwendung des Baustoffs Stahl fertiggestellt [Statistisches Bundesamt, 2012]. Der relative Anteil an Nichtwohngebäuden betrug hier mit 6.372 Einheiten 22,4 %. Im Bundesdurchschnitt stieg die Stahlbauquote bei Nichtwohngebäuden seit 2000 kontinuierlich von 19,6 % bis zum jetzigen Wert an.

Von den 6.372 Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden nehmen Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude mit 4.132 Einheiten (64,8 %) sowie Landwirtschaftliche Gebäude mit 1.893 Einheiten (29,7 %) den Großteil der in Stahlbauweise errichteten Bauten ein. Auf die Nichtlandwirtschaftlichen Gebäuden entfallen 2.590 Handels- und Lagergebäude und 1.083 Fabrik- und Werkstattgebäude. Der Anteil an Büro- und Verwaltungsgebäuden liegt mit 119 Bauten bei 1,9 %.

Die Errichtung von Wohngebäuden aus überwiegend Stahl spielt zahlenmäßig eine sehr untergeordnete Rolle, im Jahr 2011 sind nur 8 Baufertigstellungen aufgeführt. Dies schließt aber nicht aus, dass auch bei Wohngebäuden einzelne Stahlbauteile, z.B. für Deckenträger, verbaut wurden.

In der Praxis existieren unterschiedliche Einteilungen nach Produktgruppen für Stahlerzeugnisse. Stahlbau-firmen, Planer wie auch die ausführenden Firmen unterscheiden allgemein in Profil- und Blechkonstruktionen und verwenden unterschiedliche Bezeichnungen:

- Formstahl,
- Stabstahl,
- Hohlprofile,
- Flacherzeugnisse,
- dünnwandige Kaltprofile.

Orientiert man sich an einer genormten Einteilung für Stahlbauteile/-erzeugnisse für den Einsatz im Bauwesen, so ergeben sich gemäß der DIN EN 10079:2007-06²⁸ folgende Kategorien für kalt- und warmgewalzte Produkte:

- Langerzeugnisse (I-, U- und H-Profile, Winkel-, Rund- und Flachstähle, Hohlprofile, Gussstücke, Gleisoberbau- und Spundwunderzeugnisse und Grubenausbauprofile),
- Flacherzeugnisse (Breitflachstähle, Bleche, Bandstähle).

Eine genauere Übersicht zu den wichtigsten Profilen und dem Verwendungszweck gibt Kapitel 14.2.

Generell umfassen I-, U- und H-förmige Stahlbauteile die wichtigste Gruppe der warmgewalzten Stahlprofile mit Höhen ≥ 80 mm. Anwendung finden diese v.a. als Stützen und Träger. Je nach Beanspruchung und Anwendungszweck sind diese verschieden ausgeführt.

Darüber hinaus gibt es noch Spezialstäbe (warmgewalzt, mit besonderer Querschnittsform wie z.B. Trapez-, Dreieck-, Halbrund- und Flachrundstäbe) sowie Stahldrähte. V.a. in älteren Konstruktionen oder Sonderkonstruktionen wurden/werden geschmiedete Stäbe und Flachstähle verwendet.

Mit Bezug auf heutige Anwendungsgebiete für Stahlbauteile spielen zusammengesetzte Erzeugnisse wie z.B. Sandwichbleche/-elemente (2 Bleche mit isolierender Zwischenschicht) eine weitere Rolle.

Weiterer Bedeutung kommt dem gerippten bzw. profilierten Beton- oder Spannstahl zu. Diese werden in diesem Kapitel jedoch nicht weiter betrachtet, da der Betonstahl im Zuge des Abbruchs bzw. der Aufbereitung vom Beton maschinell getrennt und direkt der stofflichen Verwertung zugeführt wird.

Abhängig vom Einsatzzweck unterscheidet man gemäß der DIN EN 10020:2000-07²⁹ Stähle nach der chemischen Zusammensetzung in unlegierte und legierte Stähle. Für den Stahlbau im Bauwesen wichtige Stähle gehören den unlegierten Stählen an, welche nochmals in die Hauptgüteklassen Grundstähle (B), Qualitätsstähle (Q) und Edelstähle (S) unterteilt sind. Nichtrostende Stähle sind hingegen den legierten Stählen zuzuordnen.

6.2.2 Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Stahlbauteilen

Die Anforderungen, welche an für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung ausgewählte Stahlbauteile gestellt werden, unterscheiden sich nicht von denen an neue Stahlbauteile. Hierzu gehört, dass für die Beurteilung und Einschätzung der Gebrauchseigenschaften zusätzliche Faktoren, welche mit der Konstruktion, dem Gebrauch/der Nutzung in Zusammenhang stehen, beachtet werden müssen. Die Eignung der Stahlbauteile als Ganzes oder in Teilen des Ganzen ist ggf. durch einen Fachkundigen bzw. Statiker zu beurteilen.

Nachfolgend aufgeführte Anforderungen/Faktoren stellen Kriterien dar für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Stahlbauteilen. Es sind bauteilbezogene Parameter, Kriterien für die Demontage (Rückbau),

²⁸ DIN EN 10079:2007-06 Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse. Deutsche Fassung EN 10079:2007.

²⁹ DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000.

Aspekte einer etwaigen Aufarbeitung, einer Prüfung und zur Logistik und dem Handling sowie rechtlichen Aspekte zu unterscheiden:

a) Bauteilbezogene Anforderungen/Faktoren (Produktqualität):

- Abmessungen/Geometrie und Gewicht des/der Bauteile(s),
- Gebrauchstauglichkeit/Maßhaltigkeit (sichtbare Durchbiegung, Verformung etc.),
Bauzustand, Bauteil- bzw. Oberflächenbeschaffenheit/optischer Zustand/mögliche (mechanische) Beschädigungen/Mängel (z.B. Schadstellen infolge mechanischer Einwirkungen, Perforierungen durch Verbindungsmittel etc.), Korrosion,
- konstruktive Parameter (Tragfähigkeit, Statik, Stabilität),
- Anstriche/Beschichtungen, (z.B. Brandschutz, Korrosionsschutz, Optik),

b) Anforderungen an die Demontage/den Rückbau (Qualitätssicherung) und Lagerung:

- Einbausituation der/des Stahlbauteile(s), Art und Ausführung der Bauteilverbindungen (Auslösbarkeit der Einzelteile),
- Bewertung Ausbau- bzw. Rückbaubarkeit, Demontageumfang,
- Ausbaukonzept, Geräteauswahl,
- zerstörungsfreier bzw. -armer Ausbau-Knowhow beim Ausbau,
- Zeitaufwand für den sorgfältigen, zerstörungsfreien Rückbau einplanen,
- Handling und Lagerung der Stahlbauteile,

c) Aufarbeitung, Prüfung und Logistik:

- Prüfung (Tragfähigkeit, Statik, Stabilität) zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit ggf. durch einen Fachkundigen bzw. Statiker,
- Lagerungsaufwand, -dauer und -kosten,
- Logistik, Handling Transport wirtschaftlicher Erlös,
- Aufwand für Aufarbeitung, Reinigung, z.B. Strahlen, Schleifen, Aufbringen von Korrosionsschutz,
- ggf. Nutzerinteressen.

d) Rechtliche Aspekte:

- Berücksichtigung geltender Normen, Vorschriften und sonstiger rechtlicher Grundlagen (Produkt- und Anwendungsnormen, Anwendungsbeschränkungen etc.),
- Merkblätter und Richtlinien.

6.2.3 Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Stahlbauteilen

Stahlbauteile fallen beim Abbruch/Rückbau von Bauwerken, baulichen Anlagen und Bauwerksteilen in relevantem Umfang an. Nach Lebensende bzw. Umnutzung dieser gibt es generell zwei Möglichkeiten der Nachnutzung für Stahlbauteile:

- Selektive(r) Demontage/Rückbau mit Optionen einer Wieder- bzw. Weiterverwendung von Bauteilen in Gänze durch zerstörungsfreies bzw. -armes Herauslösen kraftschlüssiger Verbindungen aus dem Konstruktionsverbund,
- Erfassen/Sammeln von Eisen-/Stahlbauteilen /-schrott mit dem Ziel einer Wiederverwertung, d.h.

Rückführung in den Werkstoffkreislauf (Einschmelzen und Herstellung neuer Produkte).

In der Praxis separieren die Abbruch-/Rückbauunternehmen in der Regel selbst geeignete/gebrauchstaugliche Stahlbauteile und lagern diese zwischen für eine z.T. eigene Weiternutzung bzw. Weitergabe. Diese Verfahrensweise findet auch im „kleineren Maßstab“ statt - selbst der (kleine) private Bauherr ist bestrebt, geeignete Stahlbauteile bei eigenen Bauvorhaben, sei es nur ein Tür- bzw. Fenstersturzelement oder Deckenprofilstahl, für eine etwaige „Zweitnutzung“ zurückzulegen.

Ausgebaute / demontierte Stahlbauteile, insbesondere Grobbleche und Stahlprofile (bspw. Stahlträger), lassen sich für einen ähnlichen oder auch anderen (untergeordneten) Verwendungszweck, auch losgelöst vom ursprünglichen Einsatzbereich, wieder einbauen. Gerade die konstruktiven Elemente oder auch Fassadenverkleidungen können problemlos wiederverwendet werden, so z.B. im landwirtschaftlichen Bereich. Insbesondere einfache Profilträger können im selben oder in einem anderen Bauprojekt bei Umbauarbeiten, z.B. als Unterzüge, Türstürze, Mauerabfangungen oder sonstige Zwecke auf der Baustelle verwendet werden. Sind dabei die ausgewählten Profile deutlich überdimensioniert, kann im Einzelfall sogar eine detaillierte statische Prüfung entfallen.

Das Prinzip, Stahlkonstruktionen so zu planen, dass diese ab-/rückgebaut und an anderer Stelle wieder errichtet werden können, ist nicht neu. Einige Praxisbeispiele in den vergangenen Jahrzehnten haben gezeigt, dass bspw. Hallenkonstruktionen oder ganze Produktionsanlagen oder Teile davon demontiert und an anderen Standorten wieder aufgebaut wurden.

Als Anwendungsfall kann das Beispiel der Christ Pavillon (gmp - Gerkan, Marg und Partner), EXPO 2000 in Hannover, benannt werden. Die Konstruktionsbauteile des Ursprungsgebäudes wurden demontiert und wiederverwendet für den Bau einer Kirche (Klostererweiterung in Volkenroda) sowie für einen neuen Laborbau an der RWTH Aachen).

Die Vorteile einer Wiederverwendung von Stahlkonstruktionen werden bei einem anderen Beispiel umso deutlicher: Demontierbare Parkkonstruktionen als temporäre Strukturen. So wurde ein Parkhaus des alten, 1972 erbauten Flughafens München demontiert und in zwei Teilen wieder neu errichtet, 1995 in Neuss und 1996 in Groß-Gerau.

Neueste Nachnutzungsoptionen einer Wiederverwendung erfolgen im Zuge des Repowering bei Windkraftanlagen. Hierbei erfolgt die Wiederverwendung von Turmbauteilen (Stahlrohrturm, Gittermastturm).

6.2.4 Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung

Generell gilt, Stahlbauteile können, sofern nichts der gewünschten/geforderten Gebrauchstauglichkeit entgegensteht, nach Demontage/Rückbau in anderen Bauwerken, im gleichen Bauwerk oder für einen anderen Einsatzzweck wieder-/wiederverwendet werden. Ggf. ist eine Aufarbeitung notwendig.

Da nicht alle Fe- bzw. Stahlbauteile nach Abbruch/Rückbau für eine sekundäre Verwendung als Bauteil in Gänze in Frage kommen, lassen sich bei einer Wiederverwertung als Baustoff die Konstruktions- wie auch Ausbaubauteile aus Fe- und Stahl durch Zerschneiden in transportable Einheiten zerlegen bzw. werden analog den anderen Metallen während bzw. nach dem Abbruch/Rückbau separiert und der weiteren Verwertungskette zugeführt.

Stahlbauteile als Konstruktionselemente sind im Regelfall im Gebäude bzw. baulichen Anlage zum einen als vorgefertigte, vorab transportable Einheiten eingebaut vorzufinden und überwiegend mit Schraubenverbindungen montiert. Letztere begünstigen zudem einen einfachen Rückbau analog der Montage. Selbst verschweißte/im Verbund eingebaute Stahlbauteile lassen sich durch geeignete Trennverfahren (z.B. Brennschneiden) aus dem Verbund lösen, so dass sich entweder geeignete Bauteile zur Wieder-/Weiterverwendung gewinnen lassen oder die Konstruktionsteile in transportable Einheiten der Verwertung zugeführt werden. In diesem Zusammenhang gilt es zu prüfen, inwiefern die ausgewählten Stahlbau-

teile schweißbar sind oder nicht. Daraus abgeleitet müssen ggf. Anwendungsfälle im Zuge der Wieder-/Weiterverwendung einschränkt bzw. auch ausgeschlossen werden.

Andererseits fallen beim Rückbau auch anderen Lieferformen/Bauarten für (Bau)Stahl an (siehe Kapitel 14.2), welche wiederum für eine Wieder- oder auch Weiterverwendung nutzbar sind.

In Bezug auf eine Wieder- bzw. Weiterverwendung gilt es die Vorteile des Bauens mit Stahl zu nutzen, die bspw. wären:

- hohe Materialfestigkeit (kleine Querschnittsabmessungen oder geringe Bauhöhe möglich),
- hochwertige und in gleichmäßiger Güte gewährleistete Eigenschaften des Werkstoffs,
- Stahlbauteile sind selbst tragfähig,
- geringe Eigenlast (relevant bei großen Spannweiten),
- Nutzungsflexibilität,
- Vorfertigung mit hoher Genauigkeit,
- kurze (witterungsunabhängige) Montagezeiten vorgefertigter Bauteile mit einfachen Verbindungsmitteln,
- kleine Montagelasten,
- Verstärkung und Veränderung durch Schweißen nachträglich möglich,
- einfache Demontage/Montage (Einsatz von Hebezeugen -/ mitteln).

Die Überlegungen für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung orientieren sich analog an den Kriterien des ehemaligen Primäreinsatzes von Stahlbauteilen. Generell beachtet werden sollten dabei bspw. in erster Linie die vorgesehene Nach- bzw. Weiternutzung und die örtlichen Randbedingungen. Ferner sind allgemeine Aussagen zu treffen, welche zusammenfassend in Abbildung 34 dargestellt sind.

Abbildung 34: Auswahl-/Entscheidungskriterien zur Wieder-/Weiterverwendung von Stahlbauteilen



[Asmus]

Sofern Stahlbauteile für konstruktive Zwecke wiederverwendet werden sollen, so sind im Regelfall ein statischer Nachweis und ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis notwendig. Ein Statiker/Ingenieurbüro ist heranzuziehen.

Da mittlerweile verbaute Stahlbauteile schon seit Jahrzehnten einer Normung unterliegen, können bei Bedarf für die gebräuchlichen Stahlerzeugnisse und die für die Konstruktion/den Konstruktionsverbund und statische Berechnungen notwendigen Kennwerte aus Profiltafeln (z.B. Schneider-Bautabellen) herangezogen werden.

Falls überhaupt nötig, können weiterführend entsprechende Stahlbau-Grundnormen/DIN-Normen sowie auch EURONORM und ggf. Eurocode in ihren aktuellen Fassungen oder auch Werksnormen der Hersteller für die genauen Bezeichnungen eine Hilfestellung geben.

6.2.5 Ökonomische und ökologische Vorteile

Stahl ist ohne Qualitätseinbußen nahezu 100 % recyclingfähig, besitzt eine hohe Werthaltigkeit/-beständigkeit und wird daher nicht verbraucht, sondern stets nach Lebensende neu genutzt. Eine, wie bei anderen anfallenden Baustoffen beim Abbruch/Rückbau anstehende Entsorgungsproblematik im eigentlichen Sinne gibt es für Stahlbauteile nicht.

Bei einer Wiederverwertung kann Stahl ohne Qualitätsverlust oder sogar unter Verbesserung seiner Qualitätseigenschaften beim Einschmelzen unendlich oft recycelt werden.

Gemäß der Aussagen der „Umwelt-Produktdeklaration Baustähle“ vom Oktober 2010 wird bei Stahlbauteilen (Grobbleche und Stahlprofile) eine Wiederverwendungsrate von rd. 11 % und eine Recyclingrate von 88 % erreicht. Somit beträgt die Erfassungsrate 99 % und nur 1 % geht verloren [IBU, 2010]. Heute werden in Deutschland rund 45 % des erzeugten Stahls durch Recycling gewonnen - Tendenz steigend.

6.2.6 Hemmnisse

Stahl wird im Kreislauf geführt - die Verwertungsschritte und -wege sind definiert. Bezüglich der Wiederverwertung von Stahl ist davon auszugehen, dass keine nennenswerten Optimierungspotenziale anstehen.

Dennoch, sucht man nach weiterem Optimierungspotenzial, so sind für eine optimale Wiederverwendung/Weiterverwendung geeigneter Stahlbauteile die Akteure in der Beurteilung des Baustoffs Stahl dahingehend zu sensibilisieren, dass diese für Stahl über den reinen Materialwert hinaus auch die Qualitäten als potenzielles Sekundärbaumaterial verinnerlichen und wertschätzen.

Hierzu gehört, dass auch der benötigte Arbeits- und Zeitmehraufwand einer zerstörungsfreien bzw. -armen Demontage mit Blick auf eine Wieder-/Weiterverwendung, sofern technologisch möglich, in den Handlungsschritten bei der Abbruch-/Rückbauplanung und beim Abbruch/Rückbau selbst eine stärkere Berücksichtigung findet.

Zusammengefasst stellen sich für eine Wieder- und Weiterverwendung von Stahlbauteilen folgende grundlegende Hemmnisse dar:

- (hohe) Erlössituation für Stahl /Stahlschrott und direkter Verwertungsweg zum Aufbereiter/Metallhandel verhindert oftmals selektive Rückgewinnung von Stahlbauteilen,
- Zeitfaktor beim Abbruch/Rückbau,
- „Handling“ der Stahlbauteile,
- Logistik/Transport- und Lagerungsaufwand.

6.2.7 Handlungsempfehlungen

In Bezug auf nachhaltige Bauwerke/Bauweisen besitzt Stahl große Verwendungspotenziale und wird in Zukunft weiterhin eine Schlüsselrolle einnehmen.

Bei bestehenden Stahlkonstruktionen bzw. Gebäuden, wo einzelne Stahlbauteile verbaut wurden, die zum Abbruch/Rückbau vorgesehen sind, muss im Einzelfall entschieden werden, mit welchem Rückbaukonzept wieder-/weiterverwendungsfähige Stahlbauteile gewonnen werden können.

In Bezug auf neue Konstruktionen sollte eine spätere Rückbaubarkeit, einfache Demontage der Konstruktionsbauteile bereits bei der Planung des Bauwerks als wichtiges Kriterium einfließen und entsprechende montage- und demontagegerechte Verbindungen/Verbindungstechniken dahingehend konzipiert werden. Dies würde auch eine Umnutzbarkeit von Gebäuden aus Stahlkonstruktionen begünstigen, so dass ggf. kein Komplettrückbau notwendig wird oder auch die Stahlkonstruktionselemente innerhalb der bestehenden Konstruktion erneute Verwendung finden könnten.

Hierzu haben sich in den vergangenen Jahren nicht nur bspw. Bauen mit Stahl e.V., bauforumstahl e.V. und der Deutsche Stahlbauverband DSTV thematisch verständigt und die „Initiative Stahlbau (INS)“ gegründet. Anhand der derzeitigen Kriterien des DGNB-Gütesiegels (ökologische, ökonomische, soziokulturelle und funktionale, technische Qualität, Prozessqualität) arbeiten diese an Leitgedanken zum nachhaltigen Bauen mit Stahl [Hauke, 2009]. Diese Gedanken zum recyclinggerechten Konstruieren gilt es aufzunehmen und anzuwenden.

Als Handlungsempfehlungen für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Stahlbauteilen sind zu nennen:

- Recyclinggerechtes Konstruieren (Montage- und Demontagegerechte Verbindungstechniken) favorisieren/Rückbaubarkeit und v.a. Umnutzbarkeit bei neuen Gebäuden thematisieren,
- Erweiterung des DGNB-Gütesiegels auf Stahlbauteile,

- Gezielte Sensibilisierung der Akteure zu Wieder- und Weiterverwendungsoptionen/Wertschätzung der Qualitäten von Stahl für eine „Sekundärnutzung“.

6.3 Holzbauteile (Konstruktionsholz)

6.3.1 Ausgangssituation

Für die Errichtung von Bauwerken war und ist Holz über Jahrhunderte hinweg bevorzugtes Material, meist kombiniert mit Naturstein, Ziegeln oder ab Beginn des 20. Jahrhunderts auch mit Beton, Stahl und Glas.

Zudem leistet die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs Holz für konstruktive Zwecke (Außen- und Innenwände, Decken etc.) einen wichtigen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen.

Neuentwicklungen im Bauwesen und der Entwicklung neuer Baustoffe und Bau(stoff)technologien wie Beton, Stahl und Sandwich- und Verbundkonstruktionen etc. führten/führen zu Veränderungen des Bedarfs an Holzbauteilen, der konstruktiven Anforderungen und Ausführungen sowie der Anwendungsbereiche für Holzbauteile und Holzwerkstoffe. Dabei hat in den letzten 100 Jahren ein Wandel vom zimmermannsmäßigen Holzbau zum sogenannten Ingenieurholzbau stattgefunden. Zudem übernehmen heutzutage computer-gestützte Produktions- und Prozessabläufe sowie neue Verbindungstechniken eine bedeutende Rolle bei der Herstellung von Konstruktionshölzern ein. Die ehemals über Jahrhunderte prägende und dominante Bauweise mit Holz hat seit den 1980er Jahren eine Renaissance erfahren - verbunden mit einer raschen Entwicklung und vielfältiger Möglichkeiten „neuer“ Holzbaustoffe, -systeme und -techniken. Holzhäuser haben heutzutage einen hohen und anerkannten Qualitätsstandard.

Der Holzbauanteil im Bauwesen in Deutschland hat sich in den letzten Jahren wie folgt entwickelt: Den Zahlen des Statistischen Bundesamtes zufolge betrug der relative Anteil der fertiggestellten Gebäude in Holzbauweise im Jahr 2011 bundesweit bei Wohngebäuden 15 % und bei Nichtwohngebäuden 18,5 %. Im Bundesdurchschnitt stieg die Holzbauquote seit 2000 kontinuierlich, von 11,9 % bei Wohngebäuden und 12,1 % bei Nichtwohngebäuden, bis zu den jetzigen Werten, an [Statistisches Bundesamt, 2012].

Von insgesamt 96.549 Wohngebäuden wurden 2011 14.452 mit Holz errichtet. Der überwiegende Teil davon sind Einfamilienhäuser (13.157 bzw. 91 %) bzw. Gebäude mit 2 Wohnungen (1.134 bzw. 7,8 %). Der Anteil der in Holz in Fertigteilbauweise errichteten Wohngebäude (Fertigteilhäuser) lag bei 80,2 % (11.589). Das heißt konkret, dass elementierte Bauteilgruppen (Außen-, Innenwände, Decken, Dach) bereits in der Fabrik vorgefertigt und auf der Baustelle additiv zusammengesetzt wurden. Jedoch nahm bei letzteren der Anteil seit dem Jahr 2000 (88,3 %) jährlich ab, ist aber dennoch als hoch einzustufen.

Im Jahr 2011 sind bei Nichtwohngebäuden von den 28.473 Baufertigstellungen 5.274 Bauten überwiegend mit dem Baustoff Holz errichtet worden. Den Großteil davon nehmen Landwirtschaftliche Betriebsgebäude (2.658 bzw. 50,4 %), und Handels- und Lagergebäude (1.122 bzw. 21,3 %) ein.

Weitere Informationen zur Holzverwendung im Bausektor sind in „Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz“ [Rüter/Diedrichs, 2012] dargestellt.

Generell lässt sich verwendetes Holz für den Bausektor in zwei Kategorien/Produkte einteilen:

- Vollholzprodukte,
- Holzwerkstoffe.

Zu Vollholzprodukten für konstruktive Zwecke im Bauwesen werden folgende Baustoffe gezählt [Colling, 2012, S. 23 - 40]:

- Bauholz (Vollholz/Konstruktionsvollholz, Bauschnittholz),
- Brettschichtholz (BSH),

- Balkenschichtholz (BASH).

Trotz der guten Verfügbarkeit des Baustoffs Holz besteht dennoch das Gebot, mit der Ressource Holz sparsam umzugehen. Denn, tragfähiges und widerstandsfähiges Vollholz kann nur aus „reifen“ Bäumen gewonnen werden. So sind Kiefern im Regelfall erst nach ca. 80 Jahren, Eichen nach ca. 200 Jahren Umtriebszeit schlagreif – der Umgang mit Holz ist eine generationsübergreifende, komplexe Aufgabe. Daher kommt den „neuen“ Holzbaukonstruktionen eine besondere Bedeutung zu.

Da Holz ein Naturprodukt ist, sind die Vollhölzer in ihren (Rohholz-)Abmessungen bzgl. der Baumquerschnitte und der Stammlängen eingeschränkt. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen und der Weiterentwicklungen bei der Produktion sind daher Keilzinkungen heute übliche geklebte, kraftschlüssige Längsverbindungen in tragenden Konstruktionsvollhölzern. Sie werden angewandt, um größere Bauteillängen realisieren zu können oder auch wenn Unregelmäßigkeiten wie z.B. Äste aus optischen oder festigkeitsrelevanten Gründen aus dem Holz herausgetrennt werden müssen.

Beim Brett- und Balkenschichtholz handelt es sich um industriell verklebte bzw. verleimte Produkte, welche wiederum aus Konstruktionsvollhölzern bestehen. Die Fugendicken der eingesetzten Klebstoffe (Harnstoffharz, modifiziertes Melaminharz, Polyurethanklebstoff etc.) betragen ca. 0,1 mm und sind kaum wahrnehmbar.

Eine Weiterentwicklung ist das Brettstapelholz (Verwendung bspw. Brettstapeldecken). Hierbei handelt es sich um ein flächiges Holzelement, bestehend aus nebeneinander hochkant stehenden 'Holzlamellen' (i.d.R. Brettschichtholz). Diese sind entweder miteinander kraftschlüssig geklebt (verleimt), genagelt oder mit Hartholzdübeln verbunden.

In nachfolgender Tabelle 6 sind die heute üblichen und in der Zukunft bei Abbruch-/Rückbau- oder auch Umbauarbeiten anfallenden Vollholzprodukte zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6: Konstruktive Vollholzprodukte zur Verwendung im Bauwesen

Konstruktive Vollholzprodukte zur Verwendung im Bauwesen				
	Bauholz/Bauschnittholz (VH – Vollholz) (NH – Nadelvollholz)	Konstruktionsvollholz (KVH)	Brettschichtholz (BSH) (Leimholz, Leimholzbalken)	Balkenschichtholz (BASH) (Lamellenholz, Lamellenbalken)
Holzarten (gebräuchlich)	Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie Buche, Eiche, Bongossi (begrenzte Verfügbarkeit)	Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche	üblich: Fichte, seltener: Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie	üblich: Fichte, seltener: Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie oder auch Pappel
Aufbau	aus Rundholz gewonnene Latten, Bretter, Bohlen und Kanthölzer	„veredeltes“ Bauschnittholz, gezielte Wahl des Einschnitts	aus mind. 3 faserparallel miteinander verklebten Brettlamellen (Bretter) je nach konstruktiver und klimatischer Beanspruchung	2-5 gehobelte miteinander verklebte Holzlamellen (Kanthölzer oder Bohlen); (Duobalken [®] , Triobalken [®])
Eigenschaften	sägerauh/gehobelt	gehobelt/gefast/egalisiert, hohe Formstabilität, minimierte Rissbildung ggf. durch Keilzinken Bauteillänge erhöht	gehobelt/gefast hohe Formstabilität und optische Qualitäten, minimierte Rissbildung	gehobelt/gefast hohe Formstabilität, minimierte Rissbildung
Querschnitte/ Abmessungen	Latten: $d \leq 40 \text{ mm}$, $b < 80 \text{ mm}$, Bretter: $d \leq 40 \text{ mm}$, $b \geq 80 \text{ mm}$, Bohlen: $d > 40 \text{ mm}$, $b > 3 \cdot d$ Kanthölzer: $b \leq h \leq 3 \cdot b$, $b > 40 \text{ mm}$	Breite: 120 – 240 mm Dicke: 60 – 120 mm Längen bis 5 m bzw. bis zu 14 m (keilgezinkt)	Breite: 100 – 200 mm (einzelne Herst. bis 300 mm) Höhe: 100 – 400 mm (einzelne Hersteller bis 3 m) Längen: 12 – 20 m (einzelne Hersteller bis 60 m)	Breite: 100 – 240 mm Höhe: 80 – 240 mm Systemlängen bis 18 m
Anwendungsbeispiele	im sichtbaren und nicht-sichtbaren Bereich Dachkonstruktionen, Holzrahmen- und Tafelbauweise Terrassendielen, Schalungsbau etc.	im sichtbaren und nicht-sichtbaren Bereich konstruktive und dekorativ universell verwendbar Wand- und Dachelemente Holzhausbau, Carports, Vordächer etc.	hoch belastete und weit gespannte Konstruktionen für einfache, gerade Bauteile; variable Querschnitte u./o. einfache Krümmung Dachstühle, Carports, Hallen, Brücken, Ingenieurholzbauten, Holz-Glas-Konstruktionen	Konstruktiv, dekorativ universell verwendbar im Sichtbereich Holzrahmenbau, Holzskelettbau, Blockhausbau, Holzbalkendecken, Bauteile mit großem Querschnitt u./o. großen Längen etc.
Anmerkungen	* hier sind auch historisch verw. Vollhölzer (Decken-, Dachbalken, Fachwerkbauweise etc. einzuordnen)	Verwendungszweck als Außen- bzw. Innenbauteil u.a. in Abhängigkeit des/der verwendeten Kleber(s)		

[Zusammenfassung aus Kuhweide, 2000; Colling, 2012, S. 23-32]

Übergeordnet lassen sich relevante Holzbauteile, welche für konstruktive Zwecke (tragend/nichttragend) eingesetzt werden, gemäß der schematischen Darstellung in

Abbildung 35 unterteilen. Nicht aufgeführt ist die Blockbauweise (für Blockhäuser, Verwendung von Naturstämmen). Der Vollständigkeit halber sind auch eine Auswahl an Ausbauelementen aufgeführt, welche bspw. zur Herstellung von Fenster und Türen, aber auch Treppen etc. zur Anwendung kommen, sowie verschiedene Plattenformate.

Abbildung 35: Hauptbauelemente für Holzkonstruktionen

KONSTRUKTIONSELEMENTE					AUSBAUELEMENTE
tragend / nichttragend					
Außen-/Innenwände			Dach	Decken	Sonstige
Fachwerk	Holz-Skelettbauweise (Holzständerbauweise)	Holz-Tafelbauweise	• Sparren • Stiel • Balken • Pfetten • Latten etc.	• Balken • Bohlen • Bretter • Decken-tafeln (Rippen, Beplankungen Ober- und Unter-seite) etc.	• Leitungsmaste • Bahnschwellen • Pfähle • Schal-bretter etc.
• Stabwerk – Streben – Schwellen – Riegel – Rähm – Ständer/ Stiel/ Pfosten	• Stützen • Träger	Verbundbauweise • Rippen • Beplankung (z.B. Spanplatte)			
• Ausfachung – Lehm – Mauerwerk	• Beplankung (z.B. Spanplatte) • Ausfachung – Mauerwerk – Beton				

• Profilholz • Rund- und Kanthölzer • Leisten Holzwerkstoffe: • Brettspertholz (BSPH) • Massivholz-/ Mehrschichtplatten (SWP) • OSB-Platten • Furnierplatten wie Sperrholz (BFu), Furnierschichtholz (LVL) • Spanplatten (P) • Holzfaserplatten (HFH, HFM, MDF) • Holzfaserdämmplatten (HWL-Platten) Sonstige • kunststoffbeschichtete Holzfaserplatten, • Zementgebundene Spanplatten (ZSP) etc.
--

[Asmus]

6.3.2 Anforderungen und Faktoren zum Wiedereinsatz von Holzbauteilen

Die Anforderungen, welche an für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung ausgewählte Holzbauteile gestellt werden, unterscheiden sich im Regelfall nicht von denen an neue Holzbauteile, es ist dennoch die Beachtung einer Vielzahl von Faktoren erforderlich.

Eine 'Checkliste' der Beurteilung zur Wieder- bzw. Weiterverwendungseignung kann hilfreich sein und ist insbesondere um die Aspekte der durch die Nutzung/den Gebrauch der Holzbauteile beeinflussenden Parameter zu erweitern. Es ist u.U. abzuwägen, ob für beabsichtigte untergeordnete Zwecke eine intensive Bestands- und Zustandserfassung notwendig ist. Die Eignung der Holzbauteile als Ganzes oder in Teilen des Ganzen ist ggf. durch einen Fachkundigen zu beurteilen.

Bei der Erfassung muss sehr genau darauf geachtet werden, dass die Hölzer hinsichtlich des Gehaltes und der Abgabe schädlicher Stoffe an die Umwelt (z.B. Biozide aus Holzschutzmitteln) untersucht werden und daraus abgeleitet entsprechend der Entsorgungs-/Verwertungsweg bestimmt wird.

Eine Kontamination von Holzbauteilen, konstruktive wie auch als Ausbaubauteil, mit toxischen und gefährlichen Inhaltsstoffen schließt prinzipiell eine Wieder-/Weiterverwendung aus, da kein Markt für solche Produkte besteht.

Nachfolgend aufgeführte Anforderungen/Faktoren beeinflussen entscheidend eine Wieder- bzw. Weiter-

verwendung von Holzbauteilen. Es ist in bauteilbezogene Parameter und in Kriterien für die Demontage (Rückbau), wirtschaftliche Aspekte und in Akzeptanzverhalten sowie in rechtliche Aspekte zu unterscheiden:

a) Bauteilbezogene Anforderungen/Faktoren (Produktqualität):

- Abmessungen des Bauteils,
- Gebrauchstauglichkeit/Maßhaltigkeit (sichtbare Durchbiegung, Verformung etc.), Bauteil- bzw. Oberflächenbeschaffenheit/optischer Zustand/mögliche (mechanische) Beschädigungen/Mängel (z.B. Risse, Schadstellen infolge mechanischer Einwirkungen, Perforierungen durch Verbindungsmittel, Verfärbungen etc.) oder chemische Korrosion,
- konstruktive Parameter (Tragfähigkeit, Statik, Stabilität), Festigkeit und Dauerhaftigkeit (in Abhängigkeit der Holzart und Art der konstruktiven Ausführung VH, BSH, BASH, Gebrauchs- und Dauerhaftigkeitsklassen etc.),
- Holzfeuchte/Feuchtegehalt,
- Schädlings- bzw. Pilzbefall,
- Behandlung mit Holzschutzmitteln (Schutz gegen tierische und pflanzliche Schädlinge), Flammschutzmitteln (Brandschutz), Anstrichen - Einstufung als gesundheitsgefährdend (ja/nein),

b) Anforderungen an die Demontage/den Rückbau (Qualitätssicherung) und Lagerung:

- Einbausituation der/des Holzbauteile(s), Art und Ausführung der Bauteilverbindungen (Auslösbarkeit der Einzelteile),
- Bewertung Ausbau- bzw. Rückbaubarkeit,
- Ausbaukonzept, Geräteauswahl,
- zerstörungsfreier bzw. -armer Ausbau-Knowhow beim Ausbau,
- Zeitaufwand für den sorgfältigen, zerstörungsfreien Rückbau einplanen,
- Lagerung der Holzelemente (trockene Lagerung),
- Art der Verbindungsmittel (bei ingenieurmäßigen Holzkonstruktionen werden viele Verbindungen nicht geschraubt, sondern geschossen. Dies bedeutet, dass Verbindungen nur sehr schwer oder nicht zerstörungsfrei gelöst werden können),

c) wirtschaftliche Aspekte und Akzeptanzverhalten:

- wirtschaftliche Aspekte (Kosten-Nutzen), d.h., z.B. Aufwand für Aufbereitung und ggf. Ertüchtigung
- Marktchancen,
- Nutzerinteressen,
- Akzeptanz und Image von (gebrauchten) Holzbauteilen,

d) Rechtliche Aspekte:

- Berücksichtigung geltender Normen, Vorschriften und sonstiger rechtlicher Grundlagen (Produktnormen, Bauregelliste, Anwendungsbeschränkungen etc.),
- Merkblätter und Richtlinien.

6.3.3 Status quo und Möglichkeiten der Nachnutzung von Holzbauteilen

Die Praxis zeigt deutlich, dass es möglich ist, konstruktive Holzbauteile wie auch -ausbauteile wieder- bzw. weiterzuverwenden und wird von zahlreichen Unternehmen in Deutschland praktiziert. Darüber hinaus agieren mehr oder minder eine unbekannte, schwer abschätzbare Zahl an Gewerbetreibenden und Privatpersonen aus reinem Eigeninteresse oder wirtschaftlichen Aspekten.

In der Historie hat eine Nachnutzung schon immer stattgefunden. Alte, gebrauchstaugliche Elemente (v.a. Hartholz) wurden beim Abbruch/Umbau von Gebäuden (Wohnhäusern, Scheunen, Kirchen etc.) schon rein aus wirtschaftlichen Gründen „geborgen“/separiert und zum Neu- oder Umbau anderer Gebäude oder für Restaurierungszwecke verwendet. Hauptgründe für eine Wiederverwendung waren früher der allgemein vorsichtige und sparsame Umgang mit dem Baumaterial Holz sowie niedrigere Lohnkosten. Das Bearbeiten von Stammholz zu Balken durch Bebeilen oder Sägen war sehr aufwendig. Daher wurden, wenn möglich, gebrauchte Balken genutzt.

Während in der Vergangenheit vielmehr Massiv-/Vollholzelemente aus historischen Gebäuden im Fokus der Betrachtungen für Wiederverwendungen standen und auch weiter aktuell bleiben, werden es zukünftig verstärkt auch die industriell gefertigten Konstruktionsvollhölzer, Brett- und Balkenschichtholzbauteile, welche für konstruktive Zwecke jeglicher Art Anwendung finden, für eine Wieder-/Weiterverwendung zur Verfügung stehen. Auch wird zukünftig eine Betrachtung der im Fertigteilhausbau (Holztafel- und Holzständerbauweise) verwendeten zusammengesetzten, elementierten Bauteilgruppen (Außen- und Innenwände, Decken etc.) notwendig werden, insbesondere hier die recyclinggerechte Trennung der Materialien (konstruktive Hölzer, Beplankung, Füllung).

Die Einsatzmöglichkeiten von Holzbauteilen sind vielfältig. Typische Einsatzgebiete können wie folgt zusammengefasst werden, wobei in den einzelnen Anwendungsgebieten noch differenziert werden kann:

- Historische Bauten (Wohn- und Wirtschaftsgebäude, Verwaltungsbauten etc.),
- Wohngebäude,
- Öffentliche Bauten,
- Industrie- und Gewerbebauten,
- Sportstätten und Freizeitanlagen,
- Brücken,
- Sonderbauten etc.

Die voran aufgeführten Einsatzgebiete können ebenso für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung gebrauchsfähiger Holzbauteile gelten. Eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Holzbauteilen kann erfolgen bei:

- Restaurierung/Sanierungsaufgaben (insbesondere denkmalpflegerischer Gesichtspunkte), Fachwerksanierungen, Ertüchtigung/Reparatur Dachstühle,
- konstruktive/nicht konstruktive Zwecke,
- Baumaterial, Schalbretter.

Als einfachste Form der Nachnutzung ist es in der Praxis üblich, bspw. Bauhölzer bis zum endgültigen Verschleiß als Bauhölzer, d.h., im Schalungsbau/als Schalbretter, oder bei fliegenden Bauten weiterzuverwenden.

Die erneute Verwendung typischer historischer Holzbauteile wie bspw. (handgebeilte) Fichten-, Tannen-, Kiefern- und Eichenbalken im Gebäudeumbau und -renovierung ist angewandte Praxis. Hierzu existieren jahrzehntelange Erfahrungen in der Bergung/Erfassung, Lagerung und Weitergabe. Zahlreiche Handwerks-

betriebe sind spezialisiert im Umgang mit diesen Materialien. Selbst komplette Fachwerkhäuser werden umgesetzt bzw. Fachwerkteile geborgen und an anderer Stelle wieder eingebaut.

Im Ingenieurholzbau werden größere Binder aus Brettschichtholz (BSH) auch oft einer Wiederverwendung zugeführt.

6.3.4 Wieder- und Weiterverwendungspotenzial(e) und Entscheidungskriterien zur Nachnutzung

Generell ist Holz, wie z.B. Decken-, Wand- oder Bodenpaneelen, Weich- und Hartholz, Kant-, Rund- und Schnittholz, sofern nicht mit Holzschutzmitteln belastet, wieder- bzw. weiterverwendbar, entweder in Gänze oder zugeschnitten (Zuschnitt nur möglich wenn keine Verbindungsteile, Schrauben, Nägel, etc. im Holz verbleiben) als Teil des Holzproduktes.

Die Holzbauteile müssen in jeden Fall ökologisch und humantoxikologisch unbedenklich sein. Behandelte Hölzer, die nicht naturbelassen sind, müssen als belastete Baustoffe (bspw. PCB-Altholz) erfasst und entsorgt werden³⁰.

Bei der Betrachtung der Wieder- bzw. Weiterverwendungsoptionen in Frage kommender Holzbauteile in der Baubranche ist jedoch genau zu überlegen, welche Elemente im Speziellen nach der Nutzungsphase für den gleichen oder einen abgeänderten Zweck wieder- bzw. weiterverwendet werden:

- Welche technischen, aber auch ökonomischen Hindernisse können einer Nachnutzung als Bauteil entgegenstehen?
- Gibt es ökologische Hindernisse, die einer Wiederverwendung im Wege stehen?
- Wie sieht die (gesellschaftliche) Akzeptanz/Image/Kundenakzeptanz für eine „Zweitnutzung“ aus?
- In welcher Weise werden/wurden Überlegungen bezüglich der Wieder-/Weiterverwendung nach der Nutzungsphase in die Planung/beim Bau des Gebäudes bereits mit einbezogen?
- Welcher Markt kann mit wieder-/weiterverwendbaren Holzbauteilen bedient werden? Welche Marktchancen bestehen?
- Qualitätskontrolle?

Als vorteilhaft kann vorangestellt werden, dass sich die üblicherweise für konstruktive Vollholzprodukte verwendeten Holzarten sowohl in reinen Holzkonstruktionen als auch in Mischkonstruktionen (Mauerwerk, Holzbalken etc.) sehr gut mit handwerklichen Mitteln (Sägen, Messern, Schälern, Hobeln, Schleifen bearbeiten/anpassen lassen. Handwerklich korrekt ausgeführt, ermöglicht dies auch eine Auswechselbarkeit von schadhaften Teilen. Darüber hinaus beeinträchtigt das Vorhandensein von Klebefugen in den vorab dargestellten Vollholzprodukten die gute Bearbeitbarkeit im Regelfall nicht.

Dies eröffnet ein variables Spektrum für eine „Zweitnutzung“ und trifft insbesondere auf historische Holzbauteile zu. Es macht Sinn, gerade großvolumige, aus alten Bauwerken stammende Vollholzelemente, insbesondere Eichenholz, wiederzuverwenden. Letzteres ist, bspw. für Restaurierungen denkmalpflegerischer Objekte, heute in vergleichbarer Größe (Alter/Dimensionierung/Querschnitte) schwer in der Natur noch vorzufinden.

Zudem sprechen die Materialqualitäten von konstruktivem Altholz für sich, da insbesondere hier das Schwind- bzw. Verformungsverhalten als nicht problematisch anzusehen ist, insofern entsprechende Lagerungs- und Wiedereinbaubedingungen eingehalten und die besonderen Eigenschaften des Holzes berücksichtigt werden.

³⁰ Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung-AltholzV) vom 15.08.2002.

Auch besitzt Holz eine natürliche Dauerhaftigkeit, d.h., zahlreiche Holzarten besitzen Inhaltsstoffe mit Abwehrwirkung als natürlicher Schutz gegen Pilz- und Schädlingsbefall, die das Holz auch im eingebauten Zustand schützt (Einteilung in Gebrauchsklassen). Hierbei muss jedoch auch auf die Splint- und Kernholzanteile des Holzes geachtet werden.

Dennoch, der erneute Einsatz von Holzbauteilen für eine Wieder-/Weiterverwendung ist an mehreren Kriterien geknüpft, welche nachfolgend dargestellt werden.

Heute zählen v.a. wirtschaftliche Aspekte, insbesondere Lohnkosten für die Aufarbeitung, etc., sowie v.a. technische und logistische Probleme („Handling“, Aufwand/Kosten für Lagerung und Vermarktung) aber auch Unsicherheiten über erfolgte Holzschutzmittelbehandlungen(en) in der Vergangenheit eine Rolle.

Daher nimmt heute, in Bezug zum insgesamt anfallenden Material beim Abbruch/Rückbau, der Anteil einer Nachnutzung der Bauteile in Gänze einen eher geringen Stellenwert ein.

Eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Holzbauteilen ist nur dann sinnvoll und rechtlich konform, wenn lückenlos gewährleistet wird, dass vom Holz keine Umwelt- u./o. Gesundheitsschäden ausgehen. Hier kann es zu Unklarheiten und zu Problemen kommen, gerade wenn die Abläufe nicht in einer Hand sind, keine autorisierten Firmen oder auch Privatleute aktiv werden, die sich womöglich einer Schadstoffbelastung unbewusst sind, und ggf. sogar eine unkontrollierte Weitergabe stattfindet.

Weiterhin ist insbesondere bei historischen Holzbauteilen durch die mögliche Verwendung einer Vielzahl von Holzschutzmitteln (HSM) und möglichen Sekundärbelastungen aus dem Gebäude eine Nachnutzung eingeschränkt bzw. sogar verwehrt. Eine Charakterisierung und Klassifizierung von schutzmittelbehandelten Althölzern ist schwierig. Neben der Unübersichtlichkeit an Holzschutzprodukten kommt als weitere Erschwernis die sehr unterschiedliche Art der Behandlung und ihrem Einfluss auf Menge und Verteilung (und damit auf das Belastungspotenzial) der angewandten Präparate und die Vielzahl möglicher Wirkstoffe je nach Anwendungsgebiet (Außen-/Innenbauteile) hinzu.

Ob Holz mit HSM behandelt worden ist und etwaige gesundheitsschädliche Wirkstoffe enthält, ist für den Laien nicht einfach festzustellen. Nur mit Hilfe (kostenintensiver) chemischer u./o. chronologischer Analysen kann festgestellt werden, ob Schadstoffe ausgeschlossen werden können. Die Entnahme repräsentativer Proben und die Einschaltung eines Sachkundigen kann Abhilfe schaffen. Hierbei sind eine sehr gute Sachkenntnis über mögliche Innenraum- und Materialbelastungen und das Wissen über die Nutzung(en) in der Vergangenheit unabdingbare Voraussetzungen für die Einstufung der Materialien und die Probenwahl. Des Weiteren sind eine sorgfältige Dokumentation, gezielte Demontage und Lagerung ohne Sekundärkontamination weitere Voraussetzungen für die Weiter-/Wiederverwendung.

Z.B. enthielten einige Holzschutzmittel-Zubereitungen (z.B. Hylotox) bis in die 90er Jahre die hochgiftigen Stoffe Lindan, PCP und DDT oder andere giftige Substanzen (Arsen- und Chromverbindungen). Die fungizide (pilzabtötende) und insektizide (insektenbekämpfende) Wirkung dieser Stoffe können gesundheitsschädigende Nebenwirkungen hervorrufen.

Hierzu sind bereits im Zuge der Abbruchvorbereitung und -durchführung geeignete Schutzmaßnahmen auszuwählen und ggf. auch Handlungsanleitungen zum Umgang mit holzschutzmittelbelasteten Bauteilen, Gegenständen und Materialien heranzuziehen [INQA-Bauen, 2008].

Unter anwendungstechnischen und Entsorgungsgesichtspunkten sind bei Althölzern nachfolgend aufgeführte HSM zu unterscheiden:

- wasserlösliche bzw. wasserverdünnbare HSM (überwiegend anorganische Salze und organische Verbindungen),
- lösemittelhaltige Schutzmittel (organische Wirkstoffe gelöst in organischen Lösemitteln als Fungizide und Insektizide wie z.B. DDT, PCP, HCH, Lindan, Carbanate, Quecksilberchlorid, etc.),
- Teeröl (Steinkohlenteer-Imprägnieröl, Braunkohlen-Teeröl, Pyrolyseöle, Karbolineum, Teerölprä-

parate),

- holzschützende Grundierungen und Anstriche (Lackierungen und Beschichtungen).

Dieser Problematik muss eine besondere Aufmerksamkeit gerade bei Bauteilen aus der Gebäudekonstruktion und dem Innenausbau geschenkt werden. Bspw. tragende Hölzer im Dachstuhlbereich wurden/werden mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Oberflächenverfahren geschützt.

Sobald ein älteres Gebäude durch Nutzerwechsel/Nutzungsänderungen über Jahrzehnte hinweg zahlreiche Veränderungen an der Bausubstanz erfahren hat, sind explizit nicht nur etwaige Holzschutzmaßnahmen bei Umbauarbeiten am Ende des Lebenszyklus des Gebäudes nur erschwert nachvollziehbar. Gerade bei vormals privat genutzten Gebäuden, im sogen. „Do-it-yourself-Bereich“, ist dieser Sachverhalt entscheidend, da hier die Entscheidung eingebauter Materialien zumeist in Selbstverantwortung des Nutzers getroffen wurde. Die Vielzahl der am Markt erhältlichen Produkte und vermeintlich positiv wirkenden Holzschutzmittel etc., in Verbindung mit schlechter oder gar keiner Beratung, tragen zu diesem Umstand bei.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist in Bezug auf die Abbruch-/Rückbaudurchführung die generelle Prüfung, ob ausgewählte/geeignete Bauteile überhaupt und mit welchem personellen u./o. maschinellen Aufwand separiert werden können.

Für die Konzeption und Durchführung der Abbruch- bzw. Rückbauarbeiten sowie zum selektiven Ausbau/zur Demontage der ausgewählten wieder-/weiterverwendungsgerechten Holzbauteile sind die Anschlüsse, die Art der Verbindungen und die Einbausituation entscheidend. Für Verbindungen der Holzbauteile selbst, untereinander sowie im Konstruktionsverbund zu anderen Baumaterialien sind folgende Verbindungen möglich (Auswahl):

- traditionelle Verbindungen (Zapfen, Kammverbindungen, Stoß- und Blattverbindungen, Verkeilen, Klauung, Nut und Feder, hölzerne oder eiserne Nägel etc.),
- Anschlüsse mit Stahlprofilen/-verbindungen,
- Schraubenverbindungen,
- Kammnagelverbindungen,
- Dübel, Bolzen,
- Laschen, Lochbleche, Nagelplatten,
- Nagel- und Klammernverbindungen,
- Verklebungen, Verleimungen etc.

Wenn lösbare Verbindungen angewendet wurden, ist eine weitestgehend zerstörungsfreie Demontage möglich. In weiterer Folge können dies Holzbauteile unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Eigenschaften wieder in Gänze eingesetzt/montiert werden.

Es ist an dieser Stelle zu prüfen, inwiefern die Holzbauteile in einem schwer lösbaren Verbund mit anderen Materialien eingebaut sind und damit bedingte Verunreinigungen, z.B. Vermischung mit anorganischen Materialien (z.B. anhaftender Mörtel in den Baurestmassen) einhergehen oder sogar eine teilweise Zerstörung des Holzes herbeigeführt wird. Darüber hinaus ist zu beachten, dass eine Bergung von tragenden Holzteilen oft nur im Zuge der Abbruch-/Rückbauarbeiten erfolgen kann und hier die z.T. zeitaufwendigen Maßnahmen im gesamten Bauzeitkonzept eingeplant werden müssen.

Bezogen auf den aktuell vorherrschenden Holzfertigteilhausbau ist zu untersuchen, ob die verschraubten, verleimten u./o. vernagelten schubfest miteinander verbundenen modularen Bauteilgruppen (Decken- und Wandtafeln) beim Rückbau zerstörungsfrei voneinander getrennt werden können. Gemäß der Auskunft einzelner Fertigteilfirmen sind die Verbindungen lösbar, so dass Gebäude umgesetzt bzw. erweitert oder auch Gebäudeteile in Gänze wiederverwendet werden können. Inwiefern auch eine Separierung bspw. der

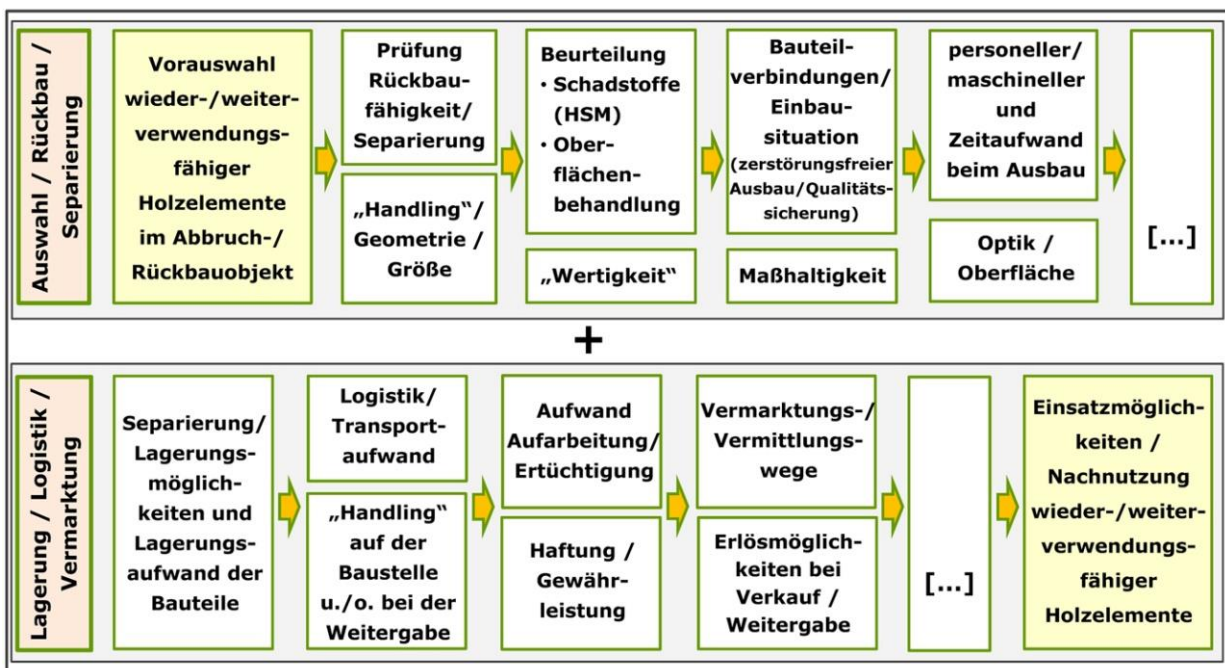
Rippen und Beplankungen zerstörungsfrei möglich ist, d.h., die Demontage bspw. einer Holzfertigteilwand oder Deckentafel in ihre Einzelbauteile, ist zu klären.

In diesem Zusammenhang ist bei der Auswahl und etwaiger maschineller Aufarbeitung der Hölzer eine nicht zu unterschätzende Anforderung in Bezug auf die Nachnutzung der Holzbauteile in Gänze oder Teilen einzuhalten. Die gewählten Hölzer müssen absolut frei von Störstoffen (z.B. Nägel, Schrauben, etc.) sein, um Beschädigungen von Maschinen zu vermeiden und die erneuten Verwendungsmöglichkeiten zu gewährleisten. Hierzu müsste eine geeignete Qualitätskontrolle greifen. Für letztere sind v.a. wirtschaftliche Kriterien, Arbeits- und Zeitaufwand entscheidend.

Weiterhin ergibt sich zur Erreichung einer hohen Funktionsgüte die Anforderung, dass Holzbauteile, welche für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung vorgesehen sind, immer trocken und in voriger Einbaulage gelagert sein müssen. Nur somit lassen sich die Einhaltung von statischen, bauphysikalischen Erfordernissen und die Beibehaltung einer ästhetisch entsprechenden Oberfläche erreichen.

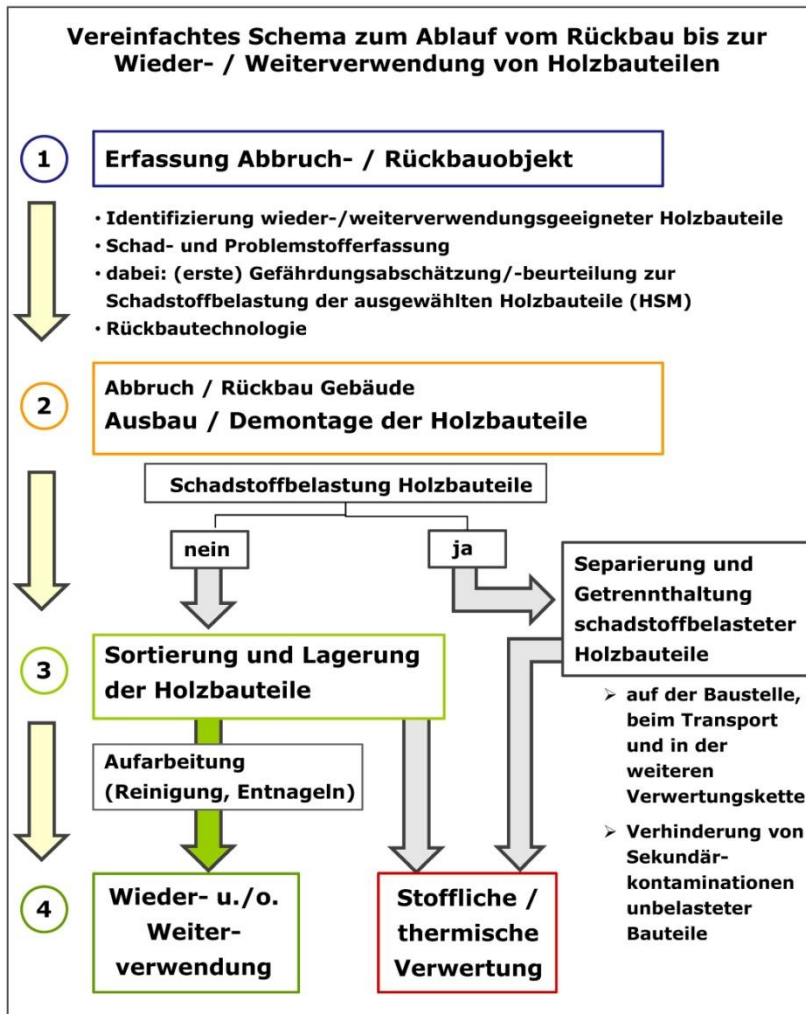
Insgesamt lassen sich die Entscheidungskriterien für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Holzbauteilen anhand eines Schemas, wie in Abbildung 36 dargestellt, zusammenfassen. In Abbildung 37 ist der Entscheidungsablauf - vom Rückbau bis Wieder-/Weiterverwendung von Holzbauteilen - zusammenfassend als vereinfachtes Schema aufgeführt.

Abbildung 36: Entscheidungskriterien für eine Wieder-/Weiterverwendung von Holzbauteilen (Auswahl)



[Asmus]

Abbildung 37: Vereinfachtes Schema Ablauf Rückbau bis Wieder-/Weiterverwendung von Holzbauteilen



[Asmus]

Die generelle Schrittfolge beim Ausbau ist am Beispiel historischer Holzbauteile wie folgt:

- Bergen aus Abbruch-/Rückbaumaßnahme,
- Sortierung und Reinigung,
- Aufarbeitung,
- (korrekte) Lagerung und sorgfältiger Umgang,
- Erfassung und ggf. Katalogisierung,
- Weitergabe/-vermarktung.

6.3.5 Ökonomische und ökologische Aspekte

Da immer eine Entscheidung getroffen werden muss, welchem Verwertungsweg die gewonnen Holzbauteile nach Abbruch/Rückbau zugeführt werden, zählen, neben der Wertschätzung des/der Bauteile selbst, insbesondere für eine Nachnutzung in Gänze oder in Teilen auch rein ökonomische Aspekte.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten scheint eine Wieder-/Weiterverwendung von Altholz nur sinnvoll, wenn die Kosten der Erfassung (inkl. einer etwaigen Beprobung bzgl. Schadstoffbelastung), Sammlung,

Transport, (Zwischen)Lagerung, Aufarbeitung nicht höher sind als die Kosten einer Entsorgung.

Bei historischen Holzbauteilen überwiegen die bauteilbezogenen Kriterien bei der Entscheidung für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung. Hier gibt es bei unbelasteten Bauteilen keine Vermarktungsschwierigkeiten. Vielmehr ist festzuhalten, dass historische Bauteile, hierzu zählen insbesondere historische Holzbauteile, stark nachgefragt werden. Hier haben sich eigene Erfassungs- und Vermarktungswege unterschiedlichster Akteure, bspw. die Aktivitäten des Unternehmerverbandes Historische Baustoffe e.V., bereits etabliert.

Hingegen unterliegen industriell vorgefertigte Konstruktionshölzer (KVH, BSH, BASH) wie auch modulare Bauteile aus Holztafel- und Holzskelettbauten anderen Kriterien. Hier wird primär eher die Frage einer generellen zerstörungsfreien Rückbaubarkeit bzw. des Herauslösens aus dem Konstruktionsverbund vor dem Hintergrund der angewandten Art der Verbindungen über eine erneute Nachnutzung entscheiden. Sofern die Möglichkeit einer zerstörungsfreien bzw. -armen Demontage besteht, bestimmen nicht zuletzt der hierfür notwendige Arbeits- und Zeitaufwand bis hin zur Suche nach einer geeigneten „Zweitnutzung“ die Wirtschaftlichkeit. Zudem ist zu beachten, dass konstruktive Holzbauteile neueren Datums einer Normung unterliegen, im Regelfall ein Übereinstimmungszeichen für Bauprodukte (Ü-Zeichen) tragen und an den entsprechenden Einbauzweck konstruktiv, materialspezifisch und statisch angepasst sind. Inwiefern ausgebaute Bauteile diese Kriterien bereits erfüllen, ist zu prüfen.

Zur ökologischen Bilanzierung von Bauprodukten und Gebäuden aus Konstruktionsholz liegen eine Reihe von Daten und Veröffentlichungen vor. Herangezogen werden können bspw. die Ausführungen des Forums Nachhaltiges Bauen³¹ oder auch der Abschlussbericht „Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz“ [Rüter/Diedrichs, 2012], die Veröffentlichungen des Informationsdienstes Holz [Wegener/Zimmer, 1997] sowie der Tagungsband zum „Bauen mit Holz“ [Steinbrecher, 2007].

Bei der ökologischen Bilanzierung muss jedoch unterschieden werden in die nahe dem Naturzustand verwendeten Hölzer und den industriell „veredelten“ Vollholzprodukten, der Energieaufwand (Graue Energie) bei der Herstellung fällt bei diesen Produkten unterschiedlich aus.

Die Verwendung von Holz oder Holzprodukten für bauliche Zwecke trägt also erheblich zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung bei und hilft zudem, die gesetzten Ziele der UN-Klimakonvention in Kyoto von 1997, nämlich die Emissionen an Treibhausgasen, zu denen CO₂ maßgeblich beiträgt, weltweit zu reduzieren und die negativen Auswirkungen durch die Klimaveränderung entgegenzuwirken.

Solange Holzbauteile eingebaut sind, wird in ihnen ihr CO₂ gespeichert und nicht, wie bei der Energiegewinnung bzw. thermischen Verwertung, freigesetzt. In Zahlen ausgedrückt heißt dies: 1 m³ verbautes Fichtenholz speichert während des Wachstums 0,69 t CO₂ und vermeidet durch die Substitution von anderen Materialien die Emission von 1,02 t CO₂ [Brandl, 1996].

6.3.6 Hemmnisse

Spricht man von Verwertungs- bzw. Verwendungsoptionen für ausgebaute Holzbauteile bei Abbruch-/ Rückbauvorhaben, so wird dies oftmals in direkten Bezug zur Energiegewinnung/thermischen Verwertung gebracht. Eine Wieder- oder auch Weiterverwendung von intakten und geeigneten Holzbauteilen in Gänze oder in Teilen davon findet, außer für historische Holzbauteile, nicht in dem Umfang statt wie potenziell möglich. Die Gründe hierfür sind vielfältig.

Die Befürchtungen und Vorbehalte in Bezug auf einen möglichen Schadstoffgehalt im Holz durch die Verwendung von Holzschutzmitteln und möglichen Sekundärbelastungen aus dem Gebäude während der Nut-

³¹ Forum Nachhaltiges Bauen (FNB) München. <http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/>, aufgerufen am 06.08.2013

zung stehen dem Wiederverwendungsgedanken entgegen.

Die tägliche Praxis auf den Baustellen zeigt, dass eine strikte Trennung von unbehandelten Hölzern und behandelten Hölzern oftmals aus Zeitgründen nicht umgesetzt wird, sofern nicht im Rahmen einer Gebäudevoruntersuchung eine Gesundheitsgefährdung festgestellt und eine Separierung gefordert wird.

Auf einen zerstörungsfreien bzw. -armen Ausbau, als Grundvoraussetzung für eine Nachnutzung unbehandelter Holzbauteile, wird aufgrund des Zeitdrucks beim Abbruchs kaum Wert gelegt oder ist ggf. auch aufgrund der Art der Verbindungen nicht bzw. eingeschränkt möglich und zu arbeitsintensiv. Zudem erfordern Konstruktionshölzer, z.B. aus Dachstuhl, Holzbalkendecken, in den meisten Fällen einen hohen bzw. höheren Bergungsaufwand, sobald diese gezielt für eine Wieder-/Weiterverwendung in Frage kommen und auch wieder in Gänze genutzt werden sollen.

Mit Blick auf eine zukünftige Nachnutzung von industriell vorgefertigten Holzbauteilen (KVH, BSH, BASH) in Gänze stehen u.U. derzeit gültige Vorschriften bei den Holzverbindungen einer gezielten Wieder-/ Weiterverwendung entgegen. Bei heutigen Holzkonstruktionen werden konstruktiv Kammnagelverbindungen vorgeschrieben. Derartige Nagelverbindungen verhindern eine zerstörungsfreie Demontage und in weiterer Folge eine Nachnutzung eines Holzbauteils in Gänze.

Zusammengefasst stellen sich für eine Wieder- und Weiterverwendung von Holzbauteilen folgende grundlegende Hemmnisse dar:

- Unsicherheiten bei der Einschätzung zum Gefährdungspotenzial durch Holzschutzmittel und Oberflächenbehandlungen und (Rest)Kontaminationen, insbesondere die fehlende und unvollständige Dokumentation,
- Aufwand einer chemischen Analyse (Entnahme von Proben und Bewertung) und die Auswirkungen auf Kosten-/Zeitaufwand,
- schadstoffbelastete Holzbauteile sind nicht wiederverwendbar,
- Art der Bauteilverbindungen (z.B. Kammnagelverbindungen sind nicht lösbar),
- höherer Aufwand einer zerstörungsfreien bzw. -armen Demontage,
- erhöhter Aufwand für Aufarbeitung und Ertüchtigung (Lohnkosten, personeller Einsatz),
- Logistik und Handling,
- Nichtbeachtung der Wertigkeit.

6.3.7 Handlungsempfehlungen

Die Praxis zeigt, dass eine Wieder- und Weiterverwendung von unbelasteten Holzbauteilen im engeren Sinne derzeit nur in kleinerem Maßstab erfolgt. Es werden vielmehr Nischenmärkte wie der Erhalt und Rekonstruktion historischer Gebäude bedient/abgedeckt oder Holzbauteile auf der/den Baustelle(n) direkt bis zum endgültigen Verschleiß als Bauhölzer, d.h. im Schalungsbau/als Schalbretter, oder bei fliegenden Bauten weiterverwendet.

Die Handlungsschritte, welche sich bei historischen Holzbauteilen etabliert haben, gilt es nach Möglichkeit auch auf Holzbauteile neueren Datums anzuwenden. Nicht nur um die Akzeptanz zu steigern, müssen hierzu alle Akteure und das Nutzerverhalten bezüglich einer Wieder-/Weiterverwendung sensibilisiert und bereits in der Planung (Lebenszyklusbetrachtung) die baulichen Nachnutzungsoptionen ins Bewusstsein gerückt werden, um eine größere Wieder- Weiterverwendungsrate zu ermöglichen. Ein Planer sollte in seinem Handeln den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen.

Konstruktive Bauteile aus Holz sollten zukünftig so gebaut und gestaltet werden, dass sie nach Nutzungs-ende möglichst mit geringem technischen Aufwand und unter minimalen Umweltauswirkungen „geborgen“

und im Sinne einer Wieder- und Weiterverwendung in Gänze oder in deren Teilen berücksichtigt werden können. Im Idealfall sollten die Planer bzw. Konstrukteure eine demontagegerechte Baustruktur anstreben sowie über einen Gebäudepass Veränderungen dokumentieren.

Insofern konstruktive und rechtlich-technische Vorgaben nicht dagegen sprechen, sind bereits bei der Planung und Ausführung von Holzkonstruktionen die Verbindungen so zu konzipieren und Verbindungsmaterialien so auszuwählen, dass diese mit Standardwerkzeugen lösbar, gut auffindbar und erreichbar sind. Die Verbindungsartenwahl muss dabei abgestimmt mit Nutzungs- und Nachnutzungsaspekten erfolgen. Der Anteil an Klebe- und Nagelverbindungen ist zu minimieren. Somit wird eine zerstörungsfreie bzw. -arme Demontage ermöglicht sowie auch der Demontageaufwand verringert. Zudem sollten Bauteile auswechselbar gestaltet werden, um dem Wieder-/ Weiterverwendungsgedanken zu entsprechen.

Es ist darüber nachzudenken, dass man geeignete Holzbauteile für eine Nachnutzung in Gänze bzw. als Teile davon analog in die Klassifizierung von neuen Hölzern Neuhölzern integriert, sodass für den Käufer/potenziellen Nachnutzer von Holzbauteilen kein merklicher Unterschied zwischen Alt- und Neuholz besteht. Welche Form der Klassifizierung angewendet werden kann, ist zu prüfen. Beinhalten sollte diese aber nicht nur Angaben für die Qualitäten/Bauteilkenndaten in jeder Hinsicht, sondern auch logistisch-administrative und kaufmännische Gesichtspunkte.

Als Handlungsempfehlungen für eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von Holzbauteilen können gelten:

- Etablierung von recyclinggerechten Konstruktionen (montage- und demontagegerechte Verbindungstechniken),
- Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes im Sinne der Wieder- und Weiterverwendung bereits bei Planung und Ausführung,
- Sensibilisierung Akteure und Nutzerverhalten,
- adäquat der historischen Bauteile sind gebrauchsfähige Holzbauteile der jüngeren Generation zu bergen, sachgerecht zu lagern, gezielt zu vermarkten/weiterzugeben (z.T. bereits praktiziert) - Wiederverwendungsgebot umsetzen,
- Wiederverwendungsoptimierung von in Fertigteilbauweise errichteten Gebäuden wie bspw. EFH, DH (z.B. Deckentafeln, Holzständerwände),
- lokale Quellen für Holz nutzen; unnötig lange Transportentfernungen einschränken.

7 Verwertung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle

Mineralische Bauabfälle bilden den größten Teil der beim Abbruch/Rückbau/Umbau von technischen Bauwerken anfallenden Abfälle. Dabei sind Abfälle gemäß dem KrWG³² Materialien, denen sich ein Abfallzeuger/-besitzer entledigen will oder muss.

Beim Abbruch oder Umbau (Modernisierung/Sanierung) fällt eine Vielzahl an verschiedenartigen Baumaterialien an, die gemäß ihrer chemischen Zusammensetzung/Beschaffenheit wie folgt zusammengefasst werden können:

- Metalle; hierzu zählen Stahlkonstruktionen und Konstruktionsteile, Bewehrungsstähle, metallische Leitungen (Strom-/Wasserleitungen, Heizungssysteme), Heizkörper, metallische Abdeckungen, Fassadenelemente, Jalousien, Gitter, Balkonbrüstungen etc.
- Organische Abfälle; vor allem Holz (Dachstühle, Innenausbauten) und Kunststoffe (Kunststoffrohre); der Begriff "organisch" leitet sich aus dem chemischen Sprachgebrauch ab; danach sind organische Materialien solche, welche als Verbindungen des Kohlenstoffs aufzufassen sind; meist handelt es sich hierbei um sog. "Polymere", d.h. kettenförmige Makromoleküle, welche als natürliche Polymere im Holz vorkommen (Cellulose) oder aber synthetisch in Kunststoffen.
- Mineralische Abfälle; hierbei handelt es sich um vorwiegend anorganisch gebundene Baustoffe-Konstruktionsbeton (Fundamente, Decken, Säulen, Wände, Estriche), Wandbaustoffe aus Ziegel, Porenbeton, Kalksandstein (KS), anorganische gebundene anhaftende Putze wie Kalkzement- oder Zementputze, Natursteine, Pflastersteine aus Beton oder Klinker, Dachsteine aus Beton oder Ziegel, Fliesen und Keramik. Anorganisch ist ebenfalls ein chemischer Begriff, welcher sich im vorliegenden Fall hauptsächlich (aber nicht ausschließlich) auf silikatisch gebundene Baustoffe bezieht; eine Ausnahme beispielsweise bildet der Gips, welcher als anorganisch gebundener Baustoff aufzufassen ist (weil eben nicht organisch gebunden), aber aus Calciumsulfat besteht.
- Zu den mineralischen Bauabfällen zählt auch:
 - der Erdaushub, der die mengenmäßig größte Fraktion Bau- und Abbruchabfälle bildet. Der Erdaushub soll hier nicht näher betrachtet werden.
 - Straßenaufbruch; auch Straßenaufbruch zählt zu den mineralischen Bauabfällen, unabhängig davon, ob es sich um zementär gebundenen Beton oder bituminös gebundenen Asphalt handelt. Zum Straßenaufbruch gehört nicht nur das Deckschichtmaterial sondern auch die darunterliegenden Schichten wie Tragschichten und Frostschutzschichten.
 - Gleisschotter; ebenfalls ein mineralischer Bauabfall besteht aus gebrochenem Naturgestein.
- Sonstige; hier sind Materialien zusammengefasst, die sowohl organische als auch anorganische Komponenten (miteinander verbunden) in sich vereinigen; Beispiele wären Kunststoffputze (das Bindemittel ist eine organische Polymerdispersion, die Füllstoffe und Pigmente sind meist anorganisch, als Füllstoffe fungieren z.B. Quarzsande oder Kalksteinmehle). Ein weiteres Beispiel bilden die heutige vielfach verwendeten Wärmedämmverbundsysteme: Hier sind ebenfalls anorganische Komponenten (z.B. ein zementärer Armierungsmörtel oder ein Dämmmaterial auf Basis von Steinwolle) mit organischen Komponenten wie Polystyrolämmmaterial, oder Kunststoffdeckputzen verbunden.

³² Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

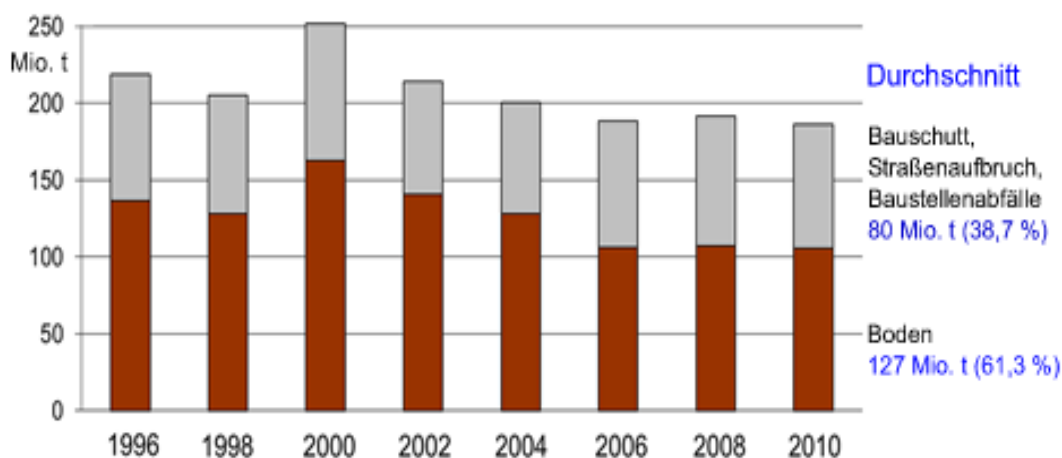
Während Betonabfälle eine Vielzahl von Verwertungen zulassen, nämlich hauptsächlich immer noch im Straßenbau als Tragschicht ohne Bindemittel oder als Frostschuttschicht, aber auch als Gesteinskörnung im Konstruktionsbeton, ist der Mauerwerksbruch – zwar ungerechtfertigt – eigentlich immer noch ein "Störstoff". Viele Forschungsprojekte haben jedoch den Beweis erbracht, dass Mauerwerkskomponenten aus dem Rück- und Umbau sehr wohl einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden können, wenn gewisse Anforderungen an die Reinheit bzw. an die Begrenzung von Fremdstoffen des Materials eingehalten werden. Hierauf wird später ausführlich eingegangen.

Eine weitere Differenzierung erscheint beim Mauerwerksbruch angebracht: Die bis heute gängige Praxis des Abbruchs von Bauwerken erzeugt für den Hochbau i.d.R. einen gemischten Mauerwerksbruch. Insofern ist in den hier vorliegenden Ausführungen von Gemischen auszugehen, wenn der Begriff Mauerwerksbruch verwendet wird. Für reine Mauerwerkschergen (Ziegelbruch, KS-Bruch, Porenbetonbruch etc.) bestehen differenziertere Verwertungsmöglichkeiten, die heute schon praktiziert werden, bzw. für die in zahlreichen Forschungsprojekten (u.a. auch der RWB) hochwertige Verwertungsmöglichkeiten nachgewiesen wurden (s.u.).

7.1 Ausgangssituation – Bauabfallmengen und derzeitige Einsatzgebiete

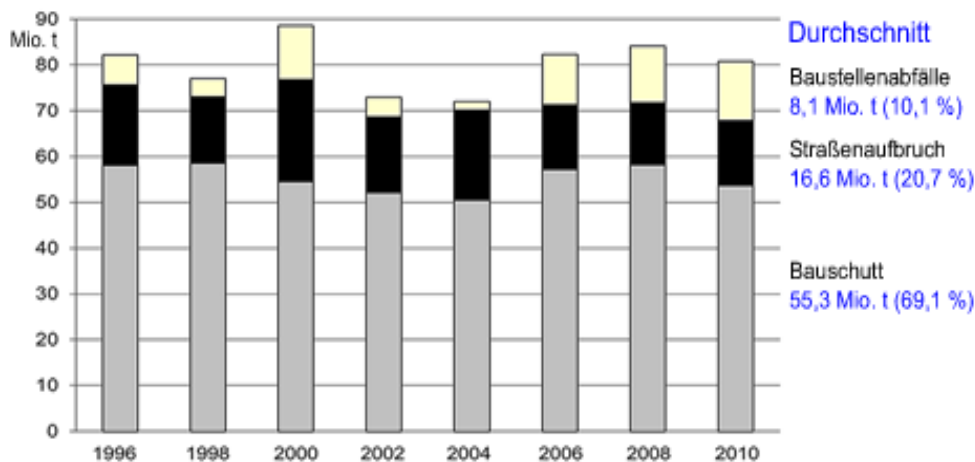
Aus abfallwirtschaftlicher Sicht stellen mineralische Bauabfälle den mengenmäßig größten Abfallstrom dar. Von den im Jahr 2011 insgesamt ca. 387 Mio. t angefallenen Abfälle in Deutschland entfielen auf die mineralischen Bauabfälle (inkl. gefährliche) ca. 200 Mio. t (entspricht 52 % des Gesamtabfallaufkommens). Das Bauabfallaufkommen ohne Boden, Steine und Baggergut belief sich auf 87 Mio. t, davon hat der Bauschutt einen Anteil in Höhe von 54,4 Mio. t. Das Aufkommen am Straßenaufbruch betrug 16,8 Mio. t, gemischte Bau- und Abbruchabfälle/Baustellenabfälle machten einen Anteil von 15,9 Mio. t aus [Statistisches Bundesamt, 2013]. Gegenüber den Vorjahren weisen der Anfall und die Verteilung der mineralischen Bauabfälle auf die einzelnen Fraktionen (Boden und Steine, Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle und Bauabfälle auf Gipsbasis) nur geringfügige Schwankungen auf.

Abbildung 38: Anfall mineralischer Bauabfälle (ohne industrielle Nebenprodukte)³³



[www.kreislaufwirtschaft-bau.de]

³³ <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Aufk.html> (aufgerufen am 10.04.2013).

Abbildung 39: Verteilung mineralischer Bauabfälle (Abbruchmaterial)³⁴

[www.kreislaufwirtschaft-bau.de]

Die mineralischen Bauabfälle stammen zum überwiegenden Teil aus Abbruch- oder Rückbaumaßnahmen von Gebäuden und baulichen Anlagen, Ingenieurbauwerken sowie Verkehrsflächen. Wesentlich geringere Mengen entstehen bei Modernisierungs- und Sanierungsarbeiten von Bauwerken oder sind als Fehlchargen aus Produktionsstätten deklariert. Diese Mengen sind, soweit technisch möglich und sinnvoll sowie wirtschaftlich zumutbar, als sekundäre Rohstoffquellen zu nutzen.

Dem 8. Monitoringbericht der Kreislaufwirtschaft Bau ist zu entnehmen, dass ca. 90 % der mineralischen Abfälle durch Recycling und Verwertung im Stoffkreislauf verblieben sind. Während die Fraktion Boden und Steine vor allem eine direkte Verwertung als bergbaufremdes Bodenmaterial in übertägigen Abgrabungen oder im Deponie sowie Straßen- und Wegebau erfährt, werden aus Bauschutt und Straßenaufbruch zum größten Teil in Aufbereitungsanlagen Recycling-Baustoffe (55,1 Mio. t im Jahr 2010) hergestellt.

Unter Berücksichtigung der Recycling-Gesteinskörnungen aus den Fraktionen Boden und Steine und Baustellenabfälle ergibt sich für das Jahr 2010 eine Gesamtmenge von 65,2 Mio. t hergestellter Recycling- (RC-) Baustoffe. An dieser Stelle sei erwähnt, dass der Betongehalt im RC-Baustoff im Bundesdurchschnitt ca. 44 - 49 % beträgt [Hauer, 2007]. Bei einer Anfallmenge von 50 - 60 Mio. t/a entspricht dies einer Menge von 22 - 29 Mio. t Betonsplitt im Output.

In Abhängigkeit von ihren bautechnischen und umweltrelevanten Eigenschaften sowie den stofflichen Zusammensetzungen wurden sie auf folgenden Wegen verwertet [8. Monitoringbericht Kreislaufwirtschaft Bau, 2013]:

- 53,8 % im Straßenbau,
- 22,4 % im Erdbau,
- 16,9 % als Gesteinskörnung in der Asphalt- und Betonherstellung und
- 6,9 % in sonstigen Anwendungen (überwiegend im Deponiebau).

Eine Vorhersage zukünftiger Entwicklungen bei Angebot und Nachfrage mineralischer Bauabfälle gestaltet sich schwierig, weil der Markt für RC-Baustoffe von Natur aus regional geprägt ist. Da es weder ökonomisch noch ökologisch Sinn macht, Recycling- Baustoffe über Hunderte von Kilometern durchs Land zu transportieren, werden das Angebot und die Nachfrage und damit die Marktchancen für mineralische Bauabfälle an den regionalen Gegebenheiten gemessen; diese Tatsache engt die Aussagekraft von überregio-

³⁴ <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Aufk.html> (aufgerufen am 10.04.2013).

nen (gesamtdeutschen) Statistiken zum Angebot und Verbrauch mineralischer Bauabfälle ein.

Dennoch lassen sich einige Tendenzen vorhersagen:

- In Deutschland altert die Bevölkerung; langfristig ist mit einer Abnahme der Bevölkerung zu rechnen. Man geht deshalb davon aus, dass das Bauen im Bestand gegenüber dem Neubau zunehmen wird.
- Es gibt seit einigen Jahren in Westdeutschland einen Trend des Zuzugs in die Städte. Der Bau von neuem Wohnraum auf dem Lande nimmt ab.
- In den neuen Bundesländern ist eine Abwanderung insbesondere von arbeitsfähigen, jungen Menschen zu beobachten. Die Gebäudeleerstände dort nehmen zu.

Es ist daher damit zu rechnen, dass der Bedarf an Baustoffen (und damit auch an RC-Baustoffen) in Westdeutschland zunehmen wird, Neu- und Umbauten übertreffen in ihrer Menge die Abbrüche/Rückbauten. Im Gegensatz dazu kann man in den neuen Bundesländern von einer sinkenden Nachfrage an Baustoffen und einem Überangebot von RC-Baustoffen ausgehen.

7.2 Einsatz von RC-Gesteinskörnungen bei der Herstellung von Beton

Die Qualitätsanforderungen (Eigenschaften, Qualitätsnachweis) an RC-Beton unterliegen den gleichen Normen und Regelwerken wie konventionell hergestellter Beton, jedoch ist die Verwendung von RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton an zusätzliche Vorgaben/Regelwerke gebunden.

Im Jahr 2002 trat die nationale Norm DIN 4226-100:2002-02 in Kraft. Sie wurde unter der Verantwortung des NABau-Arbeitsausschusses³⁵ „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel“ erarbeitet und legt spezielle bautechnische und umweltverträgliche Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen für die Verwendung in Beton und Mörtel fest.³⁶ Mit der Herausgabe der DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“, Ausgabe 2004-12 trat 2004 ein weiteres grundlegendes Regelwerk in Kraft. Diese DAfStb-Rili regelt und definiert klar die bautechnischen Anforderungen sowie die Restriktionen für den Einsatz der RC-Gesteinskörnungen in Beton.

Im Zuge der Harmonisierung von technischen Normen durch die Ausarbeitung europäischer Normen wurde die DIN 4226-100:2002-02 in großen Teilen (bautechnische Parameter) in die DIN EN 12620:2008-08 überführt. Die DAfStb-Rili wurde dementsprechend angepasst. Die aktualisierte Fassung aus dem Jahr 2010 lautet „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“.³⁷

Begründet durch die fehlende Übernahme der Anforderungen an die Inhaltsstoffe rezyklierter Gesteinskörnungen aus dem Anhang G der DIN 4226-100:2002-02 (Prüfung der Umweltverträglichkeit) wird in der DAfStb-Rili, Ausgabe 09/2010 determiniert, dass rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 keine umweltschädigenden Auswirkungen, insbesondere auf Boden und Grundwasser, haben dürfen. Verwiesen

³⁵ Normenausschuss Bauwesen des Deutschen Instituts für Normung

³⁶ DIN 4226-100:2002-02 „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel-Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“, S.3

³⁷ Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ausgabe Sept. 2010, Ersatz für Ausgabe Dez. 2004

wird auf die Bauregelliste³⁸ B Teil 1, Anlage 1/1.3. Gemäß dieser ist für rezyklierte Gesteinskörnungen die Umweltverträglichkeit mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nachzuweisen.³⁹

Aufgrund diverser Unsicherheiten zur Vorschriftensituation erläuterte der DAfStb im Nachgang der im September 2010 herausgegebenen o.a. Rili den Regelungsstand hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Beton⁴⁰.

Allerdings ist aktuell nicht geregelt, welche Grenzwerte zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von rezyklierten Gesteinskörnungen herangezogen werden müssen. Weder die derzeit gültige Normung, noch die DAfStb-Rili oder das DIBt, welches Herausgeber der Bauregellisten ist, nehmen dazu Stellung. Diese bestehende Regelungslücke muss dringend geschlossen werden. Denkbar wäre eine Aufnahme des Anhang G der DIN 4226-100 in die DIN EN 12620:2008-07.

Außerdem sind die Regelungen aus der Alkali-Richtlinie⁴¹ zugrunde zu legen, da rezyklierte Gesteinskörnungen per se zu den alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen zählen. Danach sind neben den Expositionsklassen (lastunabhängige Umwelteinwirkungen) die Alkali-Feuchtigkeitsklassen durch den Planer anzugeben. D.h., alle Gesteinskörnungen sind gemäß der Alkali-Richtlinie zu beurteilen und in Alkaliempfindlichkeitsklassen einzuteilen, um die Dauerhaftigkeit des Bauwerks sicher zu stellen. Daraus, d.h. im Ergebnis der Untersuchungen, ergeben sich für die Gesteinskörnungen ggf. Einschränkungen hinsichtlich ihrer Verwendung bzw. zum Einsatzgebiet. In Abbildung 40 sind nochmals alle derzeit gültigen Regelungen zusammengefasst.

³⁸ In der Bauregelliste B sind Bauprodukte aufgenommen, die nach den Vorschriften der EU, inkl. geltender deutscher Vorschriften, in den Verkehr gebracht werden dürfen und die die CE-Kennzeichnung tragen. Im Teil 1 der Bauregelliste B sind Bauprodukte gelistet, die die harmonisierten Vorgaben der europäischen Bauproduktenrichtlinie erfüllen [www.fm.rlp.de].

³⁹ Bauregelliste B Teil 1, Ausgabe 2014/1, Anlage 1/1.3, S. 179; abrufbar unter https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/data/BRL_2014_1.pdf, aufgerufen am 06.08.2013

⁴⁰ Erläuterung des DAfStb zum aktuellen Regelungsstand der Umweltverträglichkeit von Beton, 14. Dez. 2010

⁴¹ DAfStb-Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2011): Richtlinie. Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali- Reaktionen)“. Pkt. 3.

Abbildung 40: Regelwerke für die RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton

✓ Regelwerke für RC-GK zur Herstellung von RC-Beton	
Europäische Produktnorm / Deutsche Fassung	Mitgeltende deutsche Normen und Regelwerke
Gesteinskörnungen für Beton EN 12620:2008-07 (D) DIN EN 12620:2008-07 legt → Eigenschaften von GK fest, die durch Aufbereitung natürlicher, industriell hergestellter oder rezyklierter Materialien als Betonzuschlag gewonnen werden → QS-System zur WKP und für Konformitätsnachweis fest → für alle Betonsorten einschließlich Beton nach EN 206-1 und Straßenbeton, Betonfertigteile	▪ DIN 4226-100:2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen <i>(teilweise ersetzt durch DIN EN 12620:2008-07)</i> → Festlegung spezifischer baustofflicher und umweltverträglicher Anforderungen ▪ DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Reaktion)“. Pkt. 3, Ausgabe 2007-02, Ausgabe der Berichtigungen: 2010-04 und 2011-04
Beton EN 206-1:2000-12 DIN EN 206-1:2001-07 +A1:2004+A2:2005 Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	Beton ▪ DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zur DIN EN 206-1 ▪ DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“. Ausgabe 2010-09 (Ersatz für Ausgabe Dezember 2004) Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1 <i>(bisher: nach DIN 1045-1)</i>

[Mettke, 2014]

Konkrete Anforderungen, die an rezyklierte Gesteinskörnungen für die Verwendung im Beton gestellt werden, legt die DAfStb-Richtlinie fest und schränkt deren Einsatz wie folgt ein:

- Liefertyp 1 und 2,
- Korngröße > 2 mm,
- maximal zulässige Druckfestigkeitsklasse C 30/37,
- nur prozentuale Substitution natürlicher Gesteinskörnungen durch RC-Gesteinskörnungen,
- kein Einsatz in Spann- und Leichtbeton.

Der Ausschluss der Verwendung von Brechsanden < 2 mm und die Begrenzung des Anteils der rezyklierten Gesteinskörnungen in Abhängigkeit der Expositions- und Feuchtigkeitsklassen und der Lieferkornungstypen 1 und 2 ermöglicht, dass RC-Beton nach den Regeln des Normalbetons bemessen werden kann. Je nach Einsatzort des RC-Betons im Gebäude resp. der lastabhängigen und lastunabhängigen Belastung beträgt die Substitution natürlicher Gesteinskörnungen max. 45 Vol.-% (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%) und in Abhängigkeit von den Expositions- und Feuchtigkeitsklassen

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
Alkalirichtlinie (Betonkorrosion infolge AKR)	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 Expositionsklassen	Typ 1	Typ 2
WO (trocken)	Karbonatisierung XC1	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
WF1) (feucht)	Kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4		
	Frostangriff ohne Taumittleinwirkung XF11) und XF3 1) und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
	Chemischer Angriff (XA1)	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
1) zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4) DAfStb-Rili hinsichtlich Nachweis einer unbedenklichen Alkaliempfindlichkeitsklasse			

[Mettke, 2012]

7.2.1 CE-Kennzeichnung

Verantwortlich für die Gewährleistung einer gleichbleibenden Qualität von RC-Gesteinskörnungen ist deren Hersteller. Dieser muss sicherstellen, dass die von ihm produzierten RC-GK der aktuellen Normung und den Regelwerken sowie den darin angegebenen Eigenschaftskennwerten entsprechen.

Das Verfahren zum Nachweis der Übereinstimmung, bisher auch Konformitätsnachweis genannt, findet Anwendung bei Bauprodukten, für die harmonisierte europäische Normen (hEN) oder europäische technische Zulassungen (ETA - European Technical Approval) bestehen. Es kann aus einem oder mehreren Elementen bestehen:

- Erstprüfung des Bauproduktes durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
- Prüfungen von im Werk entnommenen Proben nach festgelegtem Prüfplan durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
- Stichprobenprüfung von im Werk, im freien Verkehr oder auf der Baustelle entnommenen Proben durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
- ständige Eigenüberwachung der Produktion durch den Hersteller (werkseigene Produktionskontrolle),
- Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle,
- laufende Überwachung, Beurteilung und Auswertung der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle.

Mit der in Deutschland seit dem 01.07.2013 eingeführten Bauproduktenverordnung ist der Hersteller der Gesteinskörnung u.a. zur Feststellung des Produkttyps (entspricht im Wesentlichen der Erstprüfung und der Feststellung der Eigenschaftskennwerte nach der DIN EN 12620) und zur Werkseigenen Produktionskontrolle (inkl. Zertifizierung durch eine dafür akkreditierte und notifizierte Stelle), zur Erstellung und Über-

gabe der passenden Leistungserklärung an den Kunden sowie zur CE-Kennzeichnung der Gesteinskörnung verpflichtet. Die Bewertung der Leistungsbeständigkeit, d.h., ob das Produkt der deklarierten Leistung entspricht, wurde bisherig mit dem Konformitätsnachweis erbracht. Die Aufgaben des Herstellers und der notifizierten (angezeigten) Stelle für den Konformitätsnachweis sind im Anhang ZA der Produktnorm DIN EN 12620 enthalten. Die WPK der Gesteinskörnungsproduzenten wird weiterhin nach dem System 2+ zertifiziert [Schumacher, 2013] (siehe auch nachstehende Abbildung 41).

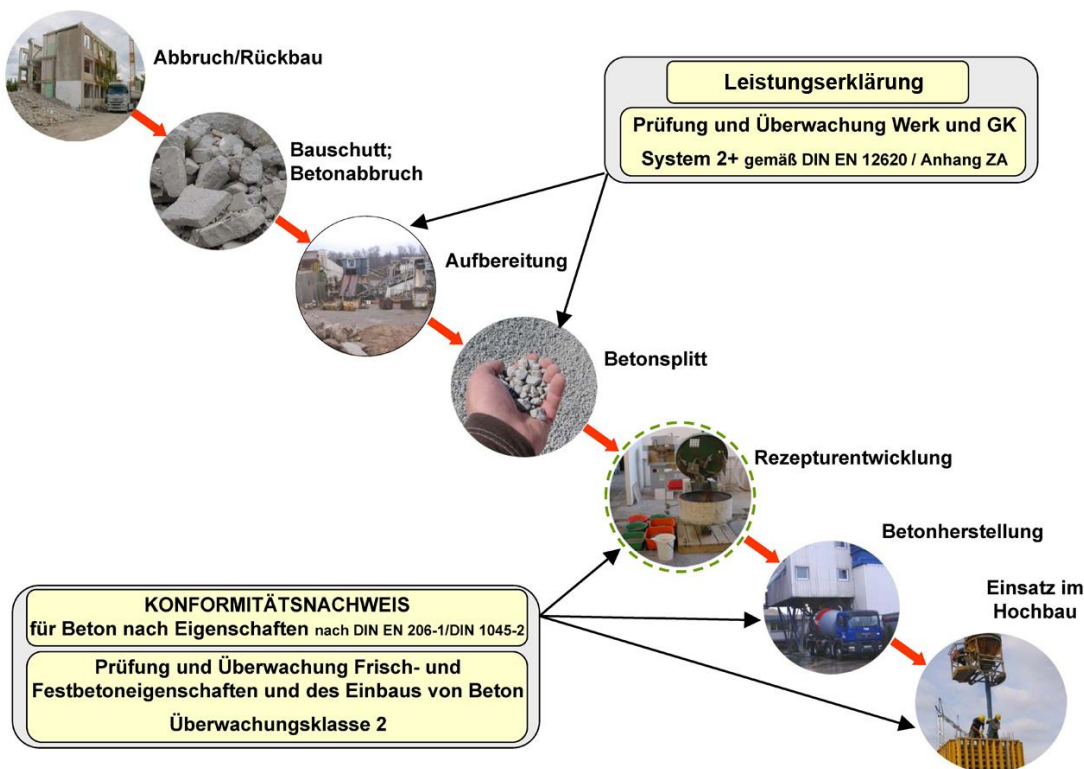
Konformitätskontrolle nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Zur Qualitätsüberwachung von Beton in einem Herstellerwerk gehören die Konformitäts- und Produktionskontrolle des Betonherstellers (Eigenüberwachung), die Überwachung und Bewertung der Produktionskontrolle durch eine anerkannte Überwachungsstelle (FÜ) sowie eine Zertifizierung der Konformität durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle. Bereits beim Abbruch/Rückbau ist das RAL-GZ 509 Abbrucharbeiten⁴² zu berücksichtigen.

Werden über die normativen Grundlagen hinaus höhere RC-Gesteinskörnungsanteile oder RC-GK der Liefer-typen 3 und 4 verwendet, wird für die Betonherstellung nach DIN 1045 eine Zulassung im Einzelfall erforderlich [Mettke, 2010].

Wie die Qualität zur Herstellung und Verarbeitung von RC-Beton gesichert wird, zeigt nachfolgende Abbildung 41.

Abbildung 41: Qualitätssicherung für die Herstellung und Verarbeitung von RC-Beton (Qualitätskette)



[Mettke, 2012]

⁴² RAL-Gütezeichen 509 Abbrucharbeiten. Gütegemeinschaft Abbrucharbeiten e.V.

7.2.2 Anforderungen an RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton

Um die geforderte Betonqualität gewährleisten zu können, müssen die eingesetzten RC-Gesteinskörnungen zahlreichen Anforderungen entsprechen.

Die Regelanforderungen, die an rezyklierte Gesteinskörnungen für die Verwendung im Beton gestellt werden, sind in der Tabelle 2 der DAfStb-Richtlinie Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen zusammengefasst (siehe Tabelle 8). Die entsprechenden Anforderungskategorien und dazugehörigen Prüfnormen liefert die DIN EN 12620:2008-07.

Tabelle 8: Regelanforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620:2008-07

Zeile	Eigenschaft	Abschnitte mit Anforderungen der DIN EN 12620:2008	Regelanforderungen nach DAfStb-Rili	
			Typ 1 Betonsplit	Typ 2 Bauwerksplit
1	Korngrößenverteilung	4.3		
1a	Grobe Gesteinskörnung mit $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$	4.3.2	$G_{c85/20}$	$G_{c80/20}$
1b	Korngemische	4.3.5	$G_A 90$	$G_A 85$
2	Kornform	4.4	Fl_{50} oder Sl_{55}	
3	Muschelschalengehalt für a. d. Meer gewonnene grobe Gesteinskörnung	4.5	SC_{NR}	
4	Feinanteile	4.4		
4a	Grobe Gesteinskörnung	4.6	f_4	
5	Kornrohdichte	5.5	$\geq 2.000 \text{ kg/m}^3$	
5a	Schwankungsbreite bezogen auf den vom Hersteller deklarierten Mittelwert der Kornrohdichte	5.5	$\pm 150 \text{ kg/m}^3$	
6	Widerstand gegen Zertrümmerung	5.2	LA_{NR} oder SZ_{NR}	
7	Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen	5.3	$M_{DE} NR$	
8	Widerstand gegen Polieren	5.4.1	PSV_{NR}	
9	Widerstand gegen Oberflächenabrieb	5.4.2	AAV_{NR}	
10	Widerstand gegen Abrieb durch Spike-Reifen	5.4.3	$A_N NR$	
11	Frost-Tau-Widerstand ^{a)}	5.7.1	F_4	
12	Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit	5.7.1	MS_{NR}	
13	Säurelösliches Chlorid	6.2	$\leq 0,04 \text{ \% Massenanteil}$	
14	Säurelösliches Sulfat für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	6.3.1	$AS_{0,8}$	
15	Gesamtschwefel für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	6.3.2	$\leq 1 \text{ \% Massenanteil}$	
16	Leichtgewichtige organische Verunreinigungen von grober Gesteinskörnung, natürlich zusammengesetzter Gesteinskörnung 0/8 und von Korngemischen	6.4.1 und G.4	$\leq 0,1 \text{ \% Massenanteil}$	
a) Alternativ kann der Frost-Tau-Widerstand rezyklierter GK auch mittels Betonprüfung nach Anhang A dieser Richtlinie nachgewiesen werden.				

[DIN EN 12620:2008-07; DAfStb-Rili]

Darüber hinaus werden weitere Anforderungen an die rezyklierten Gesteinskörnungen gestellt:

- stoffliche Zusammensetzung nach Abschnitt 5.8 der DIN EN 12620:2008-07,
- Angaben zur Wasseraufnahme nach 24 h (DIN EN 12620:2008-07) und nach 10 min (DAfStb-Rili),
- die Prüfung der Umweltverträglichkeit nach Anhang G der DIN 4226-100:2002,
- Bestimmung der Gehalte wasserlöslicher Sulfate und Chloride (DIN EN 12620:2008-07 und DIN 4226-100:2002-02) sowie
- Bestandteile die das Erstarren und Erhärten des Betons beeinflussen.

Stoffliche Zusammensetzung

Die Kennzeichnung der Bestandteile von groben rezyklierten Gesteinskörnungen erfolgt nach Abschnitt 5.8 der DIN EN 12620:2008-07 und die Einteilung in die Liefertypen 1 und 2 nach DAfStb-Rili Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen.

Tabelle 9: Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung der RC-GK zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN 12620 und DAfStb-Rili Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

	Beschreibung	Kategorie der Gesteinskörnung Zusammensetzung Massenanteil [%]	
		Typ 1 Betonsplit	Type 2 Bauwerksplit
Rc + Ru	Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton Ru: ungebundene Gesteinskörnungen, Naturstein, hydr.geb. GK	$R_{cu90} \geq 90 \text{ M.-%}$	$R_{cu70} \geq 70 \text{ M.-%}$
Rb	Rb : Mauerziegel (d.h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandstein, nicht schwimmender Porenbeton	$R_{b10} \leq 10 \text{ M \%}$	$R_{b30} \leq 30 \text{ M \%}$
Ra	Ra : Bitumenhaltige Materialien	$R_{a1} \leq 1 \text{ M.-%}$	
X + Rg	X : sonst. Materialien: bindige Materialien (d.h. Ton und Boden), verschiedene sonst. Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Gummi, Gips und Kunststoff Rg: Glas	$X_{Rg1} \leq 1 \text{ M.-%}$	$X_{Rg2} \leq 2 \text{ M.-%}$
FL	FL : Schwimmendes Material im Volumen	$FL_2 \leq 2 \text{ cm}^3/\text{kg}$	

[Mettke/ Schmidt]

7.2.3 Status quo

Die Anforderungen an die Verwertungswege für mineralische RC-Baustoffe haben sich aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse hinsichtlich des Grundwasser- und Bodenschutzes in den letzten Jahren verändert. Gleichwohl wird die Verfügbarkeit an Deponieräumen immer knapper.

Daher wird es unumgänglich – sowohl aus Sicht des Ressourcenschutzes als auch aus Gründen der Entsorgungssicherheit – für Bau- und Abbruchabfälle die bestehenden Verwertungswege auszubauen und neue Verwertungswege, speziell im Hochbau, zu erschließen.

Das am 01.06.2012 in Kraft getretene Kreislaufwirtschaftsgesetz⁴³ (KrWG) fordert, dass bis zum Jahr 2020 mind. 70 % der nicht gefährlichen Bauabfälle wiederverwendet, recycelt oder anderweitig stofflich verwertet wird.

Mit dem Programm „ProgRess“ [Kaiser, 2012] untersetzt die Bundesregierung die Steigerung der Ressourceneffizienz und verweist auf Möglichkeiten und Instrumente für ein nachhaltiges, ressourcenschonendes Wachstum in allen Wirtschaftsbranchen. Ausdrücklich wird hierin auf die Bedeutung des Recyclings und die Verwertung von mineralischen Bauabfällen hingewiesen.

Für die Umsetzung der neuen Zielvorgaben (vgl. KrWG und ProgRess) ist es unerlässlich, Ressourcen nachhaltig zu nutzen und die Effizienz zu steigern.

Die Verwendung von RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Konstruktionsbeton ist in Deutschland derzeit noch keine gängige Praxis. Zwar konnte zum wiederholten Male im Rahmen wissenschaftlich begleiteter Untersuchungen [Knappe/Mettke, 2011] (gefördert von der DBU) belegt werden, dass die Eigenschaften von RC-Betonen mit Normalbetonen vergleichbar sind. Der Einsatz von Sekundärbaustoffen im Hochbau beschränkt sich jedoch auf einige wenige Pilotprojekte bzw. nur territorial auf Ballungsräume, wie z.B. die Region Stuttgart.

In der Schweiz ist der Einsatz von RC-Beton bereits gängige Praxis. So hat beispielsweise die Stadt Zürich per Erlass festgelegt, dass beim öffentlichen Bauen von Schulen, Sporthallen, Verwaltungsgebäuden und beim sozialen Wohnungsbau gezielt RC-Beton einzusetzen ist. Die Verwendung von Normalbeton ist nur in begründeten Fällen zulässig.

Die Übertragung dieser Vorgehensweise auf Deutschland ist denkbar. Im Vorfeld muss jedoch intensive Aufklärungsarbeit hinsichtlich des Einsatzes von RC-Beton geleistet werden. Durch Gespräche mit den einzelnen Akteuren der Baubranche können die bestehenden, unberechtigten Vorbehalte abgebaut werden. Entsprechende Maßnahmen der öffentlichen Hand, wie z.B. Regelungen in Ausführungsbestimmungen und Verwaltungsvorschriften (angelehnt an die Erlasse der Schweiz), die den Einsatz von RC-Beton explizit fordern, werden dringend benötigt (siehe Kapitel 7.2.5).

Nachstehende

Abbildung 42 zeigt Beispiele von Bauprojekten, bei denen RC-Beton in jüngster Vergangenheit in Deutschland verbaut wurde.

⁴³ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

Abbildung 42: Hochbauprojekte unter Verwendung von RC-Beton



Ludwigshafen/Wohnhaus [Mettke] | Heilbronn/Büro- und Lagergebäude [Heilbronn] | Malsch/Verwaltungsgebäude [rc beton]

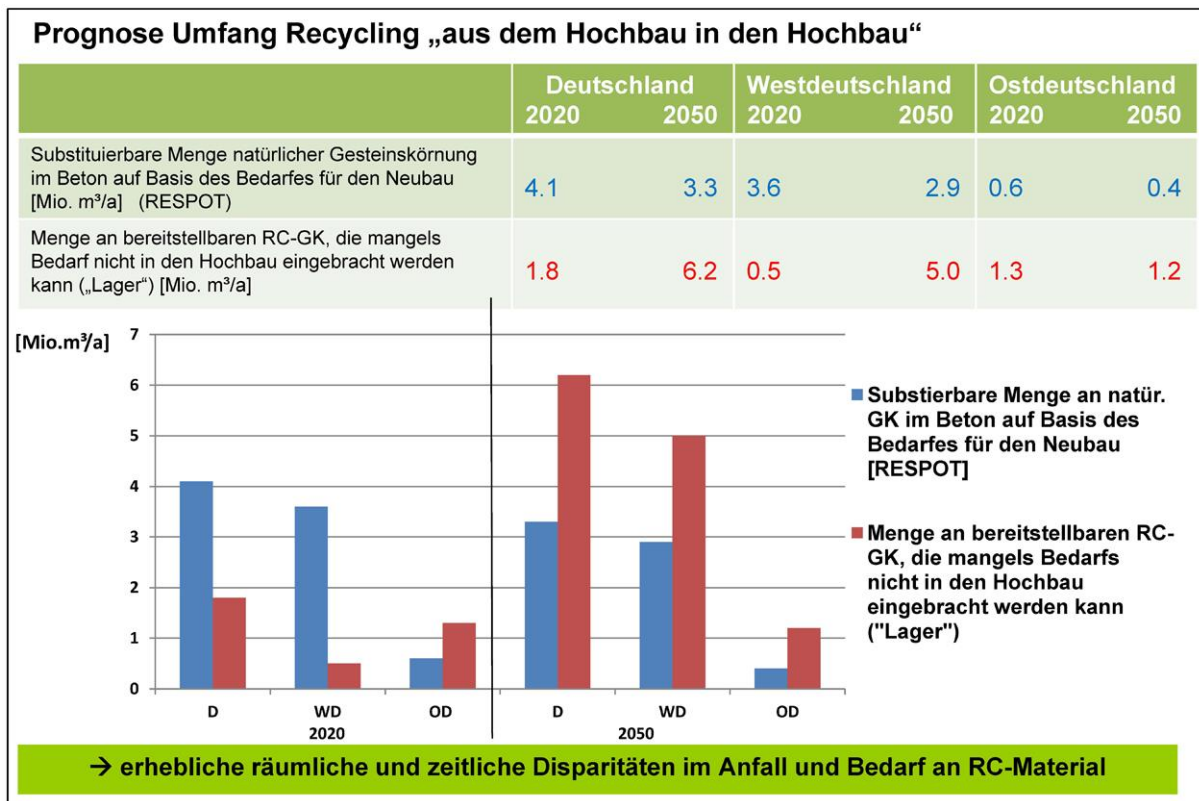
Tabelle 10: Überblick zu Hochbauprojekten unter Verwendung von RC-Beton

Standort/Projekt	Betonmenge	Festigkeitsklasse	Fertigstellung
Ludwigshafen/Wohnhaus	500 m ³	C 30/37	2009/2010
Heilbronn/Büro- u. Laborgebäude (WTZ)	1.250 m ³ (WTZ I) + 1.400 m ³ (WTZ II)	C 8/10, C 25/30 und C 30/37	2013
Winnenden/Wohnhäuser 100 m ³ Sauberkeitsschicht, 550 m ³ Decke über Keller, 850 m ³ AW Keller + Fundamente, 100 m ³ Bodenplatte, 100 m ³ Aufzugsunterfahrten)	1.700 m ³	C 12/15, C 25/30	2011
Stuttgart-Ost/2 MFH mit 16 WE 130 m ³ Tiefgarage + Untergeschoss, 725 m ² Bodenplatte + Decken, 55 m ³ Aufzugsschachtwände, 170 m ³ Dach- und Kniestock	1.080 m ³	C 12/15, C 20/25 und C 25/30	2011
Ludwigshafen-Gartenstadt/EFH 50 m ³ Aufbeton Filigrandecken, 40 m ³ Bodenplatte	90 m ³	C 20/25 und C 25/30	2010
Malsch/Verwaltungsgebäude Bodenplatte, Fundamente, Geschossdecken	96 m ³	C 25/30 und C 8/10	2010

[Mettke]

Trotz der geringen Praxisanwendungen ist dennoch festzuhalten, dass große Potenziale für die Verwendung von RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Konstruktionsbeton bestehen. In einer Studie des IÖR zum Recyclingpotenzial „aus dem Hochbau in den Hochbau“ [Schiller/Deilmann, 2010] wird prognostiziert, dass sogar mittelfristig (2020) ein Überschuss an RC-Gesteinskörnungen für ein hochwertiges Recycling besteht. Dies betrifft größtenteils Regionen mit geringem Neubau, aber hoher Abbruchtätigkeit. Für 2050 (Langfristbetrachtung) wird vorausgesagt, dass bundesweit ein solcher Überschuss existieren wird.

Abbildung 43: Zu erwartende Potenziale eines hochwertigen Recyclings von im Beton eingesetzten Gesteinskörnungen und entstehende Lager in 2020 und 2050



[aus Schiller/Deilmann, 2010, S. 20, 22]

Städtische Ballungsräume bieten beste Voraussetzungen für den Einsatz von RC-Beton, denn dort fallen große Mengen an Bauschutt an, RC-Anlagen befinden sich im Einzugsgebiet und zugleich werden für (Ersatz-)Neubauten große Mengen an Gesteinskörnungen für den Massenbaustoff Beton benötigt.

Laut Aussage des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB) werden in Deutschland jährlich 48 Millionen Kubikmeter⁴⁴ Beton hergestellt. Ausgehend davon, dass für die Herstellung von einem Kubikmeter Beton etwa 1.800 kg Gesteinskörnung benötigt werden, muss eine Gesamtmenge von 86,4 Mio. t natürlicher Gesteinskörnung pro Jahr nur für die Herstellung von Beton abgebaut werden. Dem gegenüber stehen ca. 43 Mio. t Sekundärrohstoffe, die aus der Bauschuttaufbereitung stammen und aktuell zu annähernd 100 % im Tiefbau eingesetzt werden. Schon allein durch den anteiligen Einsatz von rezykliertem anstelle von natürlicher Gesteinskörnung im Beton gemäß könnte ein enormer Schritt in Richtung Ressourceneffizienz gegangen werden.

7.2.4 Hemmnisse

Mineralische Bauabfälle können in RC-Anlagen qualitätsgerecht aufbereitet werden, so dass sie als hochwertige, gütegesicherte Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) verwertbar sind.

Je sortenreiner das Ausgangsmaterial bereitgestellt werden kann, desto hochwertiger kann es aufbereitet und verwertet werden. Eine hochwertige und zugleich wirtschaftlich wie technisch sinnvolle Verwertung ist anzustreben, um die vorhandenen Materialeigenschaften optimal auszunutzen. Eine hochwertige Ver-

⁴⁴ <http://www.baulinks.de/webplugin/2012/1567.php4>, aufgerufen am 20.06.2013

wertung ist z.B. dann gegeben, wenn aufbereiteter Betonbruch aus dem Hochbau zur Herstellung von Konstruktionsbeton verwendet wird, dessen Einbauort wiederum der Hochbau ist.

Als Hemmnisse können nachfolgende Punkte aufgeführt werden, die einem hochwertigen Einsatz von RC-Gesteinskörnungen im Beton aus derzeitiger Sicht entgegenstehen bzw. diesen einschränken:

- mangelnde Akzeptanz und negatives Image von Recyclingbaustoffen,
- keine sortenreine Erfassung der verschiedenen Baustofffraktionen,
- die Vielfalt der Regelwerke führen zur Unübersichtlichkeit; Anwender sind überfordert und irritiert,
- finanzieller und zeitlicher Mehraufwand bei Beurteilung der Eignung der RC-Materialien, hohe Qualitätsanforderungen/hoher Qualitätsanspruch an RC-Materialien und daher zusätzliche Prüfung von bautechnischen Parametern (Zusammensetzung, Rohdichte, Wasseraufnahme, UVP) im Labor, Prüfhäufigkeit,
- Unklarheiten über das Ende der Abfalleigenschaft,
- Ausschreibungen für Beton erfolgt hauptsächlich nur mit natürlichen Gesteinskörnungen (keine Schadstoffuntersuchungen gefordert), erschwerter Marktzugang von RC-Baustoffen,
- mangelnde Kenntnisse und Erfahrungen zur Verwendung von RC-Beton,
- z.T. wirtschaftliche Erwägungen.

7.2.5 Handlungsempfehlungen/Lösungsansätze

Zur Herstellung von hochwertigen RC-Baustoffen ist ein Zusammenspiel der beteiligten Akteure der mineralischen Sekundärrohstoffbranche (Abbruch-, Aufbereitungs- sowie Transportbetonunternehmen) unumgänglich, da der Grundstein bereits beim Abbruch von Gebäuden resp. baulichen Anlagen gelegt wird. Jedoch ist ein Einsatz von RC-Baustoffen im Hochbau nur dann gegeben, wenn dies bereits in der Planungsphase von Baumaßnahmen und in der Ausschreibung produktneutral zur Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen zur Betonherstellung berücksichtigt wird. An dieser Stelle sind die Planer, Architekten und Bauherren gefragt.

Abbildung 44: Zusammenspiel der Akteure



[Mettke/ Schmidt]

Auf Grund des umfangreichen Regelwerkes zur Verwendung von RC-Gesteinskörnungen im Beton und der mangelnden Erfahrung im Umgang mit diesem Baustoff bestehen bei allen Beteiligten massive Informationsdefizite und Unsicherheiten. Um diese kontinuierlich abzubauen, sind gezielte und ständig fortlaufende Schulungen der beteiligten Akteure sowie eine intensivere Kommunikation untereinander erforderlich.

Hierfür ist die Einrichtung einer langfristigen und nachhaltigen Informationsplattform zur transparenten und allgemein zugänglichen Informationssicherung und zum Informationsaustausch zu empfehlen. Diese Plattform muss einer stetigen Aktualisierung unterliegen.

Zur Stärkung des Einsatzes von RC-Beton ist zusätzliche Lobbyarbeit zu leisten und das Marketing auszubauen.

Bei der Planung und Ausschreibung sollte die öffentliche Hand Ihrer Vorreiterrolle gerecht werden, indem sich neutral ausgeschriebene Baustoffe in den Leistungsbeschreibungen wiederfinden, was derzeit nicht den Normalfall darstellt.

Jüngste diesbezügliche Aktivitäten werden unter Mitwirkung von Frau Dr. Mettke in Berlin vorbereitet. Der Senat Berlin hat neben einem Rundschreiben zur Verwendung von RC-Beton anstelle von Normalbeton auch ein Bonussystem zur monetären Verwertung der Umweltentlastung durch den Einsatz von RC-Beton empfohlen.

7.3 Einsatz von RC-Mineralgemischen

7.3.1 Anforderungen an die Gesteinskörnungen und Status Quo

Eine Übersicht über bautechnische Regelwerke, in die Recyclingbaustoffe europäisch und national eingebunden sind, gibt die nachfolgende Tabelle 11.

Tabelle 11: Bautechnische Regelwerke (Europa und Deutschland)

EN	DIN und Regelwerke		
	Anwendungsnormen Hochbau	Restnormen RC-Körnung	Anwendungsregel Straßenbau
EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton	DIN V 20000-103 DIN EN 206-1/ DIN 1045-2	DIN 4226-100 bzw. TP Gestein-Stb	TL Gestein-Stb und TL Beton-Stb
EN 13139 Gesteinskörnungen für Mörtel	DIN V 18580	DIN 4226-100	-
EN 13242 Gesteinskörnungen für hydraulisch gebundene und ungebundene Tragschichten	-	TL Gestein-Stb	TL Gestein-Stb und TL SoB-Stb
EN 13043 Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen	-	TL Gestein-Stb	TL Gestein-Stb und TL Asphalt-Stb

[BRB, 2005]

Die TL Gestein-StB, Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau 10, regelt u.a. auch die Anforderungen, denen Rezyklate beim Einsatz als Straßenbaumaterialien unterliegen. Die TL Gestein-StB gelten für die Lieferung von Gesteinskörnungen, Asphalt, hydraulisch gebundene und ungebundene Baustoffgemische zur Herstellung von Schichten im Straßenoberbau. Sie enthalten demzufolge alle relevanten Anforderungen an natürliche, industriell hergestellte und rezyklierte Gesteinskörnungen und -gemische für den Straßenoberbau.

Hinsichtlich der möglichen stofflichen Zusammensetzung ergibt sich für Mauerwerkskomponenten ein ähnliches Bild, wie es bereits für den Einsatz im Konstruktionsbeton deutlich wurde:

Tabelle 12: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB 04, Ausgabe 2004/ Fassung 2007) Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von RC-Baustoffen

Stoffgruppe	M.-%
Asphaltgranulat im Anteil > 4 mm	≤ 30
Klinker, Ziegel und Steinzeug im Anteil > 4 mm	≤ 30
Kalksandstein, Putze und ähnliche Stoffe im Anteil > 4 mm	≤ 5
mineralische Leicht- und Dämmbaustoffe, wie Poren- und Bimsbeton im Anteil > 4 mm	≤ 1
Fremdstoffe wie Holz, Gummi, Kunststoffe und Textilien im Gemisch	≤ 0,2

[TL Gestein-StB 04, Ausgabe 2004/ Fassung 2007]

Tabelle 12 beschreibt die Nebenbestandteile, die außer Betonbruch in den Gesteinskörnungen enthalten sein dürfen. Man erkennt, dass neben Asphaltgranulat ausgewählte Mauerwerksbestandteile (in der Hauptsache Ziegel) in Korngrößen > 4 mm in bestimmten prozentualen Höchstmengen als Nebenbestandteile vorhanden sein dürfen. Für Ziegelmateriale bestehen hier nennenswerte Verwertungsmengen, weitere Mauerwerkskomponenten sind nur untergeordnet zugelassen.

Die in diesem Kapitel beschriebenen Verwertungswege favorisieren eindeutig den Betonbruch, Mauerwerksbruch ist immer nur eingeschränkt als Nebenbestandteil zugelassen. Die Qualitätsstandards haben natürlich entscheidenden Einfluss auf das Baustoffrecycling und die Marktchancen rezyklierter mineralischer Bauabfälle; sie bestätigen damit das, was sich seit jeher auf den stationären RC-Anlagen beobachten lässt: Die Marktchancen für Betonbruch sind befriedigend bis gut; Mauerwerksbruch -insbesondere als Gemisch - lässt sich kaum absetzen.

Aus den obigen Ausführungen folgt, dass für einen gemischten Mauerwerksbruch, der keinen oder nur geringe Mengen an Beton enthält, lediglich untergeordnete Verwertungswege bei Verfüllungen bzw. im offenen, ungebundenen ländlichen Wegebau verbleiben. Offene ungebundene Bauweisen bergen aber immer die Gefahr von Auslaugungen von Schadstoffen; insofern ergaben sich bisher entsprechende Einschränkungen, die auch in der Zukunft mit der geplanten Mantelverordnung, die in Kapitel 11.4 beschrieben ist, bestehen werden oder sich noch verschärfen. Gemischter Mauerwerksbruch ist zumindest potentiell als Mauerwerksbildner in seiner primären Nutzungsphase möglicherweise mit Gipsputzen belegt worden, die sich erfahrungsgemäß auch in der Aufbereitung nicht vollständig vom Untergrund lösen lassen. Insofern ist hier immer mit höheren Sulfatauslaugungen zu rechnen.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass für gemischten Mauerwerksbruch mit nur geringen oder keinen Betonanteilen keine höherwertigen Verwertungswege offen stehen. In der Zukunft ist eher hinsichtlich der Umweltverträglichkeit mit weiteren Restriktionen zu rechnen, so dass sich die Verwertungschancen für dieses Material noch verschlechtern werden.

Ein typisches Einsatzgebiet für den gemischten Mauerwerksbruch ergibt sich im Zuge von Tiefbaumaßnah-

men im Erdbau, für Verfüllungen oder Ähnliches. Die Anforderungen an das Material sind aus bautechnischer Sicht relativ gering; sie sind in der ZTV E-Stb⁴⁵ und in der TL BuB E⁴⁶ geregelt.

Neben der Einhaltung von Umweltparametern ist bzgl. der Zusammensetzung nur der Anteil an Altasphalt begrenzt. Theoretisch kann für diesen Anwendungsfall gemischter Mauerwerksbruch zu 100 % verwendet werden.

7.3.2 Einschätzung/Hemmnisse

Abbruch

Grundsätzlich kann bereits an dieser Stelle festgehalten werden, dass dem Abbruch/Rückbau bzgl. späterer Verwertungsmöglichkeiten eine Schlüsselrolle zukommt, die dieses Gewerk aus verschiedenen Gründen nicht oder bisher noch nicht ausreichend wahrnimmt oder wahrnehmen kann. Je sortenreiner abgebrochen wird, desto bessere und zahlreichere Verwertungsmöglichkeiten eröffnen sich für ein Material. Ein nicht getrenntes Mauerwerksgemisch lässt sich später nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand wieder trennen (Handsortierung, Setzmaschine etc.). Die Verwertungsoptionen für nicht-getrennten, gemischten Mauerwerksbruch sind wie oben ausgeführt gering und technisch als wenig anspruchsvoll zu bezeichnen.

Die heutige typische Abbruchbaustelle trennt zumeist die nachfolgenden Materialien:

- Beton, Betonteile, Pflastersteine aus Beton, Naturstein
- Fremdbestandteile (im Gegensatz zu den mineralischen Komponenten), nämlich Hölzer, Metalle, Kunststoffe, Mineralwolle etc.
- Gipskartonplatten, großformatige Porenbetonelemente, KS-Elemente
- Mauerwerksbruch als oben beschriebenes Gemisch.

Der selektive Rückbau verbessert die Sortierungstiefe, so dass z.B. für den Mauerwerksbruch eine weitere Auftrennung in einzelne Materialien wie Porenbeton, Kalksandstein, Ziegel etc. möglich wird.

Abbrüche ohne jegliche Trennung sind mittlerweile eher selten, weil der anfallende Abfall nur mit hohen Kosten beseitigt (deponiert) werden kann.

Die Hinderungsgründe gegen einen selektiven Rückbau können vielfältig sein; einige Punkte seien hier aufgezählt:

- **Vorgaben des Bauherrn;** hier können finanzielle Gründe, Zeitaspekte etc. eine Rolle spielen. Man darf nicht vergessen, dass für den Bauherrn meist der Abfall-Entledigungswille im Vordergrund steht; ökologischer Ressourcenschutz tritt dabei in den Hintergrund.
- **Kostengesichtspunkte;** zu diesem Punkt werden immer wieder nachgewiesene Beispiele zitiert, welche belegen, dass der sortenreine Rückbau am Ende bei den Kosten sogar günstiger ausfällt als der unkontrollierte Rückbau, weil beim kontrollierten Rückbau weniger minderwertige Materialgemische anfallen, die keine oder nur geringe Erlöse bringen oder sogar mit zusätzlichen Kosten deponiert werden müssen⁴⁷. Dieses Argument verliert schnell an Gewicht, wenn im Lande immer noch genügend kostengünstige Deponien bestehen, die zu geringen Annahmepreisen die minder-

⁴⁵ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, ZTV E-StB (2009).

⁴⁶ Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus; TL BuB E-StB (2009).

⁴⁷ Schultmann, Frank: Projektplanungsmodelle und -methoden für den Rückbau von Gebäuden; <http://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/16>, aufgerufen am 09.08.2013

wertigen Gemische abnehmen.

- **Zeitwänge**; unstrittig ist, dass der selektive Rückbau gegenüber einem konventionellen Rückbau mehr Zeit beansprucht. In Zeiten, in denen das Baugeschehen zunehmend von Kosten-/Zeitersparnis dominiert wird, kann der selektive Rückbau hier ins Hintertreffen geraten.
- **Fehlendes Raumangebot** in Städten bei der Getrenntlagerung

Bauherren

Ein großer Teil von RC-Baustoffen wird im Straßenbau verwertet. Beim Straßenbau tritt die Öffentliche Hand als Bauherr auf und entscheidet über die Materialauswahl. Die Bereitschaft zum Einsatz von RC-Materialien ist nach persönlichen Erfahrungen in vielen Verwaltungen, sei es aus Unkenntnis oder aus Vorsicht oder Skepsis, nicht überall vorhanden. Bei gewerblichen und privaten Bauherren kann erwartet werden, dass Unkenntnis und Skepsis dort noch stärker ausgeprägt sind.

Rechtsunsicherheit

Die übergeordneten rechtlichen Aspekte werden in einem eigenen Kapitel später diskutiert. Die Verwertung von mineralischen RC-Baustoffen vollzieht sich im Augenblick nach Ansicht der Autoren in einer rechtlichen Grauzone. Wie ist eine Einbaumaßnahme im Straßenbau juristisch zu bewerten, wenn diese bzgl. der Umweltverträglichkeit auf der Basis von LAGA-Werten durchgeführt wurde, die LAGA jedoch keine eindeutige rechtliche Verbindlichkeit mehr gewährleistet? Die daraus resultierende Unsicherheit dürfte eine nicht unerhebliche Rolle bei der Entscheidung spielen, ob RC-Baustoffe eingesetzt werden oder nicht.

Wettbewerb zwischen Primär- und Sekundärbaustoffen

RC-Baustoffe stehen seit eh und je in einem direkten Wettbewerb zu mineralischen Primärbaustoffen wie Sand, Kies oder Naturbrechgesteinen. Wie für andere Produkte auch erwartet der Markt aber von den RC-Baustoffen einen merklichen Preisvorteil.

Wenn Primärbaustoffe aber so hergestellt, angeboten oder sogar importiert werden können, ohne dass sich daraus eine deutlich höhere Preisdifferenz zu den RC-Baustoffen ergibt, gibt es für den Bauherren, egal ob privat oder öffentlich, zumindest keinen finanziellen Anreiz, RC-Baustoffe zu verwenden. Preisunterschiede zwischen RC- und Primärbaustoffen können meist nicht generalisiert betrachtet werden; sie sind je nach Region starken Unterschieden unterworfen.

Sulfatproblematik

Abgesehen von einigen speziellen Industrieabbrüchen ist mineralischer Bauschutt kaum mit Schadstoffen belastet. Dies belegen jahrzehntelange Ergebnisse aus der Eigen- und Fremdüberwachung von RC-Baustoffen. Zwei Parameter sorgen jedoch immer wieder dafür, dass mineralische Baureststoffe mit höheren Belastungen in schlechtere Verwertungskategorien eingeordnet oder gar ausgeschleust werden müssen: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Sulfat.

Während die Gefährlichkeit von PAKs (insbesondere Benzo(a)pyren) wegen human- und ökotoxischer Wirkungen außer Frage steht, ist dies für den Parameter Sulfat nicht der Fall. So sah sich z.B. eine WHO-Studie zur Angabe eines Grenzwertes bzgl. der Humantoxizität von Sulfaten beim Menschen nicht in der Lage⁴⁸; es wurde lediglich ein Wert von 500 mg/L aufgrund der Tatsache vorgeschlagen, dass ab diesem Wert Trinkwasser einen leicht bitteren Geschmack erhält. Unstrittig ist auch, dass Sulfate in höheren Kon-

⁴⁸ http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf. aufgerufen am 16.05.2013

zentrationen in metallischen Trinkwasserleitungen Korrosion hervorrufen können.

Während die Detektion und Separierung von PAK im Bauschutt, die ihren Ursprung zumeist in der früheren Verwendung von Steinkohlenteer im Straßenbau, Dachpappen und Isolieranstrichen haben, technisch machbar ist, gestaltet sich dies für Sulfat weitaus schwieriger.

Sulfate im Bauschutt haben ihren Ursprung, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in der Verwendung von Gips (Calciumsulfat) als Baustoff:

- in Gipskartonplatten,
- in gipsgebundenen Fließestrichen und
- in Gipsputzen.

Die Verwendung von Gips als Baustoff hat viele Vorteile, Gipsleim lässt sich leicht verarbeiten, Gips ist ein kostengünstiger, energiearmer Baustoff, die Verarbeitungszeiten sind gezielt steuerbar, und Gips härtet rasch und spannungsarm (im Gegensatz zu zementären Baustoffen) aus. Dabei ist die Verwendung von Gips selbst ein gelungenes Beispiel für die Rückführung von industriellen Abfällen/Nebenprodukten zurück in den Baustoffkreislauf: Etwa 80 % der in Deutschland verwendeten Gipse werden aus sogenanntem REA-Gips hergestellt, ein Abfallprodukt aus der Entschwefelung der Rauchgase aus Kohlekraftwerken. [Müller, 2012]

Gipskartonplatten werden meist bereits heute beim Rückbau von Gebäuden separiert (ein Recyclingsystem ist im Aufbau). Auch die getrennte Separierung von Fließestrichen, sofern sie auf Trennfolie oder Dämmung "schwimmend" appliziert wurden, ist technisch ohne größere Probleme möglich.

Einzig beim Gipsputz, der von seiner Zweckbestimmung ein gutes Haftvermögen auf Wänden und Decken aufweisen soll, gelingt dies bis heute nicht. Ein manuelles Entfernen von den Wandbaustoffen oder mehrmaliges späteres Waschen der Baustoffe wäre mit einem erheblichen Aufwand und Kosten verbunden. Beim Aufbereiten von Mauerwerk zu RC-Baustoffen (Mauerwerksbruch) in einer Brecheranlage wird zwar der weiche Gips in erheblichem Umfang vom härteren Rezyklatkorn abgeschlagen und findet sich (wie andere Schadstoffe auch), angereichert in der Feinfraktion. Es lässt sich jedoch nicht vermeiden, dass Reste von anhaftendem Gipsputz im RC-Baustoff verbleiben. Bei einer anschließenden Eluatuntersuchung, sei es im Säulen- oder Schüttelverfahren, finden sich erhöhte Sulfatwerte im Eluat, die bei entsprechend anspruchsvollen Grenzwerten, wie sie auch im letzten Entwurf der Ersatzbaustoff-Verordnung formuliert wurden, eine Verwertung erschweren, einschränken oder gar verhindern.

Es ist zu erwarten, dass die Verwendung von Gipsbaustoffen aus den oben genannten Vorteilen, in der Zukunft noch zunehmen wird. Dies lässt den Schluss zu, dass die Sulfatproblematik das mineralische Baustoffrecycling auch in Zukunft beschäftigen wird. Die Sulfatproblematik bei Gipsputzen in der Baustoffaufbereitung ist technisch bisher nicht gelöst. [Müller, 2012]

7.3.3 Handlungsempfehlungen und Lösungsansätze

Wie oben angeführt, besteht ein erhebliches Hemmnis zur Verwendung von RC-Baustoffen allgemein in der bisher nicht (oder nur unzureichend) vorhandenen Bereitschaft der Bauherren, seien es private oder öffentliche, derartige Ersatzbaustoffe auch einzusetzen. Die Skepsis resultiert einerseits aus dem nicht vorhandenen Wissen über Möglichkeiten und Grenzen zum Einsatz derartiger Baustoffe sowie andererseits aus einer Skepsis, möglicherweise resultierend aus negativen Erfahrungen aufgrund von einigen wenigen Einzelbeispielen. Dabei wird übersehen, dass seit Jahrzehnten mit gutem Erfolg RC-Baustoffe eingesetzt werden oder eingesetzt worden sind.

Hier kann die Öffentliche Hand, wenn sie als Bauherr auftritt, eine Vorreiter- und Vorbildfunktion wahrnehmen. Diese könnte darin bestehen, dass in Ausschreibungen für öffentliche Bauvorhaben bevorzugt RC-

Baustoffe ausgeschlossen werden; auch wenn man dabei nicht übersehen darf, dass es rechtliche Vorbehalte gegen eine solche Vergabepaxis geben könnte; denn, kann man einen Bieter, der die gleiche Leistung zum gleichen Preis mit Primärbaustoffen anbietet, nur aufgrund der Tatsache, dass es sich nicht um RC-Baustoffe handelt, von der Vergabe ausschließen?

Mangelnde Bauherren-Kenntnisse über Möglichkeiten zum Einsatz von RC-Baustoffen lassen sich dauerhaft nur über gezielte und verbesserte Informationen und Praxisbeispiele beheben. Hier haben die öffentliche Hand und die Verbände bis heute erhebliche Aufklärungsarbeit geleistet; diese Anstrengungen müssen weiter fortgeführt werden.

Wenn auch, wie oben ausgeführt, ein Preisvergleich zwischen RC- und Primärbaustoffen regional sehr unterschiedlich ausfallen kann, je nachdem, in welcher Region welche Primär- und RC-Baustoffangebote vorhanden sind, bleibt dennoch festzuhalten, dass die Preisunterschiede zwischen Beiden mitunter sehr gering ausfallen.

In diesem Zusammenhang werden weitere Restriktionen für den Einsatz unbelasteten Bauschutts auf Deponien diskutiert [Knappe/Dehoust, 2012], welche die Abbruch- und Verwertungssituation verändern können, wenn die Materialien (nun nicht mehr in Konkurrenz zu den günstigen Deponien) zu entsprechend auskömmlichen Annahmepreisen den RC-Anlagen angedient werden. Ein generelles Deponierungsverbot für mineralische Bauabfälle macht aber nur dann Sinn, wenn auf der anderen Seite praktikable und kostenakzeptierte Alternativlösungen zur Verwertung z.B. von Mauerwerksbruch zur Verfügung stehen.

In diesem Zusammenhang wird auch eine Einführung einer umweltpolitisch motivierten Entnahmesteuer auf mineralische Primärbaustoffe diskutiert, die diese automatisch verteuern würde [Ludewig/Meyer, 2012].

Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Verwertung von mineralischen Bauabfällen werden in einem gesonderten Kapitel diskutiert. Es kann aber bereits an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass die augenblickliche Situation in Deutschland nicht befriedigen kann. Grenzwertfestlegungen aufgrund von alten LAGA-Werten, so wie sie augenblicklich mangels Alternativen noch immer gebräuchlich sind, müssen als rechtlich nicht 100%ig bindend angesehen werden. Die tatsächlichen Auswirkungen dieser rechtlichen Grauzone können nur abgeschätzt und kaum in Zahlen konkretisiert werden. Es bedarf jedoch wenig Phantasie, sich vorzustellen, dass rechtliche Unverbindlichkeiten insbesondere bei naturgemäß kostenintensiven Baumaßnahmen aller Art nicht zur Vertrauensbildung bei den Bauherren beitragen.

Insofern wird dringend eine bundesweit einheitliche, praxistaugliche, konsensfähige Verordnung zur Verwendung von RC-Baustoffen benötigt. Solange die Verordnung nicht verabschiedet ist, wird dieses Hemmnis weiter bestehen.

Die Sulfatproblematik befindet sich erst am Anfang einer Lösung: Das Aussortieren von Gipskartonplatten beim Rückbau wird vielfach praktiziert; von Seiten der Plattenindustrie ist man mit dem Aufbau eines Recyclingsystems, welches technisch machbar ist, beschäftigt. Problematisch dürfte, wie in anderen Fällen auch, die Logistik sein: da die Aufbereitung kaum in einer herkömmlichen stationären Aufbereitungsanlage möglich ist, sondern spezielle technische Lösungen erfordert, müssen entsprechende Anlagen flächendeckend installiert werden, um die notwendigen Transportwege auf ein Minimum zu beschränken. Hier sind erste Ansätze zu erkennen.

Der getrennte Ausbau von Anhydrit-Fließestrichen (sofern „schwimmend“ verlegt) erscheint ebenfalls technisch machbar, auch wenn die gezielte Verwertung dieses Gipsabfalls noch nicht in Angriff genommen wurde. Ein wesentliches Ziel, nämlich den Fließestrich durch getrennten Ausbau vom übrigen mineralischen Bauschutt zu separieren und so die Sulfatfracht für die mineralischen Bauabfälle zu verringern, ist aber für Anhydritestriche möglich.

Ungelöst ist die Problematik zur Ausschleusung von Gipsputzen. Erste Versuche zur Entwicklung von entfernbaren Gipsputzen gab es bereits, ein technischer Durchbruch ist bis heute nicht zu erkennen. Weitere

zukünftige Forschungen zur Lösung dieses Problems erscheinen lohnenswert, weil bis heute kostengünstige, technisch praktikable Verfahren fehlen.

Wie oben bereits ausgeführt, kann sich das Verwertungsspektrum deutlich erweitern, wenn nahezu sortenreine Materialien getrennt aufbereitet werden. Dies sei am Beispiel von Ziegelbruch erläutert: Ziegel fallen in unterschiedlichen Qualität und Anwendung hinsichtlich ihrer Festigkeit, Frostbeständigkeit und Porosität an. Weichgebrannte Ziegel sind geklüftet, porös und weniger fest; ihre Wasseraufnahme ist hoch, die Rohdichte geringer. Aus Gründen der Wärmedämmung sind in den letzten Jahrzehnten auch hochporöse Leichtziegel (Beispiel "Poroton") vermehrt als Mauerziegel im Handel. Die zusätzliche Porosität wird hier durch Ausbrennstoffe während des Ziegelbrandes verursacht. Weiterhin findet man weichgebrannte Ziegel auch als Vormauersteine bei zweischaligen Mauerwerken.

Bei hartgebrannten Ziegeln spricht man von "Klinkern"; deren Festigkeit und Dichte sind hoch, die Porosität und Wasseraufnahme entsprechend geringer. Klinker werden als Vormauersteine, Dachsteine oder aber auch als Pflasterklinker eingesetzt. Hartgebrannter Klinker ist in seinen Eigenschaften als gebrochene Gesteinskörnung durchaus dem Betonbruch ähnlich.

Eine differenzierte Trennung von weich- und hartgebrannten Ziegeln beim Abbruch findet nach Erfahrungen der Autoren nur in seltenen Fällen statt; insofern sind Normenforderungen, dass bei etwaigem Ziegelzusatz z.B. zu Betonbruch nur hartgebrannter Klinker zu berücksichtigen ist, nicht immer praxisrelevant.

Ziegelbruch für Tennenplätze; ein gutes Beispiel für die Verwertung reinen Ziegelbruchs ist die Herstellung von Belegungsmaterialien für Sportplätze, z.B. Tennisplätze, Reitplätze etc. Das Ziegelmaterial, welches der DIN 18035-5 (Tennenflächen)⁴⁹ entspricht, erfüllt alle Anforderungen hinsichtlich Kornfestigkeit, Bewässerungseigenschaften oder Vermeidung von Schlamm Bildung. Probleme für einen offenen ungebundenen Einbau von Ziegelbruch können in Zukunft in dem Parameter Vanadium liegen, der neu in der EBV eingeführt wurde. Naturbedingt enthalten Ziegel Vanadium, welches im Ton-Rohmaterial noch weitgehend fixiert vorliegt, nach dem Brennprozess aber in durch Wasser mobilisierbare Phasen umgewandelt wird. Bei der wässrigen Elution zur Prüfung der Umweltverträglichkeit werden als Folge höhere Vanadium-Werte gefunden. Vanadiumverbindungen gelten konzentrationsabhängig als human- und ökotoxisch. Gleiches gilt auch für die Verwendung von Ziegelbruch als Pflanzensubstrat im Garten- und Landschaftsbau.

Ziegelbruch als Pflanzsubstrate; insbesondere poröse Ziegelgranulate verfügen über sehr gute Eigenschaften hinsichtlich der Wasserspeicherung als Pflanzsubstrate.

Weitere praktizierte Anwendungen für Ziegelgranulate sind farblich abgesetzte Zierfelder und Wege in der Gartengestaltung und als Drän- und Filterschichten in der Dachbegrünung. Über neue Möglichkeiten zur Herstellung von Zierkörnungen berichtet A. Müller in ihrem Projekt "Aufbaukörnungen"⁵⁰.

Weitere Beispiele für hochwertige Verwertungsformen für die Mauerwerkskomponente Porenbeton lieferte die Amtliche Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen in Zusammenarbeit mit der AiF-Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V. RWB Bremen in mehreren Forschungsvorhaben der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen AiF. Dabei konnten Mörtel und Mauersteine entwickelt werden, die bzgl. der verwendeten Gesteinskörnung aus weitgehend sortenreinem Porenbeton aus Rückbaumaßnahmen bestehen [Aycil/Kropp, 2006; Hlawatsch/Kropp, 2008].

⁴⁹ DIN 18035-5: 2007-08 Sportplätze-Teil 5: Tennenflächen.

⁵⁰ <http://www.aufbaukoernungen.de/publik.html>, aufgerufen am 09.08.2013

8 Verwertung nicht-mineralischer Bauabfälle

8.1 Derzeitige und zukünftige Stoffströme

Gebäude und andere Bauwerke werden nicht nur aus den klassischen mineralischen Baustoffen wie insbesondere Beton und Ziegelmauerwerk für den Rohbau errichtet. Über den Ausbau der Gebäude gelangt eine Vielzahl weiterer Bauprodukte in ein Gebäude. Dies sind Installationen, Bodenbeläge, Wand- und Deckenverkleidungen, Fenster und weitere Bauteile (s.o.), die im Falle eines Rückbaus oder Abbruch von Gebäuden Teil des Bauabfallmassenstroms werden.

Für die überschlägige Mengenermittlung bei der Kalkulation von Abbruchleistungen können Faustzahlen verwendet werden, die nicht nur die Gesamtmasse benennen, sondern nach einzelnen Materialgruppen/Stoffen unterscheiden. [Lippok/Korth 2007] benennen nach einer Handlungshilfe Kreislaufwirtschaft des Landesamtes für Umwelt Baden-Württemberg Massen, in Abhängigkeit der Gebäudetypen und des umgebauten Raums (BRI). Im Einzelfall können erhebliche Abweichungen in den Massen bzw. der Zusammensetzung des Bauabfalls auftreten.

Tabelle 13: Basiswerte für die Mengeneinschätzung des Abbruchmaterials (in t/m³ BRI) bei verschiedenen Gebäudearten und -kategorien

Gebäudetyp	Beton	Ziegel	Holz	Metalle
Massivbau vor 1918	0,125	0,214	0,008	0,007
Massivbau 1918 bis 1948	0,116	0,224	0,009	0,006
Massivbau ab 1949	0,137	0,206	0,008	0,003
Holzfachwerkhaus	0,036	0,238	0,028	0,003
Stahlbetonskelettbau	0,23	0,006	0,004	0,002
Beton-Massivbau	0,369	0,05	0,002	0,006
Stahlfachwerkgebäude	0,077	0,023	0,009	0,016

[Lippok/Korth 2007]

Zieht man diese Kennzahlen für die Gebäudetypen heran, zeigt sich die Relevanz der Materialien neben Beton und Ziegelmauerwerk, die in diesem Kapitel näher beleuchtet werden sollen. So gibt es Gebäudetypen, bei denen der Anteil der sonstigen Materialien einen Anteil von bis zu 20 % aufweisen kann. Im klassischen Massivbau oder Beton-Massivbau liegen die Anteile jedoch deutlich unter 10 %. Da das spezifische Gewicht von „Restabfällen“ oder „Sonstiges“ aber auch Holz deutlich niedriger als für Beton oder Ziegelmauerwerk liegt, bedeuten diese Gewichtsanteile zugleich doch bedeutende Anteile am Volumen eines Abbruchmaterials.

Betrachtet man die Bauweise in der jüngeren Zeit, so lässt sich in vielen Fällen eine Verschiebung in der Baustoffauswahl bspw. in Richtung der Leichtbaustoffe erkennen. Mit der für Fertighäuser eingeführten typischen Holzrahmen- und Holztafelbauweise bspw. nimmt der Anteil mineralischer Baustoffe beim Neubau deutlich ab. Nach Auskunft des Bundesverbandes Deutscher Fertigbau e.V.⁵¹ liegt ihr Anteil bei etwa 15 % der Baugenehmigungen.

Zudem werden Gebäude seit geraumer Zeit nach hohen energetischen Standards geplant und gebaut. Viele bestehende Gebäude wurden zudem in der jüngeren Vergangenheit unter energetischen Gesichtspunkten

⁵¹ www.bdf-ev.de, aufgerufen im Dezember 2013

saniert. In vielen Fällen ist damit eine Dämmung der Gebäudehülle verbunden und damit meist die Verwendung weiterer oft nicht-mineralischer Baustoffe. Eine rein monolithische Bauweise, mit der die Energiekennzahlen ausschließlich über die Verwendung entsprechender leichter mineralischer Baumaterialien und/oder entsprechend größerer Wandstärken erreicht werden, ist eher wenig verbreitet. Bei Wänden, auf die Wärmedämmverbundsysteme aufgebracht wurden, weisen die Dämmstoffanteile wie bspw. Polystyrol 50 % des Wandquerschnitts auf. Werden diese Gebäude zukünftig rückgebaut, steigt der Anteil an „Restabfällen“ im gesamten Bauabfallvolumen deutlich an.

8.2 Metalle

Metalle fallen beim Abbruch oder Rückbau eines Gebäudes in erheblichem Umfang zur Verwertung an. Fe-Metalle werden im Hausbau als Baustahl (Profilstahl, Bleche), Betonstahl (Monierstahl) und Spannstahl eingesetzt. Nicht-Eisenmetalle und Buntmetalle sind ebenfalls in größerem Umfang in Bauwerken vorhanden. Aluminium wird als Dampfsperre im Bereich der Gebäudehülle eingesetzt oder als Profile in Fenster und Türen und in Form von Gussteilen verwendet. Kupfer findet als Blech und in Rohren sowie Leitungen und in Legierungen Anwendung. Zink wird in Verkleidungen, Abdeckungen und in Fallrohren genutzt [Hochschule Bochum, 2011].

8.2.1 Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Eine hochwertige Verwertung dieser Materialien ist die Rückführung in die Metall- und Stahlbranche.

Dies erfordert eine Auftrennung des Massenstroms in die einzelnen Metallsorten sowie die Übergabe an die Metallindustrie möglichst frei von Fremdanteilen sowie Verunreinigungen oder eine Auflösung der ehemals im Verbund vorliegenden Materialien/Baustoffe. So sollten bspw. die Armierungsstähle möglichst frei sein von Betonanhaftungen, Kupferkabel frei von Ummantelungen oder Kunststoffgehäusen.

Die ab Abbruchbaustelle anfallenden Metalle müssen daher vor Übergabe an die Metallindustrie immer zunächst in einem Spezialbetrieb aufbereitet werden.

8.2.2 Status Quo im Umgang mit diesen Materialien

Bereitstellung ab Anfallstelle

Aufgrund der guten Erlössituation für Metalle werden die Eisen- und Nichteisenmetalle in der Regel als gemischte Metallfraktion bereitgestellt und an einen Aufbereiter vermarktet. Soweit auf der Baustelle ohne größeren Aufwand (manuell) möglich, werden Verbunde bereits gelöst und möglichst saubere Metallfraktionen in Containern bereitgestellt. Der Fehlanteil bestimmt die Erlössituation.

Bis dato wurden nur die Bau- und Armierungsstähle nicht separat ab Baustelle an einen Aufbereiter abgegeben. Als Bestandteil des anfallenden Altbetons gelangten diese Metalle zunächst zu den klassischen Bauschuttaufbereitungsanlagen und wurden dort nach dem Brecher über Magnete aus dem Massenstrom entnommen. Dies ist auch heute noch Praxis. Aufgrund der guten Erlössituation „beklagen“ die Betreiber dieser Anlagen jedoch, dass die bewehrten Altbetone zunehmend bereits auf den Abbruchbaustellen mittels Zangen oder Meißel, die an Baggern angebracht sind, zerkleinert und die Armierungsstähle separiert direkt vermarktet werden.

Nach Auskunft von Abbruchunternehmen werden Gebäude vor dem eigentlichen Abriss häufig „beraubt“. Dies gilt insbesondere für NE- und Buntmetalle und bei Gebäuden, die über einen längeren Zeitraum einen Leerstand aufweisen. Je nach Gebäudetyp und Standort kann dies auch mit illegalen Teilrückbauten verbunden sein, wie bspw. das Entfernen von abgehängten Decken, Kabelschächten oder das Entfernen von Armaturen und anderen Installationen. Man kann davon ausgehen, dass auch diese illegal gewonnenen Metalle einer Aufbereitung und Verwertung zugeführt werden, die sich nicht grundsätzlich vom üblichen

Verwertungsweg unterscheiden. Die Wertschöpfung erfolgt allerdings andernorts.

Sortierung, Aufbereitung und Verwertung

In der Aufbereitung wird der angelieferte „Schrott“ mittels Scheren und/oder über Shredder zerkleinert. Damit werden in der Regel die Verbunde gelöst, so dass sich mittels Magneten die Eisenteile abtrennen lassen. Der Eisenanteil kann direkt zur Stahlerzeugung eingesetzt werden und wird entsprechend direkt vermarktet. Kabel werden nach Vorsortierung in einer Schneidmühle zerkleinert und dann auf einem Separiertisch und/oder durch Windsichtung in ihre Bestandteile Metalle und Isolierhülle (PVC) getrennt. Aus dem verbleibenden Stoffstrom werden NE-Metalle über Wirbelstromabscheidung gewonnen.

Stahlschrott aus dem Bau lässt sich im Elektrolichtbogenofen wieder zu neuem Baustahl verwerten. Das Recycling von Kupfer kann nach Aussage der Wirtschaftsvereinigung Metalle als größte und wirtschaftlichste Kupfermine bezeichnet werden und war schon in der Antike selbstverständlich. Die produktbezogene Recyclingrate beträgt mittlerweile mehr als 90 %. Auch bei Aluminium sind nach Aussage der Wirtschaftsvereinigung die Metallkreisläufe heute weitgehend geschlossen.

Zinkbleche von Dächern, Fassaden, Dachrinnen sind nach Aussage der Wirtschaftsvereinigung Metalle das ideale Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Sekundär- und Umschmelzzink. Unabhängig davon, ob Alt- oder Neuschrott haben die Zinkbleche einen hohen Wert. Sie werden meist zu sogenanntem Sekundärzink eingeschmolzen (in der Fachsprache: umgeschmolzen). Zinkblechschrott ist außerdem ein idealer Rohstoff für die Erzeugung von Zinkstaub und Zinkoxid. Der Energiebedarf für das Recycling von Zinkschrotten liegt bei nur 5 % des Bedarfs, der für die Zinkgewinnung aus Erzen aufgewendet werden muss.

8.2.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Sowohl für Fe- als auch für NE-Metalle kann aufgrund der vergleichsweise großen Massenströme, der einfachen Materialverfügbarkeit ab Abbruchbaustelle sowie der guten Erlössituation davon ausgegangen werden, dass - wie auch von der Wirtschaftsvereinigung Metalle postuliert - keine weiteren nennenswerten Optimierungspotenziale gegeben sind.

8.3 Kunststoffe

Kunststoffe werden im Baubereich hauptsächlich in der Form von Bauplatten, Bodenbelägen, Dachbahnen, Fenstern und sonstigen Profilen, Rohren, Kabelisolierungen, Lichtwände- und kuppeln, Rohren, Rollläden, Sanitärobjekten und als Wärmedämmmaterialien eingesetzt. Es handelt sich um eine Vielzahl von Kunststoffarten und vor allem -verbunden, wobei die Anteile an Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) am bedeutendsten sind und nachfolgend betrachtet werden. Besonders für PVC ist der Baubereich sehr bedeutend. Insgesamt finden etwa 25 % der Kunststoffe im Bausektor ihren Absatz [Hochschule Bochum, 2011], für PVC trifft dies zu etwa 66 % zu [Müller o.J.].

8.3.1 Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Die hochwertigste Verwertung von Kunststoffen ist die Aufarbeitung zu möglichst sortenreinem Granulat, das an die Kunststoffindustrie vermarktet wird und dort in Anteilen in den Produktionsprozess zurückgeführt werden kann. Mit einer energetischen Verwertung geht der Energieaufwand verloren, der in einer Vielzahl industrieller Prozesse eingesetzt wurde, um aus dem Erdöl einen Kunststoff herzustellen. Eine energetische Verwertung nutzt nur den Heizwert des Materials, d.h. den Energieinhalt und damit das eingesetzte Erdöl, abzüglich der Verluste über den Wirkungsgrad der jeweiligen Anlagen.

Die Einsatzquoten des Rezyklats in der kunststoffverarbeitenden Industrie kann umso höher sein, je reiner das rückgeführte Material nach Kunststoffarten separiert ist und möglichst keine Fehlanteile/Verschmutzungen enthält.

PVC

Die Recyclinganlagen basieren auf grundsätzlich gleichen verfahrenstechnischen Prozessen und setzen sich zum Beispiel aus Zerkleinerungstechnik einschließlich Kaltvermahlung sowie Förder- und Sortieraggregaten zusammen. Entsprechend aufbereitet, lässt sich PVC-Mahlgut wieder zur Herstellung von neuen PVC-Fenstern, Bodenbelägen, Rohren und Dach- und Dichtungsbahnen einsetzen.

Im Falle stark vermischter und verschmutzter Abfälle oder Verbunden ist eine rohstoffliche Verwertung zu den Zielprodukten Salzsäure und Kohlenwasserstoffe möglich. Mit dem Vinyloop-Verfahren ist auch das stoffliche Recycling von PVC aus Verbunden möglich, indem die Komponenten gelöst und anschließend sauberes PVC-Granulat ausgefällt wird. Zu diesem Zweck wird Lösemittel zugeführt und die Fremdstoffe und Verunreinigungen anschließend über Filter und Dekanter aus dem PVC-Massenstrom entfernt. Das gereinigte PVC wird dann gefällt, wobei das Lösemittel rückgewonnen und in den Prozess rückgeführt wird. Das von Solvay entwickelte Verfahren wurde bislang bisher nur in Ferrara in Italien großtechnisch umgesetzt. In Deutschland steht die Umsetzung noch aus.

Mit Vinylplus besteht eine Selbstverpflichtungserklärung der PVC-Industrie, die PVC-Altstoffe zu sammeln und in den Produktionsprozess rückzuführen. Das Vorgängerprogramm Vinyl 2010 strebte eine Erhöhung der Verwertung von Nach-Gebrauchs-PVC-Abfällen in Europa um 200.000 t jährlich an [Fortschrittsbericht Vinyl, 2010]. Diese Quote wurde etwas übertroffen. Im Rahmen von Vinylplus sollen bis zum Jahr 2020 jährlich 800.000 t PVC verwertet werden, darunter 100.000 t schwer rezyklierbares PVC-Material. Zur Umsetzung in die Praxis wurden die nachfolgend vorgestellten Sammel- und Verwertungsstrukturen eingeführt. Bisher werden in diese Strukturen vor allem Massen aus der Produktion und dem Bauhandwerk zugeführt, für Materialien aus dem Abbruch ist dies nur schwer möglich.

Für Sammlung und Verwertung von PVC-Fensterprofilen ist in Deutschland die Rewindo Fenster-Recycling GmbH in Zusammenarbeit mit den Verwertern Tönsmeier Kunststoffe und VEKA Umwelttechnik zuständig, nach deren Angaben die PVC-Recyclingquote aus Fenstern und Rolläden 76% bezüglich der erfassbaren verfügbaren Menge beträgt [Rewindo, 2011]. Die erfassbare verfügbare Menge beschreibt den nach der Selbstverpflichtung zu erfassenden Anteil. Dieser wird bei 70% des Bruttopotenzials der Altfenster und Rollläden angesetzt. Es werden Fensterprofile zur Aufbereitung angenommen, die grob gereinigt wurden und nur noch geringe Anhaftungen von Putzresten bzw. Montageschaum aufweisen dürfen und grob entglast wurden. Beschläge und Metallteile stellen kein Problem dar. Bei großen Abbruchvorhaben werden Sammelcontainer direkt ab Baustelle bereitgestellt. In der Regel gelangt das Material ab Baustelle jedoch zunächst in eine Sortieranlage (ggf. als Bestandteil eines Baumischabfalls), wird dort separiert und grob aufbereitet und anschließend über eine Sammelstelle im Verwertungssystem vermarktet. PVC erzielt einen beachtlichen positiven Marktwert. Das aus alten Fenstern gewonnene Rezyklat wird wieder für die Produktion neuer Fensterprofile eingesetzt. In den neuen Fensterprofilen ist es dann nach Aussagen der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt bspw. als Recyclingkern zu finden, der außen mit PVC Neumaterial ummantelt wird.

Bei PVC-Rohren sind der Kunststoffrohrverband (KRV) und die Fa. Rohr-Recycling der Fa. Tönsmeier mit der stofflichen Verwertung betraut. Nach Sortierung, Reinigung und Zerkleinerung des Sammelgutes werden die Rohrrezyklate in der Rohrfertigung und anderen Kunststoffprodukten wiederverwertet. Die von den Verwertern eingeforderten Spezifikationen sind fehlende Teer- oder Betonanhaftungen. Zudem dürfen sie keine Ummantelungen aus Dämmmaterial aufweisen. Weiterhin sollen sie keine Farbanstriche sowie innere Verunreinigungen aufweisen und grob gereinigt sein. Das Material wird aus den Baustellen in Gitterboxen oder Containern angeliefert und wird teilweise auf der Baustelle (Neubau) oder über Sortieranlagen bereitgestellt. Angesichts der Spezifikationen lassen sich auch bei Sortierung und grober Aufbereitung nur in Anteilen Rohre in das System des Recyclings von PVC-Rohren zurückführen.

Die Sammlung und Verwertung von PVC-Bodenbelägen wird von der Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling (AgPR) betrieben. Die Beläge müssen entweder an Sammelstellen oder direkt bei der AgPR-

Anlage in Troisdorf abgegeben werden. Die Altbeläge werden zerkleinert, mit einer Hammermühle von anhaftenden Estrich- und Kleberresten befreit und weiter zu Feingut vermahlen, welches dann bei der Herstellung neuer PVC-Bodenbeläge eingesetzt werden kann [AgPR, o.J.]. Das Material im Input darf nur in sehr geringem Umfang Fremdanteile als nicht verwertbarer Anteil einer Lieferung aufweisen. Anhaftende Estrich- und Klebstoffreste stören nach Angaben von AgPR hingegen nicht. Die Altbeläge müssen REACH-konform sein. Ausgeschlossen sind PVC-Bodenbeläge, die als Schicht auf Nicht-PVC-Belägen aufgebracht sind sowie metallhaltige PVC-Beläge. Der größere Teil des Feinmahlgutes wird in der Herstellung neuer Bodenbeläge genutzt, der Rest in der Herstellung von Baufolie.

Ein Rücknahmesystem für PVC-Dach- und Dichtungsbahnen wird von ISD Interseroh betrieben und vom Recylingsystem RoofCollect an mehrere Recyclinganlagen weitergegeben. Der Großteil des Materials wird aus Sanierungsprojekten und nicht aus dem Rückbau der Gebäude stammen. Qualitativ ist das Material aber auch von Abbruchstellen hochwertig genug, um verwertet zu werden. Roofcollect übernimmt die Verwertung. Annahmebedingung ist, dass die Dachbahnen besenrein und damit frei von Fremdanhaftungen sind (Annahmebedingungen Roofcollect, Juni 2013). Von Vorteil ist, wenn die Materialien in vergleichsweise großen Mengen anfallen. Die Bahnen werden dann als ein Meter breite Streifen in aufgerollter Form gesammelt.

PE und PP

Die Materialien PE und PP stammen überwiegend aus Rohren und Abdichtungsfolien. Bspw. nimmt der Entsorger Fa. Tönsmeier Kunststoffe neben Rohren aus PVC auch solche aus PE und PP an. Ebenso sind in den Annahmebedingungen von Roofcollect®, ein Sammel- und Recyclingsystem für Kunststoff- Dach- und Dichtungsbahnen, auch Dachbahnen aus PE-C enthalten. Daher ähneln die potenziellen Verwertungswege denen der entsprechenden Produkte. PE und PP können darüber hinaus grundsätzlich als Regranulate in der Kunststoffindustrie primäre Kunststoffe ersetzen [IFEU, 2001].

8.3.2 Status Quo im Umgang mit diesen Materialien

Verwertung

Alte PVC-Bodenbeläge werden nach AgPR-Information zum größeren Anteil verbrannt. Bei PVC-Fensterprofilen und Dach- und Dichtungsbahnen wird hingegen schon ein großer Teil erfasst und stofflich verwertet. Die Recyclingquote von PVC aus Fenstern beträgt nach Rewindo, einem Zusammenschluss der führenden deutschen Kunststoffprofilhersteller zu Sammlung und Recycling, 76 % der erfassten 70 % [Rewindo, 2011] und im Jahr 2012 wurden 31.678 t Altfenster eingesammelt [Pressemitteilung Rewindo]. Die sammelbaren PVC-Dach- und Dichtungsbahnen werden nach Roofcollect in Deutschland nahezu vollständig durch das Sammelsystem erfasst. Das Material wird zerkleinert, gereinigt und ist als Mahlgut oder Granulat wieder in der Produktion einsetzbar. Es wird aber nach wie vor aus Kosten- und Qualitätsgründen auch energetisch verwertet, insbesondere dann, wenn kein Verwertungsmarkt gegeben ist. Hinzu kommt die stoffliche Verwertung in niederwertigen Produkten.

Auch für Artikel aus PE und PP steht die Praxis hinter den Möglichkeiten zurück. Die Verbrennungskosten für PE und PP sind günstiger als die für PVC, so dass der Anreiz einer stofflichen Verwertung noch kleiner ist als beim Stoffstrom PVC. Hinzu kommen hier Qualitätsprobleme bzw. der Aufwand, den in der Regel über Baumischabfälle gesammelten Materialstrom auszusortieren. Die energetische Verwertung dagegen kann als Bestandteil eines heizwertreichen Gemisches erfolgen.

Sammlung

Beim Abbruch von Bauwerken und Gebäuden bilden Kunststoffe nur einen kleinen Anteil der anfallenden und zu entsorgenden Altmassen. Der hohe logistische und arbeitstechnische Aufwand einer getrennten Bereitstellung von Kunststoffen, möglichst auch nach Kunststoffarten, ab Abbruch-Baustelle lohnt sich angesichts der erzielbaren Erfolge nicht. Kunststoffe werden daher in der Regel gemischt mit anderen Leichtstoffen über Container erfasst und als Baumischabfall an entsprechende Aufbereitungsanlagen abgegeben.

Werden Maßnahmen der Sanierung und Erhaltung von Gebäuden durchgeführt, konzentriert sich dies in der Regel auf einzelne Bauwerksteile, so dass die Vielfalt an anfallenden Altmaterialien geringer ist und Kunststoffe ggf. einen höheren Anteil am Aufkommen aufweisen. In diesen Fällen lohnt sich die Bündelung und Bereitstellung von Kunststoffen, eventuell auch nach Kunststoffarten getrennt. Im Zweifel erfolgt dies nicht ab Baustelle, sondern auf den Betriebshöfen der jeweiligen Bauhandwerker.

Sortierung und Aufbereitung

Verwerter geben für die Übernahme von Altmaterialien aus Kunststoff Spezifikationen vor und limitieren deutlich den Grad an Verschmutzungen und die Fehlanteile. Diesen Anforderungen werden die Materialien bei Abbruchvorhaben kaum gerecht, so dass zwischen Anfallstelle des Altmaterials und Verwertung Schritte der Sortierung und Aufbereitung geschaltet sein müssen. Ausnahmen können die Altmaterialien sein, die als Verschnitt und Ähnliches aus Neuware bei Bauhandwerkern anfallen und gesammelt werden.

Eine getrennte Sammlung von Kunststoffen oder gar nach verschiedenen Produkten und Materialien erfolgt auf Abbruchbaustellen aufgrund von Platz- und Kostengründen bislang kaum. Kunststoffe werden beim Abbruch häufig in die Fraktion Baumischabfall eingebracht. Diese werden dann durch einen Sortierer übernommen. Wenn es kostengünstiger ist, wird der Baumischabfall ggf. auch direkt entsorgt. Die Abgabe der Baumischabfälle an Sortierer erfolgt dann, wenn über die Sortierung wirtschaftliche Vorteile gegenüber einer direkten thermischen Behandlung zu erzielen sind und diese Preisvorteile auch an den Abfallerzeuger weiter gegeben werden. Die Kunststoffe werden dann in Containern oder mit Schubbodenfahrzeugen zu den Verwertern gebracht.

Fenster und Rollläden werden beim Sortierer zumeist manuell aussortiert und an einen Recycler weitergegeben, wobei die Sortierung auch berücksichtigen muss, ob das Material in diesen Altprodukten in Reinform vorliegt oder mit Metallen und bspw. Glasfasern vermischt ist. Für derartige saubere Produkte bestehen ein Verwertungsmarkt und eine Industrie, die Interesse an den Rezyklaten hat. Sortiert wird im Endeffekt nach Materialart, welche anhand der Produkttypen erkennbar ist. Das heißt, es erfolgt keine vollautomatische Trennung nach Kunststoffarten, sondern eine manuelle Sortierung und dies nach Produktarten. Damit ist im Ansatz auch eine Trennung nach Kunststoffarten gegeben, da bspw. Kunststofffensterprofile immer aus PVC bestehen.

Die Aussortierung von PVC ist üblich. Zum einen lassen sich für das PVC deutliche Erlöse erzielen. Zum anderen kann der verbleibende Rest, weil PVC-abgereichert, kostengünstiger verbrannt werden. Das Aussortieren scheitert aber bisweilen daran, dass kein Recycler in der Nähe ist oder keine Fenster annimmt, die neben PVC auch Metalle und/oder Glasfasern enthalten. Das Netz der Kunststoff-Recycler in Deutschland ist ausgedünnt und weite Transporte dieses leichten Materials sind sehr ineffizient und kostenträchtig, so dass die Transportkosten höher sind als die Erlöse. Nahezu unmöglich ist das Recycling von Holzfenstern, die mit PVC beschichtet sind.

Sonst wird der Baumischabfallstrom noch auf Kunststoffarten wie Hartkunststoffe sortiert, welche dann ggf. weiteren Sortierschritten unterzogen werden, falls sich dadurch Kostenvorteile ergeben. Eine manuelle Sortierung kann hier ebenfalls ausreichend sein. Die Mischung verschiedener Materialien auf der Baustelle kann mit Qualitätseinbußen verbunden sein. Der Aufwand ist groß, um die sehr klaren Spezifikatio-

nen der Kunststoffindustrie einhalten zu können. Ein Verfahrensbeispiel wäre die Schwimm-Sink-Trennung nach Zerkleinerung.

Oft wird insbesondere bei Kunststoffen aus dem Bau für Sortieranlagen zudem die kritische Masse nicht erreicht. Das Material lässt sich aber bei Spezialisten bündeln, um die Verwertung ökonomisch attraktiv zu machen. Je nach der Erlössituation für Regranulate erfolgt auch eine Vermarktung der vorsortierten Kunststoffe an einen spezialisierten Kunststoffsortierer, der sortenreine Sortierfraktionen erzeugen kann, die den Spezifikationen der Verwerter entsprechen. Da über die Bündelung aus vielen Herkunftsbereichen für diese Sortierung die kritischen Massen erreicht werden, kann dieser zusätzliche Schritt sich bei entsprechenden Rohstoffpreisen rechnen.

8.3.3 Hemmnisse/Lösungsansätze

Hemmnisse

Zum einen führt die geringe Dichte der Kunststoffe dazu, dass ein Transport von Altkunststoffen über weitere Strecken nicht lohnend ist. Zum zweiten ist für einige Produkte noch kein Verwertungsmarkt verfügbar, der dezidierte Anforderungen an das Ausgangsmaterial stellt. Preislich lohnt es sich dann nicht, den Aufwand für eine Kunststoffsortierung zu betreiben, wenn der Abfall zu den aktuell günstigen Annahmepreisen verbrannt werden kann. Zum dritten sind die Gewichtsanteile der Kunststoffe an dem gesamten Abfallaufkommen aus dem Rückbau von Gebäuden gering, so dass eine getrennte Sammlung von Kunststoffen neben den Platzproblemen auf der Baustelle auch an dem verhältnismäßig zu großen Logistikaufwand für die kleinen Mengen scheitert.

Bei PVC-Fensterprofilen stellt die gemeinsame Erfassung über den Baustoffmischabfall nicht unbedingt ein Problem dar. Die Materialien werden anhand ihrer Produkteigenschaften beim Baustoffsortierer (händisch) aussortiert. Hierfür existiert ein funktionierender Verwertungsmarkt. Problematisch ist wegen des Transports allerdings die geringe Netzdichte der Recycler. Ein weiteres Problem ist, dass beim Produktdesign die Entsorgungsphase oft nicht bedacht wird. So sind PVC-Fensterprofile mit Metall- und Glasfaserbestandteilen nur unter erhöhtem Aufwand stofflich verwertbar. Außerdem müssen die schadstoffhaltigen Dichtebänder entfernt werden. Probleme gibt es speziell im Falle der Kunststoffrohre, wenn diese auf der Innenseite mit fettenden Stoffen behandelt sind, da dann die Aufbereitungskosten die Erlöse übersteigen.

Der Bekanntheitsgrad bestehender Verwertungsmärkte sowie derer Qualitätsanforderungen ist noch ausbaubar. Bestehende, ggf. zu prüfende Regelungen des Abfall- und Chemikalienrechts erschweren das Agieren bestimmter Verwertungsakteure.

Lösungsansätze

Der Ausbau des Verwertungsmarktes kann über das Schaffen geeigneter Rahmenbedingungen gefördert werden, welche eine Verwertung gegenüber einer Entsorgung auch ökonomisch begünstigen oder eine Verwertung erzwingen. Ein engmaschiger Verwertungsmarkt ist wegen der hohen Transportkosten aufgrund der geringen Dichte und großen Volumina des Materials nötig.

Zum einen kann die Industrie im Sinne der Eigenverantwortung für ihre Produkte den Verwertungsmarkt finanziell stützen, indem das Recyclat zu einem Preis angenommen wird, der eine Verwertung im Vergleich zu einer Entsorgung rentabel macht. Hierfür dienen Instrumente wie freiwillige Selbstverpflichtungen. Die Langlebigkeit der Produkte im Bau bedingt aber, dass der heutigen Industrie eine Identifikation mit den alten Produkten schwer fällt und eine Zuordnung nicht mehr möglich ist. Die anfänglichen ökonomischen Lasten müssen daher auf Grundlage der heutigen Betriebsgröße gerecht auf die einzelnen Betriebe aufgeteilt werden. Mit diesem finanziellen Anreiz kann sich ein dichteres Recyclingnetzwerk entwickeln, so dass die Verwertung und der Transport kostengünstiger werden und die Verwertung sich schlussendlich selbst trägt.

Zum anderen können Quoten festgeschrieben werden, wie viel der im Bau anfallenden Kunststoffe verwertet werden müssen. Auch in diesem Fall werden die Hersteller der Bauprodukte sich finanziell engagieren müssen, um die Quoten über den Aufbau eines Verwertungsmarktes erreichen zu können. Das wird sich in kaum merklicher Höhe auf die Preise der Neuprodukte niederschlagen, jedoch tendenziell dazu führen, dass der Entsorgungsgedanke schon beim Produktdesign und beim Gebäudebau mitgedacht wird.

Jedem Bauabfallsortierer und größeren Abbruchunternehmen sollten in diesem Fall der Verwertungsmarkt sowie die an das Material gestellten Qualitätsanforderungen bekannt sein. Dafür sind Verbände und Arbeitsgruppen zuständig, die von der PVC-Industrie zur Erfüllung der bisherigen freiwilligen Selbstverpflichtung bereits aufgesetzt wurden. Diese haben schon eigene Sammelsysteme aufgebaut und kooperieren mit Verwertungsfirmen. Diese Netze sollten in die regionalen Netzwerke integriert werden.

Als weitere Randbedingung ist darüber nachzudenken, die Kriterien für eine Verbrennung von Kunststoffen aus dem Bau strenger zu definieren und umgekehrt die Abfallverordnungen im Sinne des Verwertungsmarktes zu vereinfachen, solange dadurch keine Gefahren von den Recyclaten und den daraus hergestellten Produkten zu erwarten sind. Voraussetzung ist aber in jedem Fall, dass für die Recyclate ein Absatzmarkt gegeben ist, der über freiwillige Selbstvereinbarungen oder Quoten gesichert wird.

Ein Pfandsystem wie bei den LVP-Verpackungen birgt die Schwierigkeit der langen Umlaufzeit der Kunststoffe aus dem Bau. Das Pfand könnte über alle Stufen bis zur Industrie weitergetragen werden, die auf ihre neu verkauften Produkte einen ebenso großen Pfandbetrag erhebt. Schwierig ist weiterhin die Festlegung eines Betrags.

Fazit

Der Schlüsselfaktor zur Förderung der stofflichen Verwertung ist der engmaschige Ausbau des Verwertungsmarktes und die Bekanntmachung desselben, um die Kosten für die stoffliche Verwertung und die Transportkosten der leichten und voluminösen Kunststoffe zu senken bzw. die stoffliche Verwertung in den rentablen Bereich zu bringen und Mengenbündelungen zu schaffen. Geeignete Maßnahmen dafür sind finanzielle Anreize durch die Industrie auf Basis von Selbstverpflichtungserklärungen oder die Festlegung von Quoten. Änderungen des Prozedere auf der Baustelle aus Qualitätsgründen sind hierbei im Falle von PVC-Fensterprofilen nicht zwingend nötig, wenn der Baustoffmischabfall an einen Baustoffsortierer weitergegeben wird und der Abriss selektiv geschieht. Die Vorsortierung auf den Baustellen sollte sich nach dem Baustoffsortierer richten, dem der Abfall angedient wird. Falls möglich, ist es aber im Hinblick auf andere Kunststoffprodukte durchaus von Vorteil, auf der Baustelle eine getrennte Erfassung vorzunehmen.

8.4 Glas

Flachglas fällt bei Abbruch vor allem aus Fenstern, aber auch aus Türen an. Meist handelt es sich um einfaches Fensterglas, teilweise auch um Drahtglas oder Verbundglas. Seit einigen wenigen Jahren werden gerade Bürogebäude mit großen Glasfassaden versehen oder Glas als Fassadenverkleidung verwendet. Hierbei kommen Spezialgläser, wie z. B. Wärmedämmglas oder Sonnenschutzglas zum Einsatz. Verbundgläser stellen ein Materialmix dar, da sie mit Klebefolien verbunden sind.

8.4.1 Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Eine hochwertige Verwertung von Glas ist die Rückführung in die Glasindustrie. Mit dem Einsatz von Altglasscherben im Produktionsprozess wird der Bedarf an Primärrohstoffen reduziert. Auch der spezifische Energieeinsatz lässt sich hierüber reduzieren. Fassadenglas ist wie auch anderes Flachglas beschichtet. Da diese Beschichtungen jedoch im μm -Bereich liegen, lassen sich die beschichteten Gläser genauso aufbereiten wie die unbeschichteten [Schirmbeck, 2013]. Das in älteren Gebäuden gelegentlich vorzufindende gelbliche Flachglas kann ebenfalls aufbereitet werden; es kann zu Glaswolle weiterverarbeitet werden.

Das Altglas wird von Glasrecyclern gesammelt bzw. von Abbruchunternehmen und Containerdiensten zum Glasrecycler gebracht und teilweise nach Sorten getrennt. Danach wird das Glas ggf. nach der Abtrennung verklebter Randverbindungen zerkleinert, von vorhandenen Störstoffen (z. B. Draht) getrennt und gesäubert. Im selben Arbeitsgang wird das Glas auf eine vom Kunden spezifizierte Körnung aufbereitet und findet Wiederverwendung bei der Herstellung von z. B. Profilglas, Glaswolle oder Hohlglas [Komi, 2013].

Der Verband "Glass for Europe", Vertreter von vier europäischen Flachglasherstellern, spricht sich in einem Artikel des EUWID [EUWID, 2013] für einen möglichst geschlossenen Materialkreislauf aus, damit aus altem Gebäudeglas gewonnene Scherben wieder in der Flachglasindustrie eingesetzt werden, wenn diese den Qualitätsanforderungen entsprechen. Gebäudeglasscherben, welche aus technischen oder Kostengründen nicht in der Flachglasindustrie eingesetzt werden können, könnten z. B. in der Behälterglas- und Glasfaserproduktion eingesetzt werden.

8.4.2 Status Quo im Umgang mit diesen Materialien

Flachglas wird dann separat erfasst, wenn es im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen von Gebäuden in größeren Mengen anfällt (bspw. Austausch von Fenstern) oder über den Bauhandwerker auf dem eigenen Betriebshof gebündelt werden kann. Bundesweit werden Glascontainer bereitgestellt und es gibt flächendeckend Abnehmer für anfallendes Flachglas [Scherer & Kohl, 2013]. Auch bei Abriss von einzelnen Häusern anfallendes Flachglas wird zum Teil beim Glasrecycler oder Containerdiensten abgegeben. Die Vermarktung des sauberen Flachglases ab Sammelpunkt ist nahe an der Erlösschwelle.

Auf Baustellen wird Glas eher selten oder meist erst bei größeren Mengen getrennt gesammelt. Oft wird das Glas aus den Fenstern herausgeschlagen und wird damit Bestandteil der mineralischen Bauschuttfraktion. Beim Abbruch von Gebäuden sind geschlossene Fenster auch Teil von Immissionsschutzmaßnahmen. Zur Unterbindung von insbesondere Stauffreisetzungen werden die Gebäude bei geschlossenen Fenstern rückgebaut. Die Profile lassen sich nachträglich manuell oder technisch im Rahmen der Aufbereitung separieren. Das Fensterglas geht damit jedoch verloren.

Von Seiten des Glasrecyclers wird Glas auch gemischt angenommen, also Flachglas, Drahtglas, beschichtetes Glas (auch Fassadenglas) und im Aufbereitungsprozess getrennt. Wenn es sich um größere Mengen Drahtglas handelt, sollte dieses getrennt abgegeben werden. Es werden z. B. auch Glasbausteine angenommen, jedoch möglichst frei von Mörtel. Buntes Glas sollte ebenfalls getrennt gehalten werden.

Das Altglas wird vor einer Verwertung zunächst in einer Altglasaufbereitungsanlage behandelt. Die Sortierung erfolgt auch „optisch“, so dass alle nicht lichtdurchlässigen Scherben auf dem Sortierband „ausgepuffert“ und separat entsorgt werden. Nicht lichtdurchlässig sind z. B. mineralische und nicht-mineralische Fremdbestandteile. Die am Ende verbleibenden fein gemahlenen Reststoffe gehen je nach Beschaffenheit als Recyclingprodukt in Stein-/Glaswolleproduktion, werden verbrannt oder deponiert. Anhaftender Kitt stellt in kleinem Umfang kein Problem dar. Je stärker verunreinigt das Material desto höher sind jedoch die Zuzahlungen. Wenn das Glas zu verschmutzt ist, wird es nicht angenommen. Bei größeren Mengen kann es nach Auskunft von Verwertungsfirmen sein, dass der Recycler das Material vor Ort auf der Baustelle vorab in Augenschein nimmt.

Der Verband "Glass for Europe" stützt die Aussage, dass derzeit Gebäudeglas in Europa nur selten zu neuen Glasprodukten verarbeitet wird, sondern oft gemischt mit anderen Bauabfällen deponiert oder verwertet wird [EUWID, 2013].

8.4.3 Hemmnisse/Lösungsansätze/Fazit

Hemmnisse

Altglas fällt an den Baustellen in aller Regel in zu geringen Mengen an, die Sammlung und getrennte Bereitstellung des Glases ist zu teuer. Das Glas endet oft in der Bauschuttfraktion.

Außerdem hat das bei Abbruch anfallende Glas oftmals Anhaftungen, die sich nur aufwendig entfernen lassen oder es ist zu verschmutzt und daher nicht mehr recyclebar bzw. zu teuer für die Aufbereitung. Bei Aluminium-Fensterprofilen besteht beispielsweise oft das Problem, dass sich das alte Gummi nicht mehr lösen lässt bzw. aufwendig mit dem Spachtel entfernt werden müsste.

Bei kleineren Baustellen fehlen die Zeit zur manuellen Heraustrennung der Scheiben und der Platz für zusätzliche Container. Die zur Separierung notwendigen Arbeitsstunden und Container sind ein zusätzlicher Kostenfaktor. Fenster werden teilweise inklusive Glas direkt zur thermischen Verwertung oder zum Holzaufbereiter/PVC-Recycler gegeben.

Für Containerdienste gibt es gute Angebote seitens der thermischen Beseitigungsunternehmen gesamte Container mit Baumischabfällen abzunehmen. Hierdurch gibt es kaum Bemühungen, eine aufwendige und teure Separierung der Baustoffe vorzunehmen.

Lösungsansätze

Der Aufbau eines Sammel- und Recyclingsystems für Altfenster und andere Gebäudeglasprodukte kann nur mit Unterstützung der Flachglasindustrie erfolgen. Da die Finanzierung des Aufbaus nach Einschätzung des Verbandes „Glass for Europe“ jedoch nicht alleine von der Industrie getragen werden kann, werden öffentliche Mittel oder andere Finanzierungsquellen für ein neues umfassendes Verwertungs- und Recyclingsystem gewünscht [EUWID, 2013].

Politische Vorgaben wie die Verpflichtung zum selektiven Abbau und zur Sortierung von Glaselementen sowie die Erhebung einer Mindestrecyclingquote für an Baustellen anfallendes Flachglas sind flankierend notwendig.

Gezielte Nutzung sowie Förderung und Entwicklung neuer Technologien zur Aufbereitung.

Fazit

Laut Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. sind Kunden aus der Baubranche mit 30 % Produktionswert der größte Abnehmer der Glasindustrie [BVSE, 2013], was bedeutet, dass in Zukunft größere Mengen an Flachglasabfällen anfallen werden.

Das Recyclingpotential von beim Abriss anfallendem Flachglas wird bisher nicht voll ausgeschöpft. Ein Hemmnis ist oft eine zu kleine Menge und damit verbunden eine zu teure Sammlung und ein zu teurer Transport. Durch den Aufbau eines flächendeckenden Transport-/Sammel- und Recyclingsystems kann hier evtl. Abhilfe geschaffen werden, unterstützt durch attraktivere Preise für Altglas (auch Altglas mit Anhaftungen).

Ein weiteres Hemmnis, weshalb das Glas nicht dem Glasrecyclingprozess zukommt, ist die Verschmutzung der Scheiben durch Anhaftungen. Hier sollten die Aufbereitungsverfahren weiter optimiert und damit die Annahmebedingungen der Recycler für verschmutztes Glas verbessert werden.

Grundsätzlich sollten die Glashersteller über eine freiwillige Selbstverpflichtung mehr in die Verantwortung genommen werden, ergänzt um eine von staatlicher Seite vorgegebene Mindestquote.

8.5 Holz

In einem aktuellen Überblick des Bundesverbandes Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. [BVSE, 2013] über die Recycling- und Entsorgungsbranche werden 45 % des Gesamt-Altholzaufkommens von 7,9 Mio. t den Bauabfällen zugeordnet.

Nach § 2 der Altholzverordnung ist das Altholz in vier Altholzkategorien bzw. Recyclinggruppen einzuteilen.

Tabelle 14: Einteilung in Altholzkategorien nach § 2 der Altholzverordnung

Altholzkategorie	Beschreibung
A I	Naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde.
A II	Verleimtes, gestrichenes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung (z. B. PVC) und ohne Holzschutzmittel.
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel.
A IV	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

[AltholzV]

Mit PCB belastetes Altholz ist nach der PCB/PCT-Abfallverordnung zu entsorgen. Dies gilt insbesondere für Dämm- und Schallschutzplatten, die mit PCB-haltigen Mitteln behandelt wurden. Der Entsorgungsweg für diese Abfälle ist die thermische Behandlung.

Holz fällt bei Abbruch an vielen Stellen z. B. in Form von Zargen, Deckenpanelen, Dielen etc. an. Die verschiedenen Althölzer sind den möglichen Altholzklassen A I bis A IV zugeordnet, wobei die Altholzkategorie A.I bei Abbruch eher nicht anfällt. Im Einzelfall ist zu prüfen, inwieweit Holzbauteile den Kategorien A II oder A III zugeordnet werden müssen.

Tabelle 15: Beim Abbruch anfallende Holzsortimente und Zuordnung dieser in Altholzkategorien nach Regelwerk

A I	A II	A III	A IV
Naturlasendes Holz	behandeltes Vollholz (ohne schädliche Verunreinigungen)	Sonstige Inneneinrichtung mit halogenorganischen Lacken und Beschichtungen (PVC)	A IV
	Türblätter und Zargen von Innentüren (ohne schädliche Verunreinigungen)	Altholz (Mischsortiment)	Konstruktionshölzer für tragende Teile
	Dielen, Fehlböden, Bretterschalungen aus dem Innenausbau (ohne schädliche Verunreinigungen)		Fenster, Fensterstöcke, Außentüren
	Profilblätter für die Raumausstattung, Deckenpaneele, Zierbalken usw. (ohne schädliche Verunreinigungen)		Bauhölzer aus dem Außenbereich
	Bauspanplatten		Holzfachwerk und Dachsparren
	sonstige Inneneinrichtungen ohne halogenorganische Lacke und Beschichtungen		

[AltholzV]

8.5.1 Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Eine hochwertige Verwertung von Altholz stellt die Kaskadennutzung dar bzw. die Rückführung der aufbereiteten Althölzer in die holzverarbeitende Industrie. Eine energetische Verwertung erfolgt nach diesem Konzept erst am Ende der Nutzungskaskade.

Laut Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter spielt die stoffliche Verwertung von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie eine bedeutende Rolle. Wichtigstes Segment dabei ist die Spanplattenherstellung. Üblicherweise werden hier neben Restholzsortimenten und Waldholz auch Altholz-

Recyclingmaterialien verwendet, vorrangig in der Mittelschicht der Platten. Für die stoffliche Verwertung werden derzeit jedoch insbesondere unbehandelte, lediglich mechanisch bearbeitete Altholzsortimente verwendet. Kommen lackierte oder beschichtete Hölzer bei der stofflichen Verwertung zum Einsatz, stammen diese überwiegend aus dem Innenbereich, denn Hölzer aus Außenanwendungen sind in der Regel mit Holzschutzmitteln behandelt. Hingegen können Lackierungen und Beschichtungen während des Brechvorgangs in Hammermühlen von den Holzspänen abgelöst werden und in weiteren Sieb- und Sichtungungsverfahren von den Recyclingspänen getrennt werden. Bei Altholz-Spanplatten kann auch das WKI-Verfahren zum Einsatz kommen. Dieses am Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung in Braunschweig entwickelte chemo-thermo-mechanische Recyclingverfahren ist ein neuartiges Aufschlussverfahren, welches sich zur Gewinnung von Recyclingspänen aus Spanplatten eignet, sofern diese nicht mit Isocyanatklebstoffen verleimt wurden bzw. einen hohen Phenolharzanteil aufweisen. [BAV, 2009].

Übliche Einsatzquoten von Recyclingspänen in der Spanplattenindustrie liegen inzwischen bei 20 - 40 %. Es wären allerdings weit höhere Anteile denkbar, denn ausländische Produkte - weisen darauf hin, dass ein Altholzanteil ohne Qualitätsverluste in der Platte bis zu 100% betragen kann - vorausgesetzt, die Schadstoffgrenzwerte werden eingehalten und der gesamte Sortier-, Aufbereitungs- und Produktionsprozess ist darauf speziell abgestimmt [BAV, 2009].

Gemäß Altholzverordnung ist Altholz thermisch zu behandeln oder zu beseitigen, wenn der PCB/PCT-Grenzwert von 5 ppm überschritten ist. Generell wird Altholz der Kategorie IV einer thermischen Behandlung bzw. energetischen Nutzung zugeführt. Für diese Hölzer stellt die Nutzung als Brennstoff die hochwertigste Verwertungsform dar. Die Feuerungsanlagen bedürfen einer Zulassung nach der 17. BImSchV und damit einer entsprechenden Rauchgasreinigung.

Das Ziel der energetischen Verwertung ist die Substitution von Primärenergieträgern wie Kohle, Öl oder Erdgas. Die energetische Verwertung ist für diese Hölzer dann hochwertig, wenn der Energieinhalt der Hölzer mit möglichst wenigen Verlusten in nutzbare Energie überführt wird. Dies bedeutet, dass die Verbrennungsanlagen möglichst gute Feuerungswirkungsgrade und einen möglichst kleinen spezifischen Energiebedarf aufweisen sollten. Ebenso wichtig ist der eher standortbedingte Faktor, die Möglichkeit der Vermarktung der erzeugten Energie. Bei der energetischen Nutzung von Altholz wurden in der Vergangenheit Anlagen errichtet, die auf eine reine Verstromung mit entsprechend geringen Gesamtwirkungsgraden ausgelegt wurden. Die energetische Verwertung ist dann ökologisch sinnvoll, wenn diese in Kraft-Wärmekopplung erfolgt mit einer möglichst vollständigen Abnahme der Wärme über Nah- und Fernwärmenetze, und zwar für Hölzer, für die eine stoffliche Verwertung nicht zugelassen/möglich ist.

Neben der Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen und der energetischen Verwertung sind andere Verwertungswege derzeit von eher geringer Bedeutung. Nach der aktuellen Altholzverordnung sind die Altholzkategorien A I bis A IV für die Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung sowie die Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle zugelassen. Andere biologische und stoffliche Verfahren zur Verwertung befinden sich noch in der Entwicklung, wie z. B. der Einsatz von Altholz als Zuschlagstoff für Baumaterialien (Holzbeton, Wood-Plastic-Composite). Der Einsatz des Holzes als Zuschlagstoff für diese Baumaterialien ist in Bezug auf deren zukünftige Wiederverwertung nach der Nutzungsphase jedoch fraglich, da eine hochwertige Verwertung von nicht-auflösbaren Stoffgemischen nicht möglich ist.

8.5.2 Status Quo im Umgang mit diesen Materialien

Die Einteilung des Altholzes erfolgt direkt auf der Baustelle durch das Abbruchunternehmen. Meist werden für Altholz zwei Container gestellt und das Altholz wird separiert nach Altholzklassen A I-A III und Altholzkategorie A IV. Altholz der Klasse A I fällt auf Baustellen nach Aussagen verschiedener Abbruchunternehmen eher nicht oder in sehr kleinen Mengen an. Es findet meist eine Einteilung nach Sicht des Bauteils in Altholzklassen statt. Eine Zuordnung des Altholzes durch chemische Analysen erfolgt eher nicht bzw. nur bei großen Abbruchvorhaben mit hohen Altholzanteilen.

Beispielweise werden Konstruktionshölzer, aber auch Fenster und Fensterstöcke automatisch der Altholzkategorie IV zugeordnet, da davon ausgegangen werden muss, dass diese mit Holzschutzmitteln behandelt wurden und demnach evtl. mit PCP, Lindan oder Quecksilberverbindungen verunreinigt sind. Außerdem ist mit einer Schwermetallbelastung aus den Lackierungen zu rechnen, z. B. bei Bleiverbindungen als Pigment in weißen Lacken. Werden in einem Container Fehlwürfe einer schlechteren Klasse entdeckt, wird meist der gesamte Container der schlechteren und damit teureren Entsorgungsklasse zugeordnet. Bei kleineren Mengen ab Abbruchbaustelle oder bei Platzmangel werden oft nicht mehrere Container gestellt, jedoch teilweise versucht durch obenauf legen der besseren Holzqualitäten evtl. noch eine Separierung durchzuführen.

Das an den Baustellen anfallende Altholz muss aufbereitet werden. Dies erfolgt in mehreren Schritten und ist je nach Aufbereiter, Zustand des Eingangsmaterials (z. B. kontaminiert, lackiert) und gewünschter zu erzeugender Qualität (Spanplattenindustrie, energetische Verwertung) unterschiedlich. Es erfolgt eine meist ein- oder zweistufige Zerkleinerung. Die Störstoffseparierung erfolgt mit Überbandmagnetabscheidern und Magnettrommeln, teilweise zusätzlich durch NE-Metallabscheider, Schwerkraftsichter und Schwimm-Sinkverfahren.

Neben herkömmlichen Aufbereitungsanlagen, welche Altholz-Recyclingprodukte für die thermische Verwertung erzeugen können, werden in der Spanplattenindustrie optimierte Verfahren eingesetzt, z. B. Leichtgutabscheider und Sichtungsanlagen, um losgelöste Oberflächenpartikel aus Lacken und Beschichtungen sowie sonstige Störstoffe mit sehr hohem Wirkungsgrad zu entfernen. Diese Verfahren werden wohl heute schon für große Durchsatzmengen erfolgreich eingesetzt [BAV, 2009].

Für die Altholzklassen A I bis A III gibt es somit nach entsprechender Aufbereitung sowohl die Option der stofflichen Verwertung als auch der thermischen Verwertung in einem dafür zugelassenen Biomassekraftwerk. In vielen Fällen erfolgt eine Vermarktung auch dieser Hölzer als Brennstoff. Die Erlössituation für die beiden Verwertungsoptionen unterscheidet sich derzeit kaum, bei strengeren Qualitätsvorgaben - weitgehende Entfernung von Lackierungen und Beschichtungen durch eine entsprechende Vorbehandlung - und damit verbunden höherem Aufwand für eine stoffliche Verwertung.

8.5.3 Hemmnisse/Lösungsansätze/Fazit

Hemmnisse

Für Althölzer gibt es bereits ein relativ gut etabliertes System, mit Einteilung der Althölzer auf der Baustelle in Altholzkategorien nach Altholzverordnung und entsprechender nach Altholzverordnung empfohlener Verwertung. Jedoch könnte deutlich mehr Altholz einer Kaskadennutzung zukommen bevor es der thermischen Verwertung zugeführt wird, als dies derzeit der Fall ist.

Gründe, weshalb das Altholz nicht dem optimalen Verwertungsweg zukommt, sind unter anderem:

- Die Option der Altholzverwertung als Recyclingmaterial in Spanplatten ist nicht generell bekannt. Die Bereitschaft das Altholz für die Spanplattenproduktion bereit zu stellen ist vorhanden. Jedoch müsste die Initiative von Seiten der Spanplattenhersteller ausgehen und die Erlössituation deutlich

verbessert werden.

- Verunreinigungen des Altholzes mit Holzschutzmitteln, Schwermetallen usw. erlauben keine stoffliche Verwertung bzw. die Aufbereitung mancher Althölzer ist zu aufwendig.
- Bei zu wenig Material/kleinen Baustellen lohnt sich die Trennung aus wirtschaftlichen bzw. Aufwandsgründen und manchmal auch aus Platzgründen nicht. Daher wird das gesamte Holz der höchsten Klasse (A IV) zugeordnet und entgeht somit einer stofflichen Verwertung.
- Die Preise/Erlöse für eine energetische Verwertung sind sehr attraktiv.

Lösungsansätze

Ein selektiver Rückbau von Gebäuden ist zwingend erforderlich, um das Altholz einer optimalen Verwertung zukommen zu lassen. Für Altholz ist dies bereits relativ gut umgesetzt, da für dieses eine gute Erössituation vorliegt.

Verpflichtung zur Kaskadennutzung vorgeben, soweit diese technisch machbar und sinnvoll ist, z.B. durch Einführung einer Mindestquote für die stoffliche Verwertung des Altholzes.

Attraktivere Gestaltung der Preise/Erlöse für die stoffliche Verwertung von Altholz, um die Konkurrenz mit der thermischen Verwertung von Altholz zugunsten der stofflichen Verwertung zu verschieben. Die Abtrennung ab Abbruchbaustelle und Aufbereitung des Altholzes ist prinzipiell sehr gut möglich, jedoch gibt es derzeit sehr gute Preise für die thermische Verwertung gemischter Baustellenabfälle bzw. des Altholzes als dass eine Sortierung und Aufbereitung finanziell immer lohnenswert ist. Die bestehenden Anreizsysteme für die energetische Verwertung von Althölzern sollten überdacht werden.

Laut Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e. V. ist die Herstellung von Spanplatten aus 100 % Altholz möglich. Die Aufbereitungs- und Produktionsverfahren sollten weiter optimiert werden, um den Altholzeinsatz in den Spanplatten zu erhöhen.

Erforschung und Entwicklung weiterer stoffliche Verwertungswege für Altholz.

Produkte aus Holz sind so zu gestalten, dass eine Kaskadennutzung des Holzes möglich wird. Hersteller von Holzprodukten stehen hier in ihrer Produktverantwortung.

Fazit

Prinzipiell ist eine Kaskadennutzung für Altholz zu empfehlen [IFEU, 2013].

Eine Separierung und getrennte Sammlung von Altholz auf den Baustellen findet bereits heute meist statt. Bei kleineren Baustellen kann Holz jedoch auch als Teil des gemischten Bauabfalls in die thermische Entsorgung gelangen und entgeht dadurch einer Kaskadennutzung. Die Aufbereitungsverfahren für die verschiedenen Holzklassen sind gut entwickelt und ermöglichen für die Klassen A I-A III eine stoffliche sowie eine thermische Verwertung, für die Altholzklasse IV eine thermische Verwertung. Durch die derzeit sehr attraktiven Preise für die thermische Verwertung entgeht Altholz jedoch häufig der Kaskadennutzung.

Durch die Einführung von Mindestquoten für die Kaskadennutzung von an Baustellen anfallendem Altholz bzw. durch ein Überdenken der Förderung der energetischen Verwertung von Altholz könnte die stoffliche Nutzung des Altholzes gestärkt werden.

Die Holzindustrie sollte künftig darauf achten, Holzprodukte so zu gestalten und zu verarbeiten, dass diese ohne größere Probleme einer Kaskadennutzung zukommen können. Aus Sicht einer hochwertigen Verwertung sind Verbundbaustoffe fraglich, da keine hochwertige Verwertung von Stoffgemischen möglich ist.

8.6 Dämmstoffe

Die Palette der beim Abriss anfallenden Dämmstoffe ist hoch, da mit technischem Fortschritt immer anwendungsspezifischere Produkte auf den Markt kommen. Dämmstoffe werden fast überall in Gebäuden eingesetzt und sind oft mit den Wänden verklebt, welches eine selektive Abtrennung des Dämmmaterials vor Abbruch des Hauses erfordert.

Dämmstoffe werden aufgrund ihrer ursprünglichen Materialien in zwei Hauptgruppen unterteilt: in organische (aus Kohlenstoffverbindungen) und anorganische Dämmstoffe (aus mineralischen Stoffen). Diese beiden Kategorien können je nach Herkunft ihrer Rohstoffe in natürliche und synthetische Materialien eingeordnet werden, sodass sich insgesamt vier Gruppen ergeben:

- Anorganische, synthetische Dämmstoffe (bspw. Mineralfasern wie Glas- und Steinwolle),
- Anorganische, natürliche Dämmstoffe, z. B. Blähton und Bläherlit,
- Organische, natürliche Dämmstoffe, z. B. Holzwolle,
- Organische, synthetische Dämmstoffe, z.B. Styropor.

Die nachfolgende Diskussion beschränkt sich auf die Betrachtung von Dämmmaterialien aus Styropor, Glas- und Steinwolle sowie Schaumglas.

8.6.1 Styropordämmung

Zur Herstellung von Dämmmaterial wird Polystyrol, welches durch Polymerisation einer Kohlenwasserstoffverbindung gewonnen wird, zu extrudiertem (EPS) oder expandiertem (XPS) Polystyrol weiterverarbeitet. Zur Hausdämmung kommen EPS (Expandierter Polystyrol-Hartschaum) und XPS (Extrudierter Polystyrol-Hartschaum) zum Einsatz, wobei Letzteres zur Dämmung von Gebäuden gegen Erdreich eingesetzt wird. Ein üblicher Handelsname für EPS-Hartschaum ist Styropor.

Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Aus der Verwertung von insbesondere Verpackungsmaterialien sind Verfahren der stofflichen Verwertung von Styropor bekannt. Es gibt über 1500 Sammelstellen für Styropor, allerdings ausgelegt für Verpackungsmaterialien. Die dortigen Annahmebedingungen sind, dass das Material sortenrein, weiß und sauber ist sowie keine Anhaftungen, Farben, Lacke und Fremdstoffe aufweist.

Das gesammelte Styropor wird zerkleinert. Durch Schmelzen, Verdichten und Granulieren entstehen nach dem Industrieverband Hartschaum (IVH) gut weiterverarbeitbare Polystyrol-Granulate, die zur Herstellung neuer Schaumstoffe oder zur Herstellung von Spritzgussprodukten wie Büroartikeln o.ä. verwendet werden. Daneben können die petrochemischen Ausgangsstoffe aus dem Styropor über Hydrierung, Vergasung und Pyrolyse zurückgewonnen werden.

Alt-Styropor findet ebenso Anwendung als Bodenhilfsstoff, wird Pflanzensubstrat zugegeben und in der Dränung eingesetzt. Propagiert wird der Einsatz des Altmaterials als Zuschlagstoff zu Leichtbeton. Von diesem Verwertungsweg ist im Hinblick auf die Schwierigkeiten der Entsorgung dieser Baustoffe an deren Lebensende abzusehen [IFEU, 2012], weil eine derartige Materialmischung beim Bauschuttrecycler nicht mehr sauber trennbar ist, so dass die Verwertbarkeit des Abbruchmaterials gemindert ist. Zudem wird das Material zur Herstellung poröser Ziegel eingesetzt. Die Styroporkügelchen werden der Tonmasse zugegeben. Im Brennprozess verbrennen diese und hinterlassen die gewünschten Hohlräume im Ziegel.

Der optimale Weg der stofflichen Verwertung ist ein Wiedereinsatz des rezyklierten Materials im selben Produkt. Die Herstellung von Recycling-Dämmplatten aus bis zu 100% rezykliertem Material macht die Wiederverwertung als Dämmstoff möglich [Umweltbroschüre Unidek, o.J.]. Die Hersteller empfehlen in

den Environmental Product Declarations (EPDs), die vom Institut für Bauen und Umwelt veröffentlicht werden, eine stoffliche, zumindest aber eine thermische Verwertung. Im Falle eines Rückbaus wird eine Abtrennung der Armierungsschicht mit Gewebe empfohlen. Bisher bestehen für außenseitig gedämmte Bauten jedoch keine erprobten Verfahren zu Recycling/Entsorgung der Wärmedämmverbundsysteme (WDVS).

2005 endete die Laufzeit eines Projektes von Fraunhofer Institut Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) mit dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW) und der CreaCycle GmbH⁵². Dabei wurden das Auflösen von EPS (CreaSolv-Prozess) und die Rückführung von auch verschmutztem EPS-Abfall zu wiederaufschäumbarem Polystyrol erforscht. Nach Angaben von CreaCycle wird mit dem Prozess selektiv der Kunststoff durch Lösemittel aufgelöst und anschließend in gereinigter Form wieder ausgefällt. Die Lösemittel werden im Kreislauf gefahren. Das Auflösen des Kunststoffs in den entsprechenden Formulierungen schafft eine Volumenreduktion um bis zu Faktor 10, so dass in der gelösten Form auch ein effizienterer Transport möglich ist. In einer kleintechnischen Anlage des Fraunhofer Instituts IVV wurde das Verfahren erfolgreich betrieben. In einem Folgeprojekt zur Aufarbeitung von schadstoffhaltigen Altkunststoffen aus Shredderrückständen, der Aufbereitung von Elektroaltgeräten und Autos hin zu gesetzeskonformen Kunststofffrezyklaten soll am Fraunhofer IVV eine Pilotanlage zum CreaSolv-Prozess mit einer Jahreskapazität von 500 t errichtet werden⁵³.

Aktuell wird das Projekt „Möglichkeiten der Wiederverwertung von Bestandteilen des Wärmedämmverbundsystems nach dessen Rückbau durch Zuführung in den Produktkreislauf der Dämmstoffe bzw. Downcycling in die Produktion minderwertiger Güter bis hin zur thermischen Verwertung“ vom Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) zusammen mit dem IVV und dem FWI im Auftrag des Fachverbandes Wärmedämmverbundsysteme (FV WDVS) und dem IVH bearbeitet. Zur späteren Umsetzung des Recycling planen die Initiatoren gemeinsam mit einem Maschinenhersteller u.a. die Entwicklung einer Fräse, die Putz, Gewebe und EPS trennt [Pressemitteilung FV WDVS, 2012].

Status Quo im Umgang mit diesen Materialien

In aller Regel wird das Styropor in Wärmedämmverbundsystemen eingesetzt, mit denen die Außenhaut eines Gebäudes gedämmt wird. Vor dem eigentlichen Rückbau/Abriss des Gebäudes wird mittels Sortiergreifer und scharfer Schaufel das Styropor von den Hauswänden abgeschabt. Dies ist nach Auskunft der Abbruchunternehmen ein gängiges und erprobtes Verfahren. Wenn aufgrund räumlich beengter Verhältnisse nicht mit der Abbruchtechnik gearbeitet werden kann, sind grundsätzlich auch eine Einrüstung der Wand oder des ganzen Gebäudes und eine manuelle Entfernung der Dämmung möglich [IFEU, 2012].

Da die Dämmstoffe beim Abbruch in großen Mengen und als Monochargen anfallen, werden sie ab Baustelle separat abgefahren. Bisher besteht aufgrund der hohen Fremddanteile keine Möglichkeit der stofflichen Verwertung. Auch die Abgabe von Styroporgranulat in die Ziegelindustrie ist nicht möglich, da das als Dämmmaterial eingesetzte Styropor flammhemmende Mittel enthält und damit beim Brennvorgang der Ziegel nicht (vollständig) verbrannt wird.

Das Material wird daher an Anlagen und Aufbereiter abgegeben, die dieses Material als Ersatzbrennstoff weitervermarkten.

⁵² <http://www.creacycle.de/de/projekte/recycling-von-expandiertem-polystyrol-eps/eps-loop.html>, aufgerufen am 28.12.2013

⁵³ <http://www.creacycle.de/de/pilotanlage.html>, aufgerufen am 28.12.2013

Hemmnisse/Lösungsansätze

Styropordämmung wird bis dato mit dem Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) behandelt. Im Rahmen der UN-Chemikalienkonferenzen in Genf wurde beschlossen, diesen Stoff in die Stockholmer Konvention über persistente organische Schadstoffe (POPs) aufzunehmen. Mit der formalen Umsetzung des Beschlusses am 09. Mai 2013 darf die Chemikalie nicht mehr produziert und verwendet werden. Für den Dämmbereich gelten aber noch vorübergehende Ausnahmeregelungen^{54 55}. Dies hat zur Folge, dass vor 2013 bzw. unter Berücksichtigung der Übergangsfrist vor 2014 verbaute Styropordämmung an deren Lebensende thermisch behandelt werden muss. Eine stoffliche Verwertung ist nicht möglich. Erst die ab 2014 verbaute Styropordämmung wird für eine stoffliche Verwertung in Betracht gezogen werden können. Dies setzt voraus, dass bis dahin ein adäquater Ersatz für HBCD gefunden ist.

Das Material von Wärmedämmverbundsystemen ist außerdem auf der Außenseite mit Putz und Gewebe und auf der Innenseite mit Spachtel- und Klebmasse verschmutzt. Ein solches Material kann nicht zu einem hochwertigen Produkt mit definierten Eigenschaften verarbeitet werden.

Die Auftrennung des Materials beim Verwerter führt zum Problem der Entsorgung dieser Verschmutzungen. Eine Ablagerung auf Deponien ist nicht möglich, eine teure Entsorgung über Müllverbrennungsanlagen notwendig. Wenn die Putz- und Gewebeschicht sowie die Verklebungsschicht jedoch sauber abgefräst werden, ist eine hochwertige Verwertung dieses innenliegenden sauberen Dämmmaterials möglich. Der Aufwand lohnt sich derzeit aber finanziell nicht. Dämmplatten unter dem Estrich hingegen sind zumeist nur mit einer Folie überzogen und können daher gut verwertet werden, wenn sie beim Rückbau des Gebäudes getrennt bereitgestellt wurden.

Weiterhin ist der spezifische Transportaufwand für dieses leichte, voluminöse Material sehr groß, so dass nur geringe Entfernungen überbrückbar sind. Der Ausbau des Verwertungsnetzes kann daher wie bei Kunststoffen dargestellt mit Informationskampagnen gefördert werden.

Der essenziellste Punkt zur Förderung der Verwertung von Alt-Styropordämmung aus der Anwendung nach 2014 ist momentan die Entwicklung großmaßstäblich anwendbarer Recyclingtechnologien. Die Industrie sollte im Sinne der Produktverantwortung hier ihrer Betriebsgröße entsprechend finanziell unterstützen.

Der Aufbau eines engmaschigen Verwertungsmarktes mit finanzieller Unterstützung durch die Industrie ist aufgrund der sehr geringen Dichte des Materials unerlässlich. Eine freiwillige Selbstvereinbarung zum Verwerten von künftigen Styropordämmplatten oder die Festlegung einer Verwertungsquote sollte für den nötigen finanziellen Anreiz sorgen, durch die Industrie einen engmaschigen Verwertungsmarkt aufzubauen, der sich dann nach einer Anlaufphase selbst tragen muss. Weiterhin wird dadurch eine Anpassung des Produktdesigns erfolgen.

Ein Pfandsystem auf Dämmstoffplatten (z.B. auf Basis von Dämmplattenstückzahl oder Gewicht) wäre möglich aber wegen der Langlebigkeit der Produkte schwierig zu realisieren und ist daher eher nicht empfehlenswert.

Fazit

Derzeit ist ein selektiver Rückbau des Styropor-Wärmedämmungsverbundsystems mit anschließender Verbrennung die einzige großmaßstäbliche Lösung. Mit der Aufnahme des Flammschutzmittels HBCD in die POP-Liste ist dies für alle vor 2014 verbauten Systeme auch der einzig mögliche Entsorgungsweg, es sei

⁵⁴ http://www.recyclingmagazin.de/rm/news_detail.asp?ID=18623, aufgerufen am 12.12.2013

⁵⁵ http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2013/pdf/pd13-023_weltweites_aus_fuer_flammschutzmittel_hbcd.pdf, aufgerufen am 12.12.2013

denn, HBCD ist durch das selektive Lösen bspw. im CreaSolv-Prozess vom Polystyrol abtrennbar und kann anschließend zerstört werden. Dafür wäre aber eine großmaßstäbliche Umsetzung entsprechender selektiver Extraktionsverfahren nötig. Um eine hochwertige stoffliche Verwertung von nach 2014 verbauten Systemen zu ermöglichen, sind großmaßstäblich kosteneffizient anwendbare Verfahren zu einer Abtrennung des sauberen, nicht von Putz und Klebstoffen beeinflussten Styroporanteils nötig. Zusätzlich sollte der Aufbau eines engmaschigen Netzes an Styroporverwertern forciert werden, um (Transport)kosten zu senken. Zusätzlich sind finanzielle Anreize nötig. Diese sind von der Industrie im Rahmen freiwilliger Selbstverpflichtungen oder über die Festlegung von Verwertungsquoten zur Erreichung derselben zu schaffen. Die Verbrennung des verunreinigten Teils der Dämmplatten ist wahrscheinlich nicht vermeidbar.

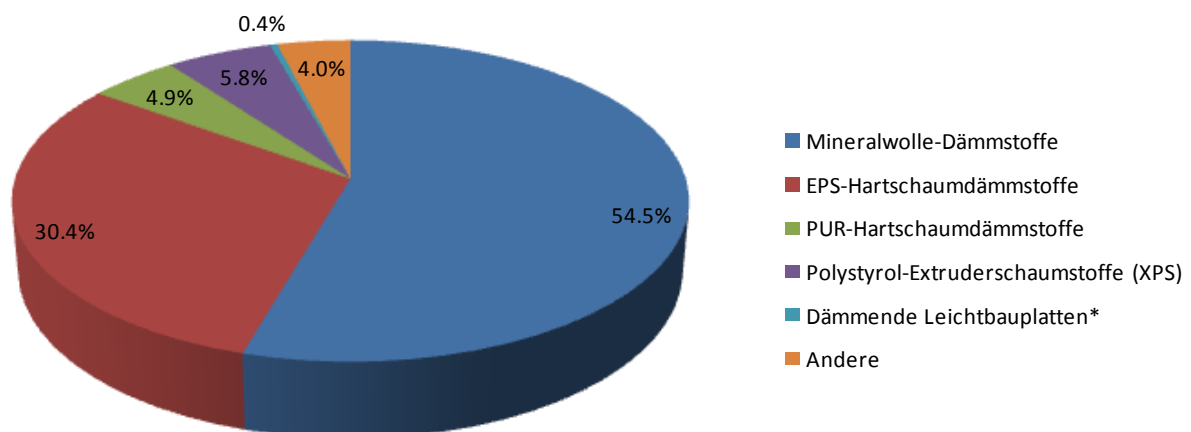
8.6.2 Mineralwolle (Steinwolle/Glaswolle)

Die Mineralwolle-Arten Steinwolle und Glaswolle bestehen aus künstlichen Mineralfasern (KMF) und dominieren im Bauwesen diese Dämmmaterialien, wie Abbildung 45 zu entnehmen ist. Nach der EU-Richtlinie 97/69/EG bestehen KMF aus ungerichteten, glasigen (Silikat-)Fasern mit einem Massengehalt von über 18 Prozent an Oxiden von Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium und Barium. Es wird zwischen "alter" und "neuer" Mineralwolle unterschieden. Der Begriff "alte Mineralwolle" umschreibt die Einstufung der Fasern als krebserzeugend, der Begriff "neue Mineralwolle" die Einstufung der Fasern als nicht krebserzeugend.

Mineralwolle wird durch Aufschmelzen der Ausgangsmaterialien und Zerkleinerung unter Zugabe von Bindemitteln hergestellt.

Abbildung 45: Marktanteile der Dämmstoffe in Deutschland im Jahr 2005

Marktanteile am Dämmstoffmarkt in Deutschland 2005 (Zahlen aus Wecobis)



[nach Wecobis]

Laut Statistischen Bundesamt fielen im Jahr 2010 etwa 100 000 t Mineralfaserdämmstoffe unter der europäischen Sonderabfall-Schlüsselnummer EAK-Nr. 170603* an, dies entspricht jedoch nur dem Anteil des Mineralwolleabfalls, der als gefährlicher Abfall eingestuft wird. Nicht gefährliche Mineralwolle-Abfälle werden zusammen mit anderen Dämmstoffen (EAK-Nr. 170604) deponiert und sind daher mengenmäßig nicht getrennt erfasst. Jedoch ist die Menge der gesamten unter EAK-Nr. 170604 erfassten Dämmstoffe geringer als die unter EAK-Nr. 170603* erfassten. Es ist zu erwarten, dass die Abfallmengen nicht-gefährlicher Mineralwollen in Zukunft deutlich steigen werden [destatis, 2013].

Die TRGS 521 gilt zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen bei Abbruch, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle, bei denen als krebserzeugend eingestufte Faserstäube freigesetzt werden (TRGS 521)⁵⁶. Nach TRGS 521 muss für Mineralwolleprodukte, die vor 1996 eingebaut wurden, von einer Einstufung als krebserzeugend Kategorie 2 nach TRGS 905 ausgegangen werden, da diese biopersistente künstliche Mineralfasern sind (TRGS 905)⁵⁷. Durch Einzelnachweis kann diese Einstufung widerlegt werden. Seit 1996 werden in Deutschland Mineralwolleprodukte hergestellt, die als unbedenklich gelten. Tätigkeiten mit diesen Produkten erfordern neben den Mindestanforderungen nach TRGS 500⁵⁸ keine zusätzlichen Anforderungen.

Wenn keine Informationen über die Beurteilung der Mineralwolleprodukte vorliegen – dies wird in der Praxis bei Arbeiten an/mit eingebauten Produkten im Rahmen von Gebäuderückbauten die Regel sein – ist bei der Beurteilung von alter Mineralwolle auszugehen. Neue Mineralwolle-Produkte haben das RAL-Gütezeichen “Erzeugnisse aus Mineralwolle” (RAL-GZ 388). Seit dem 1.6.2000 dürfen alte Mineralwolle-Dämmstoffe nicht mehr hergestellt, vermarktet und verwendet werden (Anhang IV, Nr. 22 GefStoffV und Chemikalienverbotsverordnung).

Ansätze einer hochwertigen Verwertung

Wiedereinschmelzen in Schacht- und Rinnenöfen

Das betriebsinterne Recycling von Mineralwolleresten ist bereits seit Jahren gängige Praxis bei allen Herstellern.

Generell besteht die Möglichkeit Steinwolle zu recyceln, indem Baustellenverschnitte und ehemals verbauete Steinwolle zermahlen, zu Briketts gepresst und dann vollständig zu neuem Dämmstoff recycelt werden [Rockwool, 2013]. Unverschmutzte oder evtl. leicht verschmutzte Steinwolle aus Abrissbaustellen könnte aus technischen Gesichtspunkten ebenfalls auf diese Art recycelt werden. Bisher wird dies jedoch nicht praktiziert, da nach telefonischer Auskunft von Rockwool die Transportkosten unverhältnismäßig groß sind.

Für sortenreine sowie kaschierte Mineralwolle-Baustellenabfälle der Fa. Rockwool aus Flachdachsanierungen bietet die deutsche Rockwool ein Rücknahmesystem für das stoffliche Recycling im Werk gegen eine Annahmegebühr an. Die Rücknahme ist an einen Neuauftrag gekoppelt. “Alte” Mineralwolle wird nicht immer angenommen, hier wird nach einer Analyse im Vorfeld individuell entschieden.

Die Höhe der Rücknahmegebühren unterscheidet sich laut BBRS-Bericht Kompakt “Künstliche Mineralfasern” nicht wesentlich von regional üblichen Deponiegebühren. Voraussetzung ist neben der Sortenreinheit

⁵⁶ (TRGS 512) Technische Regeln für Gefahrstoffe, Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen mit alter Mineralwolle, Hg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Stand Februar 2008

⁵⁷ (TRGS 905) Technische Regeln für Gefahrstoffe; Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Hg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Mai 2008

⁵⁸ (TRGS 500) Technische Regeln für Gefahrstoffe, Schutzmaßnahmen, Hg.: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Stand Mai 2008

eine transportfähige Verpackung, z. B. im Big Bag. Die Verpackungen für den Transport werden von Inter-seroh zur Verfügung gestellt und nach Benutzung auch wieder an diese zurückgegeben [BBRS, 2011].

Die FLUM-ROC AG in Flums (Schweiz) bietet ebenfalls ein derartiges Rücknahmesystem. FLUM-ROC bietet Foliensäcke für den sicheren Transport zum Kauf an und nimmt die mit Abfall gefüllten Säcke beim Kauf von Neuware zurück und übernimmt im Zuge der Auslieferung der Neuware den Rücktransport der alten Ware. Auf ihrer Homepage wird erwähnt, dass die FLUM-ROC AG auch alte Steinwolleplatten zurücknimmt und diese zusammen mit anfallenden Abfällen aus der laufenden Steinwolleproduktion und neuem Gesteinsmaterial zu Briketts verpresst werden. Die Briketts werden dann wieder als Rohstoff für die Produktion neuer Steinwolle eingesetzt.

Einschmelzen von verschmutzter Mineralwolle in einem Wannenofen - Offenlegungsschrift

Im BBRS-Bericht Kompakt "Künstliche Mineralfasern" des Bauinstituts für Bau-, Stadt- und Raumordnung [BBRS, 2011] wird eine Patent-Offenlegungsschrift der Firma Grünzweig und Hartmann AG "Verfahren und Einrichtung zur Herstellung von Mineralwolle unter Verwendung von Mineralwolleabfällen" von 1995 erwähnt. Hierin wird vorgeschlagen, die für das Wiedereinschmelzen im Wannenofen störenden organischen groben Bestandteile (Papier, Pappe, Plastik) und anhaftende Bitumenkleber sowie arteigene Bindemittel der Mineralwolle-Abfälle mit einer vorgeschalteten Pyrolyse bis zum Ausbrand des Kohlenstoffes zu zerstören. Ob derzeit ein geprüftes Patent für das Verfahren vorliegt, konnte nicht geklärt werden.

Alternatives, jedoch derzeit eingestelltes Verfahren zur stofflichen Verwertung

Ein alternatives Verfahren zur stofflichen Verwertung von Mineralwolleabfällen stellte das WOOLREC-Verfahren der Firma Woolrec dar. Nach einem Rechtsstreit ist die Niederlassung im Braunfelser Stadtteil Tiefenbach jedoch geschlossen.

Bei diesem Verfahren zur stofflichen Verwertung wurden Recyclingfasern, welche überwiegend aus den Abfällen beim Bauabrieb bestanden, in zwei Stufen zu Mineralfasermehl zerkleinert und anschließend von metallischen Rückständen gereinigt. Eine Siebanlage diente dann zur Entfernung weiterer Reststoffe. Danach wurde das Mehl in eine sichere Matrix eingekapselt und geformt. So entstand ein Granulat (WOOLIT®), welches in der Ziegelherstellung dem Tonteig beigemischt werden konnte. Beim anschließenden Brennvorgang in der Ziegelherstellung verbrannte das Granulat und führte zur gewünschten Porosierung im Endprodukt. Diese zur Verwertung von Mineralfaserstoffen entwickelte erste Anlage wurde durch das Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums (BMU) in Tiefenbach aufgebaut [Woolrec, 2013a]. Das Werk ist mittlerweile geschlossen [RP Gießen, 2013]. Nach telefonischer Auskunft der Firma Woolrec ist geplant, einen neuen Standort für das Unternehmen zu finden [Woolrec, 2013b].

Verwertung mit Hilfe der Mikrowellentechnologie

Ein weiterer Verwertungsansatz besteht in der Behandlung und Verwertung von Mineralwolle auf Basis der Multi-Mode-Mikrowellentechnologie. Der Verwertungsansatz wurde an der Bauhausuniversität Weimar entwickelt und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Ziel des Vorhabens war die strukturelle Umwandlung vor allem der als kanzerogen eingestuften Mineralwolle, wobei der Gefahrstoff durch die gezielte Behandlung verschlackt wird. Durch die Verschlackung kann aus der gefährlich eingestuften "alten" Mineralwolle ein Sekundärrohstoff hergestellt werden, allerdings müssen für eine Umsetzung im Großmaßstab Abnehmer für die entstehende Mineralschlacke gefunden werden. Der Einsatz als Rohstoff für die Mineralwolleproduktion wäre hier eine Option. Im Labormaßstab ist das Verfahren bereits erfolgreich erprobt. Aufgrund der großen Schwankungen in der Zusammensetzung der Mineralwolleabfälle müssen Suszeptoren (hier kohlenstoff- oder graphithaltige Reststoffe) eingesetzt werden, um die strukturelle Umwandlung der Fasern zuverlässig zu erreichen.

Der Abschlussbericht zum Projekt [Universität Weimar, 2008] enthält unter anderem eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens. Die Ergebnisse zum Verfahren wurden in der Keramischen Zeitschrift 2009 veröffentlicht [KER, 2009]. Nach Aussage von Frau Prof. Dr. Müller (Institut für Angewandte Bauforschung

Weimar gGmbH) gibt es noch keinen Nutzer der Idee, jedoch etliche Anfragen.

Als Ausgangspunkt zur Mineralwollebeschaffung könnten laut Abschlussbericht der Universität Weimar Deponien und Sondermülldeponien dienen. Auch die Aufstellung mobiler Anlagen bei Großbaustellen -und entsprechend zu erwartendem hohen Aufkommen an Mineralwolleabfällen- wäre evtl. möglich, wobei hierbei der Bereich komplett abgeschottet werden müsste und dadurch fraglich ist, ob dies für ein Abrissunternehmen noch rentabel wäre.

Derzeitiger Umgang mit den Altstoffen

Nach Angaben verschiedener Containerdienste und Abbruchunternehmen wird beim Abbruch/Rückbau eines Gebäudes grundsätzlich nicht zwischen "alter" und "neuer" Glas-/Steinwolle unterschieden. Das Material wird von den Arbeitern unter hohen Arbeitsschutzvorgaben (Vollschutzanzüge etc.) aus den Gebäuden entnommen, verpackt und anschließend auf Deponien abgelagert.

Oft liegen Putzanhäufungen bei Dämmmaterialien aus Abbruch vor, wodurch die Wiederverwendung als Recyclingprodukt im Herstellungsprozess neuer Mineralwolle nicht möglich ist und das Material demnach deponiert wird.

Nach telefonischer Auskunft des Verbandes für Dämmmaterialien werden bei z. B. Abbruch einer größeren Halle die Dämmmaterialien aus der Decke entnommen und evtl. wieder vom Hersteller zurückgenommen, jedoch konnte das bisher von Herstellerseite nicht bestätigt werden. Die Hersteller nehmen Produkte aus Sanierungen an, jedoch nicht aus Abbruchvorhaben. Steinwolle aus dem Hochbau wird deponiert.

Hemmnisse

Eine einfache Unterscheidung zwischen "alter" und "neuer" Mineralwolle ist nicht so leicht möglich. Die Mineralwolle muss analysiert werden, was nach Angaben des Verbandes für Dämmmaterialien in etwa 600€ kostet. Daher wird meist auf die Analyse verzichtet und Mineralwolle entsprechend den Vorschriften für alte Mineralwolle abgerissen und deponiert.

Außerdem gibt es derzeit in Deutschland keine etablierte und im großen Maßstab funktionierende Verwertungsalternative zur Deponierung für Mineralwolle aus Abrissunternehmungen. Einige wenige Forschungsvorhaben und Versuchsanalgen sind noch in der Entwicklungsphase. Des Weiteren müssen auch Abnehmer für die entstehenden Sekundärprodukte gefunden werden. Hierbei ist u.U. auch mit Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung zu rechnen.

Es gibt derzeit keine Verpflichtung der Mineralwollehersteller, ihre eigenen Produkte zurückzunehmen. Sauber anfallende Mineralwolle könnte zwar wieder im Prozess eingesetzt werden, jedoch ist die bei Abbruch anfallende Mineralwolle oftmals verschmutzt oder liegt in so kleinen Mengen vor, dass der Transport nicht wirtschaftlich ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Hersteller immer nur jeweils bereit sind, ihre eigenen Produkte zurückzunehmen.

Lösungsansätze

Da die Mineralwolle an Deponien und Sondermülldeponien gesammelt und verpackt vorliegt/ankommt, wären dort Ansatzpunkte für eine Aufbereitung zum Wiedereinsatz in der Mineralwolleproduktion gegeben. Ob eine zusätzliche Aufbereitung notwendig ist und wie diese aussehen müsste sollte evtl. in Zusammenarbeit mit den Mineralwolleherstellern erarbeitet werden.

Die Hersteller von Mineralwolleprodukten müssten mehr Eigenverantwortung in der Rücknahme der bereits verwendeten Mineralwolle zeigen. Von staatlicher Seite könnte dies über eine Rücknahmeverpflichtung bzw. über Recyclingquoten für gebrauchte Mineralwolle geregelt/realisiert werden.

Künftig sollten Bauwerke so konstruiert werden, dass ein sortenreiner Rückbau der eingesetzten Materialien möglich ist.

Fazit

Bei Abriss anfallende Mineralwolle wird deponiert, da es derzeit keine etablierten Verwertungswege für diese Mineralwolle-Abfälle gibt.

Der Einsatz von gebrauchter, sauberer Mineralwolle im Mineralwolle-Herstellungsprozess ist möglich, wird derzeit jedoch nur für Material aus Sanierungsprojekten realisiert.

Durch Recyclingquoten für gebrauchte Mineralwolle bzw. eine Rücknahmeverpflichtung der Hersteller könnte evtl. der Aufbau eines Recyclingsystems erreicht werden.

8.6.3 Schaumglas

Schaumglas ist ein geschlossenzelliger Dämmstoff der aus bis zu 100 % Recyclingglas sowie unter anderem aus Sand, Dolomit und Kalk hergestellt wird. Das gemahlene Glas wird unter Zugabe von Kohlenstoff geschmolzen und aufgeschäumt. Es entsteht eine hermetisch abgeschlossene Materialstruktur mit dünnen Zellglaswänden, die durch den kontrollierten Abkühlprozess erhalten bleiben (Bauteilnetzwissen)⁵⁹.

Glasschaumplatten werden bei Flachdächern und Steildächern, begrünten Dächern, Parkdecks und Terrassen, Erdreichaußenwand/Boden, lastabtragenden Gründungsplatten, Fassaden, Wänden und Mauerfußpunkten sowie zur Innendämmung eingesetzt.

Möglichkeiten einer hochwertigen Verwertung

Verfahrenstechnisch ist das Wiedereinschmelzen von Schaumglasplatten möglich. Auch die Abtrennung von häufig mit Schaumglasplatten verklebten Bitumenbahnen lässt sich mit Hilfe entsprechender Werkzeuge durchführen. Jedoch würde das stoffliche Recycling von Schaumglas bei gleichbleibendem Energieaufwand zu einer Qualitätsminderung des entstehenden Recyclingproduktes führen, was sich für den Wettbewerb als nachteilig erweisen würde, so das Internetportal foamglas.de (foamglas 2013)⁶⁰.

Eine weitere, jedoch weniger hochwertige Verwertungsmöglichkeit von Schaumglasabbruch ist die Verwendung als Füllkörper im Landschaftsbau und Straßenunterbauten, Wärmedämmung in Form von loser Schüttung oder Grabenfüllmaterial. Hierzu wird das Material zuvor in Brechanlagen zerkleinert, teilweise auch direkt in der Aufbereitung zusammen mit mineralischem Bauschutt.

Derzeitiger Umgang mit den Altstoffen

Da das Material relativ neu auf dem Markt und damit bisher kaum an Abbruchbaustellen angefallen ist, fehlen derzeit noch Erkenntnisse über den Stoffstrom Baustelle zur Verwertung. Vermutlich wird das Material aufgrund von Verunreinigungen und geringen Materialmengen deponiert oder ist Bestandteil des Massenstroms mineralischer Bauabfälle.

Hemmnisse/Lösungsansätze/Fazit

Aufgrund der relativ kurzen Marktpräsenz fällt das Schaumglas bislang nicht bzw. nicht in größeren Mengen zur Verwertung an (s.o.).

Eine hochwertige Verwertung einer gebrauchten Glasschaumplatte wäre der direkte Wiedereinsatz als Dämmmaterial oder der Einsatz als Sekundärmaterial im Schaumglasherstellungsprozess.

⁵⁹ http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_Schaumglas_152164.html; aufgerufen im Juni 2013

⁶⁰ <http://www.foamglas.de/>; aufgerufen im Juni 2013

8.7 Hemmnisse und Lösungsstrategie für die Verwertung sonstiger Baumaterialien

Für alle betrachteten bei Abriss anfallenden Baustoffe werden sehr viele unterschiedliche und teils widersprüchliche Aussagen zu Verwertungsoptionen und tatsächlich stattfindender Verwertung vorgefunden. Es ist jedoch klar ersichtlich, dass es erhebliche Verbesserungspotentiale bezüglich der Zuführung der bei Abriss anfallenden Baustoffe in eine höhere Verwertungsstufe gibt. Oft lohnt sich die Getrennthaltung und Aussortierung der Baustoffe zur hochwertigen stofflichen Verwertung finanziell nicht, weil die Logistik zu aufwändig wäre und die Entsorgungsalternativen finanziell lukrativer sind.

Wenn Altbaumaterialien eine wertvolle Rohstoffquelle darstellen, gibt es ein etabliertes System aus Abbruch, Sortierung und Aufbereitung sowie Verwertung, das hohe Quoten in der Bereitstellung und Verwertung erreicht. Dies ist insbesondere bei den Eisen- und Nichteisenmetallen der Fall, aber auch für die an Abbruchbaustellen anfallenden Hölzer. Die Althölzer werden grundsätzlich ab Baustelle getrennt zur Verwertung bereitgestellt und dies bei größeren Bauvolumina auch getrennt nach den Kategorien IV und I bis III. Diese Hölzer gelangen zu Firmen, die Althölzer aufbereiten und vermarkten. Je nach der Erlössituation werden die Hölzer verstärkt energetisch oder stofflich genutzt. Die starke Nachfrage nach Brennstoff aus Althölzern führt dazu, dass sich der Aufwand der weitergehenden Aufbereitung der Hölzer aus dem Bau zur stofflichen Verwertung oftmals nicht lohnt.

- Für Metalle ist kein weiterer Impuls notwendig.
- Für Holz müsste sich die Erlössituation für die stoffliche Nutzung im Vergleich zur energetischen Verwertung verbessert werden.

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei entsprechenden finanziellen Anreizen aus dem Markt auch für andere Altbaustoffe eine hochwertige Verwertung möglich wird. Die Erlössituation wird aber über den Rohstoffmarkt und die (oft weltweite) Nachfrage bestimmt. Abgesehen davon, dass diese in der Regel größeren Schwankungen unterliegen, lässt sich diese aus der Perspektive einer optimalen Verwertung der sonstigen Baumaterialien nicht beeinflussen. Im Vergleich zu den übrigen Herkunftsbereichen (Haushalte, Gewerbe, Industrie) ist der Bauabfallsektor für diese Materialien auch relativ unbedeutend.

Ein zentraler Ansatzpunkt zur Optimierung der Verwertung der sonstigen Baumaterialien ist die Gestaltung der Rückbaus und Abbruchs von Gebäuden. Bei einem Abbruch von Gebäuden fallen vor allem mineralische Bauabfallmassen zur Entsorgung an. Je höher die Anforderungen der Abnehmer für diese Massen an deren Homogenität sind und vor allem, je weniger Fremd- und Störstoffe enthalten sein dürfen, umso ausdifferenzierter muss der eigentliche Rückbauprozess ausgestaltet sein. Die jeweiligen Anforderungen der Bauschuttaufbereiter werden wesentlich durch die Gesamtentsorgungssituation für Hochbauschutt bestimmt.

In vielen Regionen kann Bauschutt noch im Rahmen der Rekultivierung von Gruben und Steinbrüchen eingesetzt werden. Mit der seit langem diskutierten Mantelverordnung ist geplant, hierfür zukünftig nur noch unbelastete Böden zuzulassen bzw. Böden, die der geogenen Hintergrundbelastung des Verfüllbetriebes entsprechen. Bisher gehen Genehmigungsaufgaben für die Verfüllbetriebe weit darüber hinaus. In einigen Bundesländern wurden die Anforderungen mittlerweile angepasst, allerdings für Neugenehmigungen. In den wenigsten Fällen wurde dies konsequent auch für alle Altgenehmigungen umgesetzt. Die Übernahme der Abfallmassen zur Verfüllung stellen für Unternehmen der Natursteinindustrie einen wichtigen Deckungsbeitrag dar. Die Annahmepreise orientieren sich an denen der Bauschuttreycler mit dem Ziel, diese Preise inklusive Fracht zu unterbieten. Damit sind die Spielräume der Bauschuttreycler stark eingeschränkt. Insbesondere ist es kaum mehr möglich, über eine Ausdifferenzierung der Annahmepreise einen stärkeren Einfluss auf die Qualität der Inputmaterialien zu nehmen. Die Erhöhung der Annahmepreise für gemischten Bauschutt mit hohen Anteilen an Fremd- und Störstoffen führt nicht zu einem Anreiz, den Rückbau der Gebäude zu optimieren, wenn für diese Materialien kostengünstige, alternative Entsorgungsmöglichkeiten existieren.

- Aus der Entsorgung/Verwertung der mineralischen Bauabfallmassen heraus muss durch die genann-

ten Ansätze eine Notwendigkeit bestehen, den Abbruch/Rückbau der Gebäude möglichst selektiv zu gestalten und diese Materialien möglichst frei von Fremd- und Störstoffen ab Baustelle bereit zu stellen.

Sind diese Randbedingungen für die Verwertung mineralischer Bauabfälle gegeben, besteht für den Abbruchunternehmer die Notwendigkeit, die sonstigen beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Altmaterialien ab Abbruchbaustelle getrennt zu halten. Dies ist eine wichtige Grundvoraussetzung, auch für diese Materialien eine hochwertige Verwertung zu erreichen. Eine Aussortierung zu einem späteren Zeitpunkt in der Entsorgungskette, d.h. aus dem Gesamtmassenstrom im Input eines Bauschutttaufbereiters kann dies nicht kompensieren.

Auf dieser Basis ist es dann nur noch ein verhältnismäßig kleiner Schritt, diese Altstoffe ab Abbruchbaustelle auch so bereit zu stellen, dass sie einer hochwertigen Verwertung übergeben werden können. Die Selektivität im Rückbau erfordert bspw. in einem gewissen Umfang auch eine händische Entnahme der sonstigen Baustoffe vor dem eigentlichen Abbruch. Im Zweifel stellt sich daher nur die Frage, ob die Altstoffe zusammen über einen oder nach Sorten getrennt über mehrere Container zum Abtransport bereitgestellt werden.

In vielen Fällen verhindern die räumlichen Gegebenheiten auf einer Abbruchbaustelle sowie das für den Rückbau zur Verfügung stehende Zeitfenster die Aufstellung einer Vielzahl Containern zur getrennten Sammlung von Stofffraktionen. In diesen Fällen ist es kaum zu vermeiden, dass auch Mischabfälle bzw. gemischte Fraktionen ab Abbruchbaustelle abgegeben werden. Im Allgemeinen wird dieser Massenstrom als „Rest“ oder „Restabfall“ bezeichnet. Dies bedeutet jedoch nicht, dass er zwangsläufig ohne weitere Aufbereitung direkt einer thermischen Behandlung in einer Müllverbrennungsanlage übergeben werden muss. Durch das System der Bauabfallsortierung und seine Anlagen ist es grundsätzlich möglich, auch gemischte Bauabfallfraktionen zu sortieren und Fraktionen zu separieren, die einer hochwertigen d.h. stofflichen Verwertung übergeben werden können.

Die übliche Bauabfallsortierung stellt ein Zusammenspiel aus Siebung und händischer Sortierung dar. Dies schließt selbstverständlich nicht aus, dass bspw. Fe- und NE-Metalle über Magneten aus dem Massenstrom abgeschieden werden. Personal lässt sich über konkrete Sortieranweisungen tendenziell besser auf die Sortieraufgaben einstellen als dies angesichts der Heterogenität der stofflichen Zusammensetzung und der Größenverteilung der Baumaterialien über Aggregate möglich wäre.

Die Erlössituation ist der bestimmende Faktor für die Sortierquoten einzelner Stoffe. Sie ist derzeit vor allem für PVC günstig, so dass diese Fraktion für eine stoffliche Verwertung separiert wird. Je nach Größe der Abbruchmaßnahme erfolgt dies für insbesondere die Fensterprofile auch schon ab Abbruchbaustelle. Die Abtrennung von PVC verbessert die Vermarktbarkeit des übrigen Massenstroms. Denn der verbleibende Rest kann umso einfacher und ökonomisch günstiger als Sekundärbrennstoff vermarktet werden, je geringer der Gehalt an Chlor (PVC) ist.

- Wenn gemischte Leichtstoffe ab Abbruchbaustelle bereitgestellt werden, ist eine Auftrennung der Stoffströme auch über Sortieranlagen möglich. Da es sich in der Regel um grobe Abfallkomponenten handelt, kann die Auftrennung der Stoffströme auch über eine Bauabfallsortieranlage erfolgen.

Wird die Sortierquote nicht im gewünschten Maße und im Sinne einer hochwertigen stofflichen Verwertung erreicht, bedarf es weiterer Impulse.

Haupthindernis für eine stoffliche Verwertung ist der günstige Preis für die Beseitigung bzw. die energetische Verwertung. Eine Beeinflussung dieser Preise ist jedoch kaum möglich und im Falle der energetischen Verwertung auch nicht unbedingt gewünscht. Hier gilt es, die Hersteller und Händler von diesen Bauprodukten in die Pflicht zu nehmen und konkrete Quoten zur stofflichen Verwertung vorzugeben bzw. zu vereinbaren. Dies kann über freiwillige Vereinbarungen oder über Verordnungen erfolgen und gilt insbesonde-

re für die Kunststoffe und die Dämmmaterialien.

Sicherlich stößt ein Umgehen der Verbrennung oder Entsorgung auch an Grenzen, die Quoten müssten daraufhin ausgerichtet sein. Qualitativ sehr schlechtes oder zu heterogenes Material, das in kleiner Stückgröße oder als Materialverbund vorliegt, kann oft nicht entsprechend aufbereitet werden. Es wird daher auch thermisch verwertet oder deponiert.

Muss die Industrie das Recyclat aus einer Aufbereitung zu einem gegenüber heute höheren Preis annehmen, um bspw. Verwertungsquoten zu erfüllen, könnte sich ein engmaschiges Aufbereitungs- und Verwertungsnetz entwickeln. Die (anfängliche) finanzielle Stützung von Systemen einer hochwertigen Verwertung durch die Bauprodukterhersteller wird sich nur gering auf die Preise der Bauprodukte auswirken. Zur Vermeidung dieser Mehrkosten wird sich mittelfristig jedoch das Produktdesign anpassen.

Dieser Impuls wäre insbesondere für Dämmstoffe wichtig. Hier hat sich bisher kein System der Sammlung/Aufbereitung und Verwertung aufbauen können, das eine hochwertige Verwertung der Altprodukte sicherstellen würde. Problematisch sind insbesondere die Mauersteine, die in einem untrennbaren Verbund (organische) Dämmmaterialien beinhalten.

- Die hochwertige stoffliche Verwertung von Altprodukten aus dem Bau kann in Abgrenzung zur energetischen Verwertung nur dann sichergestellt werden, wenn hierfür verbindliche Quoten festgelegt werden. Dies gilt insbesondere für Kunststoffe und die Dämmmaterialien.

Bei einigen Baumaterialien müssen Verwertungskonzepte erst erarbeitet werden. Für die Erarbeitung und Erprobung optimierter Verwertungsansätze besteht Forschungsbedarf.

- Für einige Abfallstoffströme aus dem Bausektor bedarf es noch der Entwicklung von Lösungsansätzen zur Sortierung und Aufbereitung mit dem Ziel einer hochwertigen Verwertung. Dies gilt insbesondere für Dämmstoffe und Verbundbaustoffe und kann über entsprechende Forschungsprogramme gestützt werden.

Alle oben beschriebenen Lösungsansätze zielen auf eine Optimierung des Status Quo im Umgang mit den Baustoffen, die bereits in Gebäuden verbaut sind und derzeit oder zukünftig als Abfallmassenstrom zur Entsorgung anfallen. Lösungsansätze müssen aber auch auf das Bauproduktdesign und Bauweisen ausgerichtet sein, mit dem Ziel die derzeit bestehenden Probleme in Zukunft zu verringern/ zu vermeiden. Die Verwertbarkeit ist bei manchen Bauprodukten, insbesondere bei Dämmstoffen derzeit nicht ausreichend gegeben.

Die Baustoffhersteller sollten bezüglich der Verwertung der eingesetzten Produkte in die Pflicht genommen werden, zum Beispiel indem die Zulassung eines Bauproduktes mit einem Nachweis zur stofflichen Verwertbarkeit verknüpft wird.

- Zulassung von Bauprodukten möglichst nur in Verbindung mit einem Nachweis stofflicher Verwertbarkeit

Die Erfahrung aus einer Vielzahl von Projekten des IFEU-Instituts zur Entsorgung von (mineralischen) Bauabfällen zeigt, dass in der Ausbildung von Bauingenieuren und Architekten der Baustoffkunde und hier der Frage der Möglichkeiten und des Einsatzes von RC-Bauprodukten kaum Beachtung geschenkt wird. Dies gilt ebenso der Frage einer Gebäudekonstruktion und der Wahl der Baustoffe, die nicht nur ästhetischen Aspekten und bspw. energetischen Erfordernissen folgt, sondern auch die Rückbaubarkeit von Gebäuden und die Verwertbarkeit der anfallenden Stoffströme beachtet.

- Die Curricula in der Ausbildung von Architekten und Bauingenieuren sollten auch Ressourceneffizienz und unter anderem hochwertige Verwertbarkeit der beim Abbruch von Gebäuden anfallenden Massenströme beinhalten.

9 Zusammenfassung der Hemmnisse und Lösungsstrategien

Ein Gebäude besteht aus einer Vielzahl unterschiedlichster Bauteile und damit auch aus einer Vielzahl von Stoffen. Eine hochwertige Verwertung zielt auf die wertgebenden Eigenschaften der jeweiligen Bauteile und Baustoffe ab, die über den Rückbau des Gebäudes zu Abfall werden. Eine hochwertige Verwertung ist dann möglich, wenn die Abfallmassen zu Stoffströmen aufbereitet werden, die in sich möglichst homogen sind und beschreibbare Eigenschaften aufweisen, die auf die Anforderungen bestimmter Anwendungsziele zugeschnitten sind. Im Idealfall lassen sich aus den Abfallmassen Bauprodukte herstellen, die in ihrer Zusammensetzung und **Eigenschaft** denen entsprechen, die konventionell auf Basis von primären Rohstoffen hergestellt werden. Sie müssen damit auch möglichst frei sein von Fremdbestandteilen oder Störstoffen und eine chemische Zusammensetzung aufweisen, die den beabsichtigten Verwertungsweg/Einsatzzweck nicht behindert.

Dies ist möglich, wenn das Gebäude in seiner Stoffvielfalt und Heterogenität nur dann abgebrochen wird und die anfallenden Massen nicht zerkleinert werden, wenn schon ab der Abbruchbaustelle auf eine Auftrennung der Stoffströme geachtet worden ist. Um eine hochwertige Verwertung der anfallenden Massen sicherstellen zu können, muss der Abbruch eines Gebäudes daher selektiv erfolgen und umfasst zunächst eine Entkernung des Gebäudes. Die Entkernung eines Gebäudes sollte möglichst so erfolgen, dass die entnommenen Bauteile als solche wiederverwendbar sind.

Durch die Entkernung wird die Basis gelegt, das Gebäude rückzubauen. Dies erfolgt üblicherweise mit Hilfe entsprechender Abbruchmaschinen und -werkzeuge und zielt auf die Bereitstellung von Haufwerken vorgebrochenen Materials für die nachfolgenden Schritte der Aufbereitung und Herstellung von RC-Baustoffen. Je nach Gebäudetyp und Konstruktionsweise ist jedoch auch ein schonender Rückbau des Gebäudes entgegen der Baurichtung möglich, der eine Weiterverwendung von einzelnen Gebäudeteilen ermöglicht. Dies ist gerade für die Gebäude möglich, die auf Basis industriell vorgefertigter (Wand)Elemente errichtet worden waren.

Mit der Konzeption des Rückbaus eines Gebäudes wird damit die entscheidende Weichenstellung vorgegeben zur Weiterverwendung von Bauteilen und ganzer Gebäudebestandteile sowie zur hochwertigen Verwertung der verbleibenden Abfallmassen.

9.1 Konzeption des Rückbaus - Erhebung der Potenziale zur Wieder-/Weiterverwendung

In allen Fällen erfolgt vor dem eigentlichen Rückbau eines Gebäudes zunächst eine Bestandsaufnahme, aus der die Konzeption des Rückbaus abgeleitet wird. Ferner erfolgt im Rahmen der Ausschreibung und Angebotsabgabe eine Begehung der Gebäude. Bei entsprechender Nutzung eines Gebäudes oder bei bestimmten Gebäudetypen kann dies verbunden sein mit einer Schadstoffbegutachtung vorab.

Wenn die Vergabe zum Gebäuderückbau über eine Funktionalausschreibung erfolgt, wird im Rahmen der Kostenschätzung durch das Abbruchunternehmen eine Abschätzung des mit dem Rückbau verbundenen Aufwandes und der für die anfallenden Stoffströme erzielbaren Vermarktungserfolge bzw. verbleibenden Entsorgungskosten vorgenommen. Die Konzeption des Rückbaus wird damit von jedem einzelnen Abbruchunternehmen in Abwägung von Aufwand und Nutzen selbst festgelegt. Werden schon in den Leistungsverzeichnissen der Ausschreibung entsprechende Vorgaben gemacht, erfolgt diese Abwägung von Aufwand und Nutzen und daraus abgeleitet die Rückbaukonzeption bereits durch den Bauherren.

In der Frage der Wiederverwendbarkeit von Bauteilen oder auch von Gebäudeelementen liegen in der Regel sowohl beim Abbruchunternehmen als auch beim Bauherren bzw. von ihm beauftragten Ingenieurbüros wenig Erfahrungen vor. Nicht jedes Gebäude birgt Bauteile, für die ein hohes Nachfragepotenzial besteht. Es bedarf demnach einer Handreichung, die diesen Personenkreisen eine erste Einschätzung der Wieder- und Weiterverwendungsmöglichkeiten für Bauteile und ganze Gebäudeelemente erlaubt. Diese Handrei-

chungen müssen klare Aussagen enthalten, welche Bauteile oder ganze Gebäudeelemente bei welchen Gebäudetypen und -altern grundsätzlich für eine Wiederverwendung/Weiterverwendung geeignet sind. Diese Empfehlung muss nicht nur die ökonomische Werthaltigkeit berücksichtigen, sondern auch die Schadstoffprobleme beachten. Gebäudeelemente oder Bauteile wurden ggf. unter Verwendung von Stoffen hergestellt oder in der Nutzungszeit behandelt, die möglicherweise heute nicht mehr zugelassen und mit einem entsprechenden Risikopotenzial verbunden sind. Die Beurteilung muss zudem aus ökologischer Sicht auch immer auf einer Abwägung des verbleibenden Gebrauchsnutzens gegenüber des Aufwandes und Nutzens basieren, der mit der Neuherstellung verbunden wäre. Außerdem sollte diese Handreichung auch eine erste Beurteilung auf Mängel oder zur Qualitätsprüfung vor Ort enthalten sowie erste Hinweise darauf, wie die Teile oder Elemente schadensfrei ausgebaut und rückgewonnen werden können.

- Handreichung/Leitfaden für Bauherren und Abbruchunternehmen zur Erstbeurteilung von Gebäuden auf Potenziale zur Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen und ganzen Gebäudeelementen.
- Aufnahme dieser Aspekte in den Ausbildungskanon von Fachkräften in der Abbruchbranche und in der (universitären) Ausbildung von Architekten und Bauingenieuren und der Fachkräfte in den entsprechenden Büros. Angebot an regelmäßigen Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen, um den jeweils aktuellen Kenntnisstand zu vermitteln.

Wenn diese Erstbeurteilung ergibt, dass Bestandteile der/des Gebäude(s) Potenziale zur Wieder- und Weiterverwendung haben, kann eine entsprechende Ausschreibung zur Entnahme der Bauteile erfolgen.

9.1.1 Gewinnung und Vermarktung von Bauteilen

Die grundsätzlich als wieder- und weiterverwendbar identifizierten Bauteile müssen auch auf eine entsprechende Nachfrage treffen. Etablierte Bauteilbörsen oder historische Baustoffhändler kennen die nachgefragten Bauteile; gleichzeitig wird das Angebot gern durch besondere Bauteile (Designerstücke, Formteile, Unikate etc.) erweitert. Nach den Auswertungen und Recherchen ist die Vermarktung regional nur leicht unterschiedlich gewichtet. Zu den gängigsten Bauteilen zählen allorts Fenster, Zimmertüren und Badobjekte.

Die praktischen Erfahrungen aus verschiedenen Projekten und des Netzwerkes „bauteilnetz Deutschland“ haben gezeigt, dass es technisch und logistisch durchaus möglich ist, Bauteile vor einem Abbruch auszubauen. Die Chance, ein Bauteil schadensfrei ausbauen zu können, hängt besonders von der Einbaumethode/ Gebäudetypologie ab. Wenn der Ausbau sehr zeitaufwändig ist, rechnet sich das Bauteil unter Umständen nicht mehr.

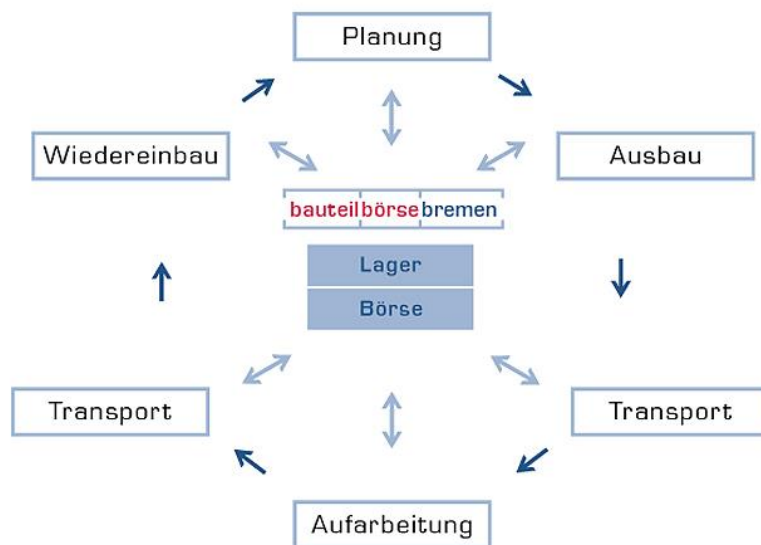
Bei der Besichtigung der Bauteile im noch eingebauten Zustand oder bei der direkten Annahme wird eine Sichtprüfung zur Feststellung von Beschädigungen vorgenommen. Informationen, die der Eigentümer zur Historie des Bauteils geben kann, sind dabei besonders wichtig.

Bei beweglichen Bauteilen, z.B. bei Fenstern, wird auch die Funktionstüchtigkeit überprüft. Besteht ein Verdacht, dass Schadstoffe oder Holzschutzmittel verwendet wurden, sind gesetzliche Anforderungen zu erfüllen. In diesen Fällen ist eine Beprobung und Untersuchung der Probe notwendig. Die damit verbundenen Kosten werden vor dem Ausbau in Relation zum Verkaufserlös gesetzt.

Das Säubern und Aufarbeiten findet überwiegend in den Annahmestellen für Bauteile statt, da meist auf den Baustellen dafür keine Zeit und wenig Raum zur Verfügung stehen.

Der bundesweit vernetzte und regional genutzte Bauteilkatalog des „bauteilnetz Deutschland“ ist ein virtueller „Marktplatz“, auf dem der Interessent erfährt, wo was angeboten wird. Nach den Erfahrungen der Bauteilbörsen werden über das Internet nur selten Bauteile und Elemente tatsächlich gekauft. Die Käufer (Bauherren oder Fachleute) wollen die Bauteile direkt sichten, messen und sich von der Qualität überzeugen, bevor sie die Materialien transportieren/kaufen. Für die Vermarktung ist eine fachliche Beratung zum Wiedereinbau von Vorteil.

Abbildung 46: Aufgaben einer Bauteilbörse



[Endbericht Bauteilbörse Bremen, 2004]

Die Annahmestellen für Bauteile, hier die Bauteilbörsen, bieten den kompletten Service an. Durch die regionale Vernetzung mit Transport-, Handwerks- und Bauunternehmen, aber auch Planern und Architekten können Dienstleistungen rund um die Bauteile-Wiederverwendung vermittelt werden. Die vernetzten Betriebe haben einschlägige Erfahrungen mit dem Ausbau und dem Wiedereinbau von gebrauchten Bauteilen. Durch den Service wird die Vermarktungschance und durch die Beteiligung von Baufachleuten die Akzeptanz für den Wiedereinbau von gebrauchten Bauteilen deutlich erhöht.

Eine Bauteilbörse hat die Kernaufgabe, Bauteile anzunehmen und zu verkaufen. Hierfür müssen verlässliche Öffnungszeiten, aber auch Fachpersonal zur Verfügung stehen.

Für die Vermarktung ergeben sich Anforderungen an die Bauteile, die schon vor dem Ausbau beachtet werden müssen:

- Die Bauteile sollten möglichst frei von Gebrauchspuren und Beschädigungen sein.
- Die Bauteile sollten mit wenig Aufwand zu reinigen sein.
- Bauteile der Gebäudehülle sollten den aktuellen energetischen Standards entsprechen.
- Die Nachfrage für die (Massen) Bauteile sollte gegeben sein.
- Bauteile sollten nicht zu sperrig und gut transportierbar sein.
- Die Bauteile sollten gut gelagert und im Lager gut bewegt (aus dem Regal ziehen oder heben ohne große Hilfsmittel) werden können.

Neben einer breiten Palette von Bauteilen, die in den bundesweit verteilten Bauteillagern (bauteilnetz

Deutschland) verkauft werden, können allgemein gültig einige besser zu vermarktende Bauteilgruppen herausgegriffen werden:

- Außentüren und Fenster,
- Zimmertüren,
- Treppen und Holzfußböden,
- Dachziegel und Dachsteine,
- Heizkörper und Thermostate,
- Sanitärobjekte.

Technische Geräte werden nicht komplett und aufbereitet zum Wiedereinbau angeboten, sondern nur als Ersatzteillager verkauft (deklariert mit einem Schild „defekt“), da hier der Aufwand für die Prüfung und das Risiko für die Gewährleistung zu groß wären. Ausnahmen sind neuwertige, funktionstüchtige Geräte, die von Fachbetrieben demontiert und direkt an Fachbetriebe wieder verkauft werden.

Die Einführung von Qualitätskriterien und damit möglichen Qualitätskennzeichnungen (z.B. durch Aufkleber) für gebrauchte Bauteile wäre nicht nur eine gute Orientierung für den Endverbraucher. Diese Festlegungen würden auch die Auswahl auf der Abbruchbaustelle erleichtern und gezielt das Haftungsrisiko für den Verkäufer/ Bauteilbörse herabsenken.

In den Bauteilbörsen liegen allgemeine Geschäftsbedingungen aus, die sich am Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte, dem Produkthaftungsgesetz - (ProdHaftG) orientieren.

Die zivilrechtliche Haftung für das Inverkehrbringen mangelhafter Produkte ist im Wesentlichen über das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB) geregelt.⁶¹

Die Wiederverwendung von Bauteilen kann sich nur durchsetzen, wenn das Bewusstsein der betreffenden Akteure, einschl. der Verbraucher, und damit eine Nachfrage vorhanden ist. Mittels einer durch die Kommune veranlassten Marktanalyse [Dechantsreiter et. al., Vorstudie zur bauteilbörse bremen, 2000] kann der Bedarf ermittelt werden. Ist der Bedarf grundsätzlich gegeben, ist es wichtig, Bauteilbörsen und Gebrauchtbauteilmärkte mittels Anschubförderung zu etablieren und durch flankierende Maßnahmen seitens der Kommune zu unterstützen. Beispiele dafür sind:

- Aufnahme der Bauteilannahme- und Verkaufsstellen in den Abfallkalender der Kommune
- Entsprechende Hinweise auf kommunalen Seiten (Internet, Telefonbuch, Beilagen in Gebührenbescheiden etc.)

Für die direkte Wiederverwendung von Bauteilen wirkt sich die knapp bemessene Rückbauzeit von Gebäuden negativ aus. Um die den Zeitbedarf für den Rückbau von Bauteilen im jetzigen Gebäudebestand zu verringern wären folgende Maßnahmen hilfreich:

- Bei nicht genehmigungspflichtigen Sanierungs- und Umbauvorhaben mit Förderung durch die öffentliche Hand (z.B. Gebäudesanierungsprogramme der KfW) sollte ein Nachweis über den Verbleib z.B. ausgetauschter Fenster, Dacheindeckungen etc. erfolgen.
- Die Einrichtung einer z.B. virtuellen Informationsplattform wäre für die Vorplanung bei der Errichtung oder Sanierung von Gebäuden von Nutzen. Für die Interessenten sollte es möglich sein, sich

⁶¹ Bundesarbeitsgemeinschaft Arbeit e.V. (2011): second life. Wiederverwendung gebrauchter Elektro- und Elektronikgeräte, im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 205 74 251). Berlin.

kompakt einen allgemeinen Überblick zu gesetzlichen Anforderungen, regionalen Bestimmungen und zur Abfallvermeidung zu verschaffen sowie über besondere regionale Rahmenbedingungen (Bodenverhältnisse, Historie gerade bei Gewerbeanlagen, Gebäudetypologie etc.) zu informieren.

Handlungsempfehlung

- Zentrale Zusammenführung und Pflege von notwendigen Informationen für den Rückbau von Gebäuden sowie Informationen für Sanierungs- und Umbauvorhaben auf einer Internetplattform.
- Weiterbildungsangebote der am Bau Beteiligten über Handwerks-, Ingenieur- und Architektenkammern sollten in den Weiterbildungskatalog mit aufgenommen und entsprechend anerkannt werden.
- Eine Beratung zur Wiederverwendung von Bauteilen und dem Einsatz von Recyclingmaterialien bei Neubau oder Sanierung sollte über die Kommune angeboten werden.
- Frühzeitige Beteiligung der Bauteilbörsen bei Bautätigkeiten in der Region durch kommunale Vorschriften.
- Qualifizierung von Fachkräften, die gut erhaltene Bauteile ausbauen können, und Anerkennung der Qualifizierung als berufliche Weiterbildung.
- Entwicklung einer Schnellanalyse vor Ort (Probenkoffer), um bei der Erstbegehung auf der Baustelle im Verdachtsfall Proben an Holzbauteilen durchzuführen. Für die Entwicklung des Probenkoffers besteht Forschungsbedarf.

Damit es möglich wird zukünftig Gebäude zu demontieren und die Gebäudeteile einer hochwertigen Verwendung zuzuführen, muss ein Umdenken schon im Entwurfs- und Planungsprozess einsetzen. Kreislaufwirtschaft im Bauwesen wird gestärkt, wenn Wissen vermittelt und dokumentiert wird. Dies ist zu fördern durch:

- Frei zugängliche Bauteildatensammlungen wie die Ökobau.dat, die Lebenszyklusbewertungen beinhaltet und um die energetische Bewertung von Bauteilen (Energiekennzahlen, Transmissionswärmeverluste) in Hinblick auf die Wiederverwendung zu erleichtern,
- Baubeschreibungen (bei Neubau), die eine ausführliche Liste der verwendeten Bauteile und Baustoffe enthalten: Materialzusammensetzung, Inhaltstoffe und Bilanzierung (Ökobau.dat.)
- Einführung von Gebäudepässen, die die Herstellung, aber auch weitere bauliche Veränderungen in und am Gebäude dokumentieren und Daten der Baubeschreibung enthalten.

9.1.2 Gewinnung und Vermarktung von konstruktiven Bauelementen

Der Einsatz, der als wieder- und weiterverwendbar eingestuften konstruktiven Bauelemente hängt sehr von der Akzeptanz der Akteure ab. Zudem muss eine Nachfrage bestehen, damit sich ein Markt für diese Bauteile etablieren kann. Für eine nutzeroptimierte Vermarktung gebrauchter Bauteile müssen deren Eigenschaften für die Vermarktung klar definiert sein.

Wenn konstruktive Aspekte nicht dagegen sprechen, ist generell festzuhalten, dass es unter Anwendung geeigneter Rückbautechniken und -schritte möglich ist, konstruktive Bauteile auf den Abbruch-/Rückbaubaustellen im Hinblick auf eine Wieder- bzw. Weiterverwendung zerstörungsarm oder -frei auszubauen und zu separieren. Für die Qualität der Bauteile ist vorteilhaft, wenn die Verbindungen leicht lösbar oder die Elemente aus dem Konstruktionsverbund schadlos herausnehmbar sind. Verfügt die Abbruch- bzw. Rückbaufirma/-team über entsprechendes Knowhow und v.a. Verständnis für eine Sekundärnutzung in Gänze, dann sind gute Voraussetzungen für eine Weitervermarktung gegeben.

Während für gebrauchte, schadstofffreie konstruktive Holz- und Stahlbauteile ein Markt existiert und mitt-

lerweile z.T. jahrelang bewährte Organisationsstrukturen (Erfassung, Handel/Weitergabe) greifen, stellt sich die Situation für Stahlbetonfertigteile schwieriger dar.

Für die Erfassung und Weitergabe sowie ggf. Aufarbeitung von konstruktiven **Holz- und Stahlbauteilen** haben sich in den vergangenen Jahren zahlreiche Baustoffhändler wie auch Bauteilbörsen spezialisiert. I.d.R. netzwerkartig aufgebaut sowie durch organisierte Kontakte zu anderen Anbietern verknüpft, können diese recht flexibel auf Kundenwünsche eingehen, fachlich beraten und ihre Suche nach Bauteilen dahingehend anpassen und auch entsprechend Lagerflächen für diese Bauteile vorhalten und differenzierte Sortimente, z.T. katalogisiert, anbieten. Insbesondere bei Holzbauteilen übernehmen zumeist gewerblich agierenden Firmen, soweit überhaupt notwendig, zusätzlich das Säubern und Aufarbeiten. Analog zu den o.a. organisierten Akteuren separieren eine Vielzahl von Abbruchunternehmen die Bauteile für ihren Eigenbedarf für eine spätere Wiederverwendung, sei es auch nur für untergeordnete Zwecke.

Gelagert und vermarktet werden nicht nur konstruktive Einzelbauteile, sondern auch Gebäudeteile (z.B. Fachwerkkonstruktionen, Dachbinder aus Holz, Stahlträger). Der Markt hat sich sogar dahingehend entwickelt, dass komplette, demontierbare Stahlhallen/-konstruktionen (Gewerbebauten, landwirtschaftliche Bauten, Produktions- und Lagerhallen etc.) auf entsprechenden Handelsportalen/Internetplattformen von gewerblichen Anbietern wie auch von Privat angeboten werden.

Als Hemmnisse für konstruktive Holzbauteile in Bezug auf erneute Verwendungsoptionen stellen sich insbesondere die Unsicherheiten bei der Einschätzung zum Gefährdungspotenzial durch Holzschutzmittel und Oberflächenbehandlungen und (Rest)Kontaminationen dar. Zudem ist der daraus resultierende Analyseaufwand, d.h. der Kosten- und Zeitaufwand für die Probenahme und Bewertung, zu berücksichtigen.

Bezüglich der konstruktiven Holzbauteile ist an dieser Stelle noch die Frage zu klären, ob die in Holztafelbauweise errichteten Bauten insbesondere ab den 1970er Jahren, wie bspw. Einfamilien- oder Doppelhäuser, ebenso zerstörungswarm rückgebaut werden können. Hierbei gilt es zu hinterfragen, ob derzeit ausgeführte Konstruktionen recyclinggerecht ausgeführt werden, d.h. montage- und demontagegerechte Verbindungstechniken favorisiert werden. Es ist in diesem Zusammenhang zu prüfen, ob bauteilbezogene Optimierungsempfehlungen bzw. -hinweise für Einzelbauteile (z.B. Deckentafeln, Holzständerwände) mit Blick auf eine zukünftige Wiederverwendung abzuleiten sind.

Weiteren Untersuchungsbedarf bezüglich Verwertbarkeit gibt es, obwohl z.T. bereits praktiziert, bei einigen industriell vorgefertigten/zusammengesetzten Konstruktionsvollhölzern (Brettschichtholz, Balkenschichtholz).

Die selektive Rückgewinnung konstruktiver Stahlbauteile mit Blick auf eine erneute Verwendung wird in vielen Fällen durch die gute Erlössituation für Stahl /Stahlschrott und dem direkten Verwertungsweg zum Aufbereiter/Metallhandel verhindert. D.h. finanzielle Anreize für die Wiederverwendung fehlen.

Hier kann eine gezieltere Sensibilisierung der Akteure zu Wieder- und Weiterverwendungsoptionen/Wertschätzung der Qualitäten von Stahlbauteilen den Blick für eine „Sekundärnutzung“ schärfen.

Bezogen auf die Nachnutzungsoptionen von **Stahlbetonbauteilen** liegen bei den Akteuren eine „verschobene“ Wahrnehmung der Potenziale sowie vermeintlicher Hemmnisse vor. Vorurteile, Imagefragen und Unwissenheit/Kommunikationsprobleme hemmen einerseits das Verständnis für Wieder- bzw. Weiterverwendungsmöglichkeiten. Andererseits hat sich die jahrelange Praxis, die aus dem Hochbau anfallenden Betonbauteile zu brechen und als Gesteinskörnungen primär für den sekundären Einsatz im Tiefbau zu verwenden, zunehmend gefestigt. Zudem sprechen auch fehlende Anreize bei der Fördermittelbereitstellung bspw. im Programm „Stadtumbau Ost“ den Entscheidungen zum krangeführten Rückbau und einer hochwertigen Nachnutzung von Betonelementen in Gänze entgegen.

Somit herrschen derzeit die nicht bauteilorientierten Verwertungswege vor. Die eigentlich hohen Qualitätsvorteile des Baumaterials Beton werden, wenn schon gebrochen, durch das „Downcycling“ nicht in dem Maße ausgenutzt, wie es in einem „Upcycling“ (Herstellung von RC-Beton) möglich wäre.

Daher ist in Bezug auf das Produktrecycling notwendig, alle relevanten Akteure dahingehend zu sensibilisieren, dass sie auch die Potenziale der Betonbauteile in Gänze erkennen und wertschätzen. Hierfür bedarf es geeigneter Handlungsschritte und Lösungsansätze, so dass zumindest ein Teil der anfallenden Betonelemente der erneuten Verwendung in Gänze zugeführt werden.

Praxisbeispiele haben erfolgreich gezeigt, dass Betonbauteile aus dem Gebäuderückbau eine Zweitverwendung bspw. im Gebäudeneubau (EFH, Vereinsgebäude, Freiraumgestaltung etc.) finden können. Die hier gemachten Erfahrungen, gepaart mit über Jahre hinweg durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen, müssen besser kommuniziert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Erste Aktionen/Reaktionen haben stattgefunden. Sei es, dass z.B. ein Zweifamilienhaus in Mühlhausen (Thüringen), errichtet fast ausschließlich aus gebrauchten Stahlbetonfertigteilen, eine öffentlichkeitswirksame Anerkennung beim Thüringischen „Architekturpreis 2009“ erhielt - (noch) ein Einzelfall. Darüber hinaus ist das Interesse der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu diesem Thema durch die Unterstützung von Forschungsprojekten als sehr positiv zu bewerten.

Zudem hat der Recyclinggedanke sowie entsprechende Wiederverwendungsaspekte und die spätere Umnutzbarkeit beim Bauen mit Betonfertigteilen mittlerweile Einzug in Empfehlungen für den Gebäudeneubau in Merkblättern gefunden [FDB, 2013].

Bei der Betrachtung der Vermarktungschancen und einer mengen-/zahlenmäßigen Praxisrelevanz für eine Wieder-/bzw. Weiterverwendung von Stahlbetonbauteilen spielt die Problematik der Logistik und Lagerung eine entscheidende Rolle, da diese Bauteile im Regelfall ein hohes Eigengewicht wie auch größere Bauteilabmaße besitzen.

Wenn die Entscheidung gefällt wird, zumindest einen Teil der anfallenden Betonelemente in Gänze zu erhalten und zu einem späteren Zeitpunkt als Konstruktionselemente für eine Nachnutzung zu separieren, so sind entsprechende TUL-Prozesse vorzubereiten.

In diesem Zusammenhang ist, neben der Unkenntnis zu Wieder-/Weiterverwendungsmöglichkeiten, als Hemmnis die Tatsache zu werten, dass nicht gesagt werden kann, wann und wie viele Betonelemente anfallen. Hier existiert ein generelles Problem der Bauteilerfassung und gezielten -weitergabe.

Die Praxis ist aber auch, dass Rückbauvorhaben nicht gleichzeitig mit einem Vorhaben stattfindet, wo geeignete Betonelemente Verwendung finden könnten. Daher sind eine (vorübergehende) Zwischenlagerung, ein erneuter Bauteilumschlag, -transport und zusätzlicher Lagerungsaufwand unabdingbar. In diesem Fall muss mindestens ein Akteur in „Vorleistung“ gehen, d.h. durch geeignete Technik und Vorhaltung von Lagerflächen. D.h., er geht ein gewisses Risiko ein.

Berücksichtigt man alle Einflussfaktoren, so ist festzuhalten, dass kein funktionierendes Netzwerk unter Berücksichtigung der „Handling“-Komplexität aus bauteilbezogenen Parametern (Größe, Gewicht, konstruktive Besonderheiten etc.) sowie der notwendigen TUL-Prozesse (Transport, Umschlag, Lagerung) existiert.

Praxisbeispiele haben als weiteres Hemmnis aufgezeigt, dass im Zuge der Genehmigungsplanung für ein Bauvorhaben unter Verwendung geeigneter Betonelemente aus dem Gebäuderückbau der Aufwand zur Genehmigung des Wiedereinsatzes als hoch anzusehen ist. In der Regel erfolgt eine Zustimmung im Einzelfall. Außerdem herrscht keine Einigkeit über Haftungs-/ Gewährleistungsfragen.

Um die Risiken zu minimieren, wird daher seitens der Verfasser empfohlen, sich in einem ersten Schritt bei der Vermarktung auf ein bestimmtes Bauteilsortiment zu konzentrieren. Explizit heißt dies auf Vollbetondeckenplatten und -innenwände sowie Außenwände, da diese in ihrer Gesamtzahl in bspw. industriell errichteten Montagebauten Ostdeutschlands am häufigsten vorkommen und der Nachweis erbracht wurde, dass diese weitestgehend zerstörungsarm bzw. -frei ausgebaut werden können. Im Fortgang könnten weitere Betonbauteilsortimente in Betracht kommen.

Diese Vorgehensweise zeigt sich in der Praxis auch als realistisch. Seit Jahren werden, wenn auch in kleinem Umfang, insbesondere Deckenplatten ab Baustelle direkt an Interessenten aus den Niederlanden weitergegeben. Hier hat sich ein Absatzmarkt und Logistikkette entwickelt. In realisierten Wieder-/ Weiterverwendungsvorhaben wurden überwiegend Betondeckenplatten sowie -außen- und -innenwände verbaut.

9.2 Konzeption des Rückbaus – Erhebung der Potenziale zur Verwertung

Sind die Möglichkeiten der selektiven Entnahme von Bauteilen und konstruktiven Bauelementen geprüft und möglicherweise auch umgesetzt, verbleibt ein Baukörper, der zum Rückbau ansteht mit dem Ziel, einen möglichst hohen Anteil der anfallenden Massen an Bauabfällen einer möglichst hochwertigen Verwertung zuzuführen.

Bei einem konventionellen Gebäude mit überwiegend klassischen mineralischen Baustoffen bedeutet dies, dass man diese möglichst homogen in ihrer Zusammensetzung und frei von Fremdstoffen in die Bauschuttaufbereitung geben sollte. Zu diesem Zweck wird zunächst das Gebäude entkernt und die Elemente herausgenommen, die bspw. als schadstoffbelastet identifiziert wurden. Idealerweise werden darüber hinaus alle Bauteile des Innenausbaus vor dem Abbruch eines Gebäudes entfernt, um Holz, Kunststoffe etc. verlässlich aus dem Massenstrom mineralischer Bauabfälle zu trennen. Verbleiben hier relevante Reste, kann dieser Massenstrom nicht zu hochwertigen RC-Bauprodukten verarbeitet werden. Optisch auffällige Fremdstoffanteile behindern unabhängig davon die Vermarktung, da sich hieran die Akzeptanz auf Seiten der Bauherren festmacht.

Der mit dem selektiven Rückbau des Gebäudes verbundene Aufwand lohnt sich für das Abbruchunternehmen dann, wenn das mineralische Abbruchmaterial einem Bauschuttrecycler übergeben wird, um die teure Alternative einer Ablagerung auf Deponien zu umgehen. Bei dieser Entsorgungssituation kann der Bauschuttaufbereiter durch ausdifferenzierte Annahmepreise die Sortenreinheit des Inputmaterials durch niedrigere Preise honorieren. Eine Entsorgung von Hochbauschutt im Rahmen von Verfüllmaßnahmen oder Maßnahmen zur Rekultivierung muss als Option ausgeschlossen sein.

Hochbauschutt bleibt dann dem Wirtschaftskreislauf als Ressource erhalten, wenn einfache Entsorgungsoptionen im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen (Verfüllbetriebe) ausgeschlossen sind

Ist dies gewährleistet, kann ein Bauschuttrecycler seine Annahmepreise an den Deponiegebühren orientieren und damit Erlöse erzielen, die RC-Bauprodukte wirtschaftlich konkurrenzfähig machen. Ein wichtiger Deckungsbeitrag kann so auch über die Annahmepreise erzielt werden.

Ein erheblicher Anteil des Hochbauschutts wird nicht über stationäre sondern mobile Anlagen aufbereitet. Diese werden besonders bei größeren Baustellen vor Ort zur Aufbereitung der anfallenden Massen eingesetzt. Damit lassen sich nicht nur Transporte zwischen der Baustelle und einer Aufbereitungsanlage einsparen. Die Aufbereitung vor Ort eröffnet auch die Möglichkeit, diese Baumassen auf dem Grundstück selbst einzusetzen. Oft steht hier die Vermeidung an Entsorgungskosten im Vordergrund. Die aufbereiteten Baumassen werden zu einfachen Anwendungszwecken eingesetzt, völlig unabhängig von ihrem bauphysikalischen Potenzial. Die Geländemodellierung oder Hinterfüllung von Arbeitsräumen bspw. mit aufbereitetem Altbeton mag in diesen Fällen als Abfallvermeidungsmaßnahme gelten. Aus Sicht der Bewirtschaftung von Ressourcen ist diese Praxis jedoch nicht zielführend. Hinzu kommt, dass in der Regel weder die Anlagen noch die erzeugten Massen einer Güteüberwachung unterliegen.

- Für mobile Anlagen zur Aufbereitung von Hochbauschutt müssen die gleichen Auflagen in der Genehmigung gelten, wie für stationäre Anlagen. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass auch diese Betriebe einem Qualitätsmanagement unterliegen müssen, das aus einem Zusammenspiel aus Eigen- und Fremdüberwachung des Betriebes und der Produkte besteht.
- Für den gesamten Hochbauschutt, der nicht zur Ablagerung auf Deponien vorgesehen ist, sollte ei-

ne Notwendigkeit zur Behandlung in Anlagen vorgegeben sein, die einer derartigen Güteüberwachung unterliegen.

Sind diese beiden Randbedingungen gegeben, wird die Selektivität im Rückbau von Gebäuden deutlich gestützt. Der damit verbundene finanzielle Mehraufwand ist durch die günstigeren Abgabepreise für sortenreines Material ohne relevante Anteile an Stör- und Fremdstoffen gerechtfertigt. Bauschuttzubereitungsanlagen sollten nach der Qualität des Inputmaterials, d.h. nach seiner Verwertbarkeit/Homogenität gestaffelte Annahmepreise ausweisen und damit diese Praxis stützen.

- Die Abgabe von heterogenen Massenströmen mit hohen Fremdstoffanteilen an Bauschuttrecyclinganlagen muss mit hohen Kosten verbunden sein.

Dies ist dann möglich, wenn die Entsorgungswege des auf den Abbruchbaustellen anfallenden Materials nachvollzogen werden und somit ihre Wiederverwertung über Recyclinganlagen sichergestellt werden kann. Dies kann über die Prüfung der Lieferscheine erfolgen, die für den Transport ausgestellt werden und auf denen die Abnahmestelle die Übernahme der Bauschuttmassen bestätigt. Diese Kontrolle sollte durch die Bauherren erfolgen, die rechtlich hierfür in der Verantwortung stehen.

- Prüfung der Lieferscheine, um den tatsächlichen Entsorgungsweg der beim Abbruch anfallenden Bauschuttmassen nachzuvollziehen.

Ein besonderes Augenmerk liegt dann beim Rückbau in dem vorlaufenden Entkernen der Gebäude und Ausbaus der Bestandteile, die meist nicht mineralisch sind und sich im weiteren Aufbereitungsprozess schlecht abscheiden lassen oder die Verwertbarkeit/Vermarktbarkeit der Bauschuttmassen stark beeinflussen. Dies sind mineralische Komponenten wie insbesondere Baustoffe auf Gips-Basis oder organische Komponenten wie insbesondere Baumaterialien aus Holz oder Kunststoffen bzw. entsprechenden Materialverbunden. Diese Materialien werden ab Baustelle für gesonderte Entsorgungswege bereitgestellt, entweder nach einzelnen Sorten getrennt oder als Gemische für entsprechende Bauabfallsortieranlagen.

Im Hochbau werden vermehrt Baustoffe eingesetzt, die nicht mehr rein mineralisch aufgebaut sind, sondern aus Materialverbunden bestehen, die sich beim Rückbau des Gebäudes (aber auch in der nachfolgenden Bauschuttzubereitung) nur noch schwer auftrennen lassen. Dies gilt insbesondere für Mauersteine, die mit (organischen) Dämmmaterialien ausgefüllt sind. Auf diese Materialien ist die derzeitige Strategie im Gebäuderückbau und technische Ausgestaltung der Bauschuttzubereitung noch nicht ausgerichtet. Es ist fraglich, ob dies in Zukunft möglich sein wird.

- Nicht für alle aktuellen Bauprodukte ist sichergestellt, dass diese in Zukunft bei Abbruch und Rückbau von Gebäuden die Recyclingfähigkeit der Hochbauschuttmassen nicht negativ beeinflussen/verhindern. Dies gilt vor allem für die Baustoffe, die aus einem Materialverbund von mineralischen und organischen Komponenten bestehen. Im Rahmen der Produktverantwortung sind Hersteller in die Pflicht zu nehmen, entsprechende Verwertungswege aufzubauen bzw. Verwertungsquoten einzuhalten. Im Zweifel sind auch zu entsprechenden Konsequenzen für das Produktdesign zu prüfen.

Wird diese aufgezeigte Konzeption des Rückbaus von Gebäuden Standard und damit eine hohe Selektivität, so wird dadurch auch die Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen oder konstruktiven Gebäudeelementen gestützt. Die Entkernung des Gebäudes so durchzuführen, dass die entsprechenden Bauteile zerstörungsfrei gewonnen werden, ist dann nur noch ein vergleichsweise kleiner Mehraufwand.

9.2.1 Verwertung der mineralischen Bau- und Abbruchabfälle

Allgemeine Vorbemerkungen

Mineralische Bauabfälle bilden den weitaus größten Anteil von allen in Deutschland anfallenden Abfällen. Ihre Rückführung und Verwertung sollte daher aus mehreren Gründen ein vorrangiges Ziel einer erfolgreichen Kreislaufwirtschaft sein:

- Die Rückführung mineralischer Abbruchabfälle in gleich-/hochwertige Verwertungsformen birgt hohe Einsparpotenziale: Die Ausbeutung der gegenwärtig verbrauchten mineralischen Primärbau- stoffe könnte um 10 bis 15 Massen% reduziert werden. Hierdurch wird der vorausschauenden Über- legung Rechnung getragen, dass die irdischen Rohstoffe endlich sind und auch späteren Generatio- nen zur Verfügung stehen müssen.
- Der Verzicht auf eine Rückführung in Wirtschafts-/Materialkreisläufe bedeutet, dass die anfallen- den mineralischen Bauabfälle auf Deponien endgelagert werden müssen. Deponieraum ist im dicht besiedelten Deutschland ein knappes Gut, welches nur dann verbraucht werden sollte, wenn dies unvermeidbar ist. Im Falle der mineralischen Bauabfälle trifft dies nur in Ausnahmefällen zu.

Diese zwei Kernthesen des Baustoffrecyclings dürfen als allgemein akzeptiert und seit mehreren Jahrzehn- ten auch als politische Handlungsleitlinien anerkannt gelten. Wenn zu diesen Thesen ein allgemeiner ge- sellschaftlicher Konsens besteht, stellt sich die Frage, warum es bzgl. der Umsetzung in der täglichen Pra- xis immer wieder zu wenig befriedigenden Lösungen bis hin zur völligen Ignorierung kommt.

Die Forderung nach einer Schonung von irdischen Ressourcen ist anscheinend immer noch eine mehr idea- listische, ökologisch orientierte Sichtweise, die nicht nur beim Baustoffrecycling, sondern auf vielen ande- ren ähnlichen Gebieten auch in Konkurrenz zu einer rein profitorientierten Vorgehensweise tritt. Oder anders formuliert: Die Forderung nach einer ökologisch sinnvollen, an einer allseits akzeptierten Kreis- laufwirtschaft orientierten Handlungsweise im Marktgeschehen wird nicht in den tatsächlich erzielbaren Marktpreisen abgebildet. Recycling lohnt sich dann nicht; zumal von einem Recyclingprodukt meist ein geringerer Preis als vom Primärprodukt erwartet wird. Vieles, was heute machbar ist, wird nicht umge- setzt, weil "es sich nicht rechnet".

Dieser grundsätzliche Gegensatz zwischen Marktwirtschaft und Ökologie zieht sich wie ein roter Faden durch Diskussionen über Hemmnisse und Handlungsempfehlungen zum Baustoffrecycling und zur Kreis- laufwirtschaft.

Dem Rückbau kommt im Hinblick auf spätere Verwertungschancen (nicht nur) mineralischer Abfälle eine Schlüsselrolle zu. Wird ein weitgehend selektiver Rückbau durchgeführt, erhöhen sich die Verwertungs- chancen für die erhaltenen Sekundärbaustoffe. Fallen Mauerwerksbestandteile jedweder Art (außer Beton) beim herkömmlichen Rückbau jedoch als Gemisch an (bis heute eher der Regelfall), sind die Verwertungs- chancen auf höherem technischem Niveau, abseits von einer Verbringung im Wegebau der Land- und Forstwirtschaft, nur gering. Händische Sortierung oder weitere aufwändige Aufbereitungsschritte verteu- ern die RC-Produkte und mindern so zusätzlich ihre Marktchancen.

Von technischen Hemmnissen in berechtigten Einzelfällen abgesehen, ist der selektive Rückbau heute technisch möglich oder sogar technisch notwendig. Er ist aber teurer und hängt daher von der Bereitschaft des Auftraggebers ab, den höheren Preis zu bezahlen. Der Abbruchunternehmer ist ein Dienstleister, der sich nach den Vorstellungen seines Auftraggebers (Bauherrn) im Rahmen gültiger Regelwerke richten muss. So verwundert es nicht, wenn man aus dem Kreis der Abbruchunternehmer hört, dass alles theoretisch machbar wäre, wenn es denn bezahlt wird. Also liegt es im Falle des Abbruchs beim Bauherrn, wie dieser den Rückbau gestalten will. Da der Rückbau in erster Linie nur die technische Umsetzung des Entledi- gungswillens eines Abfalls des Auftraggebers darstellt, wird sich der selektive Rückbau, der u.U. und regi- onal unterschiedlich höhere Kosten verursacht, schwer realisieren lassen. Dies betrifft nicht nur private

und gewerbliche Auftraggeber sondern auch die Öffentliche Hand. Weitere Hemmnisse seitens der Auftraggeber liegen in einer gewissen Skepsis, gepaart auch mit fehlendem Wissen über Einsatzmöglichkeiten von RC-Baustoffen. Hier müssen Aufklärungsarbeit und Fortbildung ansetzen bis hinein in die universitäre Ausbildung der Architekten und Ingenieure als spätere potentielle Entscheidungsträger.

Die Öffentliche Hand als bedeutender Auftraggeber öffentlicher Bauvorhaben ist hier mehr als bisher gefordert, ihrer Vorbildfunktion gerecht zu werden. Zumindest die Gleichwertigkeit von RC-Produkten (nicht der Vorrang, welcher u. U. rechtlich problematisch durchzusetzen sein könnte) muss häufiger Eingang in die öffentlichen Ausschreibungen finden.

Seit jeher stehen sich Primär- und RC-Baustoffe in einem harten Konkurrenzkampf gegenüber. Wenn sich auch aufgrund starker regionaler Unterschiede eine allgemeingültige Bewertung verbietet, bleibt dennoch festzuhalten, dass Primärbaustoffe wie Sand und Kies häufig preislich gleichwertig oder sogar günstiger als RC-Baustoffe angeboten werden. Hinzu kommt, dass nach der Ausbeutung die Primärbaustoffe nochmals als Wettbewerber zu den RC-Baustoffen auftreten, wenn mineralische Abbruchabfälle zur Verfüllung der primären Abbaustätten zu günstigen Konditionen angenommen werden; den RC-Aufbereitungsanlagen gehen so wertvolle Rohstoffe verloren. Daher wird in einigen Regionen über verstärkte Restriktionen bzgl. der Abbaugenehmigungen diskutiert. Auch eine Entnahmesteuer auf Primärbaustoffe wird ins Gespräch gebracht.

Der Einsatz von mineralischen RC-Baustoffen auf Deponien z.B. als Ausgleichsmaterialien stellt ein weiteres Problem dar. Da es sich meist um großflächige Baumaßnahmen mit entsprechend großem Materialbedarf handelt, werden regional dort, wo Deponiebetreiber als Nachfrager auftreten, die Materialströme an den Baustoffaufbereitungsanlagen vorbei gelenkt.

Das Vertrauen in die Qualität von mineralischen Bauabfällen muss verbessert werden. Zu viele Einzelregelungen für eine kontinuierliche Güteüberwachung von RC-Baustoffen existieren auf Länderebenen nebeneinander, in manchen Bundesländern wird immer noch auf mittlerweile überholte Standards zurückgegriffen. Es gibt bisher auch kein einheitliches gleichberechtigtes Güteüberwachungssystem für stationäre und mobile Aufbereitungsanlagen. Hier fehlt eine bundesweit gültige Verordnung, die allerdings den Spagat zwischen der Abfall- und der Wasserwirtschaft schaffen muss.

Die Verwertung von mineralischen Bauabfallgemischen (Mauerwerksbruch)

Die Mengen an mineralischem Bauschutt sind seit Jahren annähernd konstant und bewegen sich in einer Größenordnung zwischen 50 und 60 Mio. Tonnen/Jahr. Für das Jahr 2011 wurden beispielsweise 54,4 Mio. Tonnen ermittelt. Die Verwertungsquote lag bei annähernd 90 %. Der Betonanteil im Bauschutt beträgt dabei ungefähr 45-50 Massen%.

Demnach wurden bereits jetzt Zielmarken des Kreislaufwirtschaftsgesetzes deutlich überschritten. Die positiven Zahlen können allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Verwertungsmöglichkeiten und deren technisches Verwertungsniveau höchst unterschiedlich ausfallen: Während Betonbruch bei guter Nachfrage zu einem großen Teil im Straßenbau z.B. in Tragschichten ohne Bindemittel, in Frostschutzschichten oder als Gesteinskörnung im Konstruktionsbeton Verwendung findet (s.u.), sind die Einsatzmöglichkeiten für gemischten Bauschutt (Mauerwerksbruch) eher gering. Zwar werden in einzelnen Regelwerken gewisse Anteile an mineralischen Mauerwerksprodukten geduldet, sie stellen jedoch nicht eine technisch sinnvolle Ergänzung des Betonbruch-Hauptmaterials sondern einen tolerierbaren Störstoffanteil dar, der im Rahmen seiner Mengenbegrenzung nicht zu massiven technischen Qualitätsverlusten führt.

Somit verbleibt für den Mauerwerksbruch, auf den im Wesentlichen die restlichen 50 % des Bauschutts entfallen, nur eine Verwertung für Verfüllmaßnahmen des Erd- und Tiefbaus, Ausgleichsmaßnahmen im Deponiebau, in Lärmschutzwällen, als Mineralbettungsgemisch oder ungebundene Einsätze im Wegebau der Land- und Forstwirtschaft. Daran wird sich in naher Zukunft auch kaum etwas ändern; im Gegenteil: Restriktionen in Bezug auf verschärfte Grenzwerte in der Auslaugung von Schadstoffen lassen gerade für

ungebundene, offene Bauweisen befürchten, dass die heutigen möglichen Einsatzgebiete in der Zukunft weiter eingegrenzt werden.

Mauerwerksbruch fällt beim konventionellen Abbruch selten nach Stoffarten wie Ziegel, Kalksandstein etc. getrennt an, was dessen spätere Verwertungschancen deutlich verbessern würde. Stattdessen verbleibt nach dem Abbruch ein Mineralgemisch, in welchem die einzelnen Mauerwerksarten nebeneinander vorliegen. Einzig Gipskartonplatten und großformatige Wandelemente z.B. aus Porenbeton oder Kalksandstein werden bisweilen abgetrennt. Eine spätere händische Sortierung des Mauerwerksbruchs ist aufwändig, zeit- und kostenintensiv. Mechanische Trennverfahren z.B. über eine Dichtentrennung mit der Setzmaschine wurden erprobt, haben sich in der Praxis jedoch bisher nicht weitverbreitet durchgesetzt. Auch computer-gestützte Bandsortierungen wurden erprobt, befinden sich bisher allerdings noch im Versuchsstadium.

Die Hemmnisse für eine hochwertige Verwertung von mineralischen Mauerwerkskomponenten stellen sich zusammengefasst wie folgt dar:

- Der selektive Rückbau mit der Option der weitgehend sortenreinen Gewinnung von mineralischen Mauerwerkskomponenten (mit entsprechend besseren Verwertungs-/Vermarktungschancen) scheitert oft an Kostengesichtspunkten,
 - Bei Bauherren dominieren oft nur Kostengesichtspunkte und der Abfall-Entledigungswille. Auch wenn technisch anders möglich, kann der Abbruchunternehmer nur die Vorgaben der privaten, gewerblichen und öffentlichen Bauherren umsetzen. Günstige Preise für Primärbaustoffe verschlechtern allgemein die Vermarktungschancen für RC-Baustoffe.
 - Kostengünstige "Senken" wie Deponien oder Verfüllungen für Mineralgemische machen eine hochwertige und damit aufwändigere Verwertung bei Abbruch und Aufbereitung wirtschaftlich unrentabel.
- Bei Bauherren, Planern und öffentlichen Stellen fehlt häufig das Wissen über Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Bauabfällen.
- Uneinheitliche Güteanforderungen an Material, Einbauweisen, Umweltstandards und Analyseverfahren mindern das Vertrauen in RC-Baustoffe und erschweren die Vermarktung.

Die Verwertung von Betonbruch

Für Verwertungen von aufbereitetem Betonbruch (Abfallschlüssel 17 01 01) zu Betonsplitten zeigen sich in den üblichen Einsatzgebieten des Straßen- und Tiefbaus absolut keine Hindernisse. Eher das Gegenteil ist der Fall, denn sortenreine Betonsplitt sind aufgrund ihrer wertgebenden, bautechnischen und umweltverträglichen Eigenschaften die „Königsklasse“ unter den mineralischen Rezyklaten. Betonsplitt werden zumeist mit aufbereiteten Ziegelsplitt als RC-Gemische vermarktet. Oder anders gesagt, Betonsplitt werden benötigt, um Ziegelsplittgemische überhaupt vermarkten zu können.

Der Anfall bzw. die Erzeugung von Betonbruchmassen ist regional äußerst unterschiedlich und zudem von den verwendeten Baustoffen, der Art und Weise des Abbruchs/Rückbaus und der Getrennthaltung sowie der Aufbereitung abhängig. D.h. das verfügbare Potenzial an Betonbruch beschränkt sich derzeit bundesweit betrachtet - auf einige Regionen. Aber mit der Annäherung der seit den 1950er Jahren errichteten und zu erneuernden Bauten wird Betonbruch in weitaus höheren Mengen und deutschlandweit, d.h. flächig verteilt, anfallen.

Von einigen Ausnahmen abgesehen, werden derzeit Betonsplitt nur geringfügig zur Herstellung von Konstruktionsbeton in Hochbauten eingesetzt. Die Verwendung von Betonsplitt bspw. zur Herstellung von Magerbeton oder in hydraulisch gebundenen Schichten hingegen ist umfangreicher. In jüngster Zeit laufen zudem Aktivitäten zur Produktion von Betonsteinen.

Die **Hemmnisse** für den nur in geringem Maße verwendeten Betonsplitt zur Substitution von natürlichen

Gesteinskörnungen zur Herstellung von Konstruktionsbeton stellen sich - nach Akteursgruppen untergliedert - zurzeit wie folgt dar:

- aus Sicht der Bauherren, Bauträger, Planer und Architekten
 - keine oder mangelnde Kenntnisse u./o. Erfahrungen/Informationsdefizite zum ressourcenschonenden (RC-)Betoneinsatz (rechtliche, technische, technologische Anforderungen/Vorgaben; logistische und damit ökologische sowie wirtschaftliche Vorteile sind nicht oder nur teilweise bekannt) - Unsicherheiten,
 - RC-Baustoffe sind per se mit einem negativen Image behaftet,
 - mehrere Regelwerke sind zu beachten (Vorschriftendschunzel),
 - der hohe zeitliche Aufwand für die Zulassung von RC-Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton (Nachweis der Umweltverträglichkeit der rezyklierten Gesteinskörnungen (früher: Zuschläge) ist durch eine Zulassung im Einzelfall oder einer bauaufsichtlichen Zulassung nachzuweisen) beeinträchtigt diesen neuen Anwendungsbereich erheblich.
- aus Sicht der Betonhersteller
 - in Ausschreibungen wird i.d.R. der Einsatz von Normalbeton gefordert,
 - da der RC-Beton nicht nachgefragt wird, erfolgt kein Angebot,
 - keine oder mangelnde Kenntnisse u./o. Erfahrungen zur Herstellung von RC-Beton (welche zusätzliche Prüfungen sind erforderlich, welche Anforderungsprofile erfüllen RC-Betone),
 - verschiedene Regelwerke sind zu beachten,
 - fehlender Platz für Zuschlagstoff-Lagerboxen und zusätzliche Lagerhaltungskosten,
 - höhere Preise für RC-Gesteinskörnungen im Vergleich zu Kiesen/Splitten,
 - fehlende Liefersicherheit/Lieferkontinuität,
- aus Sicht der Zulieferers (RC-Baustoffproduzenten)
 - überwiegend wird heterogen zusammengesetzter Bauschutt angeliefert, was zu einem erhöhten/nicht vertretbaren Aufwand führt, um reinen Betonbruch aus dem Mengenstrom Bauschutt zu separieren,
 - der hohe Zeit- und Kostenaufwand für die Prüfungen (CE-Kennzeichnung und Nachweis der Umweltverträglichkeit),
 - Betonsplitt sind z.T. nicht ausreichend verfügbar bzw. werden mangels Nachfrage nicht angeboten.

Aus den obigen Ausführungen dieses Kapitels werden folgende allgemeine und RC-Beton-spezifische Lösungsansätze empfohlen:

- regulatorisch
 - Erarbeitung eines Regelwerkes, das einsatzbezogene Prüfparameter oder das Anforderungsprofil für den Einsatz von RC-Gesteinskörnungen enthält wie z.B. für die Herstellung von
 - a. Mager- und
 - b. Konstruktionsbeton,
 - Schaffung resp. Wiederherstellung von technischen Grundlagen wie Normen / Standards, RC-Beton als geregeltes Bauprodukt zu führen z. B durch die Aktualisierung/Anpassung der

DIN 4226-100 an die DIN EN 12620 (Aktualisierung der Bauregelliste des DIBT),

- Erarbeitung von standardisierten Leistungstexten zum verwertungsorientierten Abbruch/Rückbau,
- Erarbeitung eines Regelwerkes zum verwertungsorientierten Rückbau als Rahmenbedingung zum ordnungsgemäßen Abbruch und zur Gewährleistung einer separaten Erfassung der einzelnen Stofffraktionen (bspw. adäquat des Ö-Norm-Entwurfes B3151 in Österreich: erst nach Freigabe der Schadstofffreiheit, Vorlage des Rückbaukonzeptes und der vorbereitenden Rückbauarbeiten durch eine beauftragte unabhängige, fachkundige Person ist der maschinelle Abbruch der Rohbaukonstruktion nach Materialgruppen möglich [Car, 2013]),
- Einführung eines Gebäudepasses analog zum Energiepass und dem Entwurf zum Ressourcenpass als vorbereitende Hilfe für Abbruch-/Rückbaumaßnahmen, um die verbauten Materialien über den gesamten Lebenszyklus zu dokumentieren,
- Um die verschiedenen einsetzbaren Betone aus natürlichen u./o. rezyklierten Gesteinskörnungen bei der Vergabe von Bauleistungen berücksichtigen zu können, ist die Regel, produktneutral auszuschreiben; ggf. kann unter Nachhaltigkeitsprämissen der Einsatz von RC-Beton gefordert werden (In der Schweiz bspw. ist es inzwischen Stand der Technik, nachhaltig im privaten wie im öffentlichen Bereich mit RC-Beton zu bauen, ohne dass es gefordert wird),
- Eine konsensfähige, praxistaugliche, bundeseinheitliche Verordnung mit allgemein gültigen Güteanforderungen, Umweltstandards, Einbauweisen etc. vereinfacht die Verwertung/Vermarktung für mineralische Bauabfälle und schafft Vertrauen bei Bauherren und Abnehmern,
- Restriktionen bzgl. der Abbaugenehmigung von Primärbaustoffen,
- Restriktionen bzgl. Deponierung und Verfüllungsmaßnahmen mit RC-Baustoffen
- Verpflichtung der Öffentlichen Hand zur Berücksichtigung von RC-Baustoffen bei öffentlichen Ausschreibungen
- ökonomisch
 - Anschubförderung für die Anwendung von RC-Beton bei öffentlichen Ausschreibungen bspw. durch Bekanntmachung der Höhe der monetären Vorteile im Vergleich zur Verwendung von Normalbeton (bspw. kann RC-Beton um 10 €/t teurer sein als Normalbeton als Ausgleich für die Umweltschonung durch die Nichtinanspruchnahme der natürlichen Ressourcen und Flächen etc.),
 - Besteuerung primärer Rohstoffentnahmen durch monetäre Berücksichtigung der Flächeninanspruchnahme, Eingriffe in den Naturhaushalt usw.
- informativ
 - Verstärkte Öffentlichkeitsarbeit/Aufklärung zum Einsatz von RC-Baustoffen und zur Herstellung von RC-Betonen
 - Einrichtung einer Informationsplattform für die beteiligten Akteure: Abbruch- und RC-Unternehmen, Bauherren, Planer, Prüfingenieure, Vertreter von Laboren, Bauausführende, Behördenvertreter
 - Erarbeitung von akteursbezogenen Handlungshilfen zur Produktion und zum Einsatz von RC-Beton (Handlungsanleitungen)

- Generelle Integration der Thematik in Berufsschulen zur Facharbeiterausbildung von Bau-berufen, in Fach- und Hochschulen sowie Universitäten in der Lehre, Forschung und Wei-terbildung.

9.2.2 Verwertung der sonstigen Bau- und Abbruchabfälle

Wenn der selektive Rückbau der Gebäude zur Sicherung der Verwertbarkeit der mineralischen Bauabfälle zum Standard wird, bedeutet dies eine möglichst weitgehende Entkernung des Gebäudes vor dem eigentli-chen Rückbau bzw. Abbruch des Gebäudes. Die Entkernung bedeutet eine vorherige Entnahme der sonsti-gen Bauprodukte bzw. Bauabfälle. Da die Entkernung händisch oder auch über die Abbruchwerkzeuge sehr selektiv erfolgen muss, können diese Altmaterialien grundsätzlich auch nach Stofffraktionen ab Abbruch-baustelle getrennt in Container bereitgestellt werden. Diese getrennte Bereitstellung unterstützt grund-sätzlich eine möglichst hochwertige und stoffliche Verwertung.

Für Metalle und Holz erfolgt die getrennte Bereitstellung ab Baustelle bereits. Diese Materialien fallen in größerem Umfang an den Abbruchbaustellen an und sie besitzen einen deutlich positiven Marktwert (Me-talle) oder ihre getrennte Entsorgung erweist sich zumindest als kostengünstiger. Das mit dem Abbruch betraute Unternehmen sichert sich mit der getrennten Bereitstellung und Vermarktung dieser Stoffe den damit verbundenen Erlös (überlässt ihn nicht einer Sortieranlage).

Altholz wird in aller Regel in zwei Sorten bereitgestellt: behandelte Hölzer nach Kategorie IV der Altholz-verordnung und Kategorie I bis III. Beide Fraktionen werden in der Regel Altholzaufbereitern und -händlern übergeben. Während Holz der Kategorie IV zwingend thermisch behandelt werden muss (oder in entspre-chend ausgerüsteten Anlagen energetisch genutzt werden kann), kann das übrige Altholz ggf. nach einer entsprechenden Aufbereitung grundsätzlich auch stofflich genutzt werden. Im Sinne einer Kaskadennut-zung wäre möglichst eine stoffliche Verwertung anzustreben. In vielen Fällen werden die aufbereiteten Hölzer jedoch an Biomassekraftwerke und ähnliche Einrichtungen zur energetischen Nutzung vermarktet, da die Erlössituation für die Vermarktung in Richtung stoffliche Nutzung den Mehraufwand in der Aufberei-tung oft nicht rechtfertigt.

- Die Vermarktung von aufbereitetem Altholz zur stofflichen Verwertung kann durch eine Prüfung der indirekten Subventionierung der energetischen Verwertung und entsprechende Anpassung un-terstützt werden.

Alle anderen sonstigen Bauabfälle werden in der Regel als Gemisch bereitgestellt, meist als „Rest“ be-schrieben. Ein Grund dafür ist, dass die einzelnen Materialien jeweils in recht geringen Mengen anfallen. Deshalb ist eine getrennte Bereitstellung von Containern nicht wirtschaftlich. Zum anderen fehlt es auch an Zeit und vor allem Platz auf den Abbruchbaustellen, um einen Stellplatz für eine Vielzahl von Contai-nern zu ermöglichen. Die Bereitstellung als Gemisch ergibt sich aber vor allem aus dem üblichen Entsor-gungs- bzw. Verwertungsziel. Die Gemische werden in der Regel thermisch entsorgt oder zu Ersatzbrenn-stoff aufbereitet und entsprechend energetisch verwertet.

Dies ist zum einen auf sehr niedrigen Entsorgungspreisen an Müllverbrennungsanlagen sowie den ebenfalls niedrigen Preisen zur Abgabe als Sekundärbrennstoff (meist an Ersatzbrennstoffkraftwerke) zurückzufüh-ren. In beiden Fällen ist dies bedingt durch die große Nachfrage und/oder die bestehenden Kapazitäts-überhänge. Dieser Umstand lässt sich aus Sicht der Entsorgung sonstiger Bauabfälle nicht direkt beeinflus-sen. Um einen Mindestanteil für die stoffliche Verwertung sicherzustellen, bedarf es entsprechender Vor-gaben des Gesetzgebers.

Um eine stoffliche Verwertung von Altmaterialien aus dem Bau zu stützen, bedarf es der Vorgabe von Quoten für die Sortierung und stoffliche Verwertung (insbesondere für Kunststoffe und Dämmateria-lien)

Bei der Festlegung der Quoten ist zu beachten, dass es durch den Einsatz im Gebäude oft zu Verunreinigungen mit anderen Stoffen kommt, die eine stoffliche Verwertbarkeit sehr einschränken. So werden die Bauprodukte in der Regel verklebt oder mit Anstrichen versehen. Häufig sind an den Baustoffen Anhaftungen von Putz oder anderen Materialien. Eine Auftrennung nach verschiedenen Stoffarten ab Abbruchbaustelle würde daher nicht unbedingt die Verwertung dieser Materialien unterstützen, da vor allem der Grad der Verschmutzung die Verwertbarkeit bestimmt.

Gerade an kleineren Abbruchbaustellen kann daher eine gemischte Bereitstellung und Übergabe an Baumischabfallsortieranlagen durchaus sinnvoll sein. Die Sortiertiefe bei diesen Anlagen richtet sich an der jeweiligen Erlössituation (oder Quotenvorgaben, s.o.) aus, die sich aus der Nachfrage für sekundäre Rohstoffe wie bspw. einzelne Kunststoffe ableitet. Grundsätzlich ist eine große Sortiertiefe auch bei einem Gemisch technisch oder über den Einsatz mit entsprechendem Personal möglich. Bei größeren Baustellen lohnt sich tlw. auch die Bereitstellung von Monochargen (bspw. Fensterprofile).

Nicht für alle Materialien ist jedoch eine stoffliche Verwertung möglich. Zum Beispiel für Dämmmaterialien haben sich entsprechende Verwertungswege oft noch nicht etablieren können. Für einige Baustoffe ist eine stoffliche Verwertung zum derzeitigen Zeitpunkt technisch noch nicht leistbar. Um in diesen Fällen deutliche Fortschritte zu erzielen, sind die Hersteller dieser Bauprodukte verstärkt in die Pflicht zu nehmen.

Zulassung von Bauprodukten nur in Verbindung mit dem Nachweis einer stofflichen Verwertbarkeit

Eine derartige Vorgabe kann an zwei Stellen im Produktlebensweg zu Verbesserungen führen. Zum einen müssen sich die Hersteller dann um technische Verwertungslösungen bemühen und auch entsprechende Strukturen der Sammlung und Verwertung aufbauen. Wenn sich dies für die derzeit vermarkteten Produkte als problematisch erweist, sollte das Produktdesign geprüft und ggf. den Anforderungen angepasst werden. Für einige im großen Umfang vermarktete „Verbundbaustoffe“ ist eine Verwertung derzeit noch nicht absehbar. Dies wird zukünftig die Verwertung der aus dem Abbruch von Gebäuden anfallenden Massen deutlich negativ beeinflussen.

Die Erfahrungen aus einer Vielzahl von Projekten zeigen, dass die Frage der Rückbaubarkeit von Gebäuden sowie die Frage der Baustoffauswahl/Baustoffkunde im Rahmen der Ausbildung von Bauingenieuren und Architekten kaum beachtet werden. So sind die Möglichkeiten des Einsatzes von RC-Bauprodukten, sowie die unterschiedliche Verwertbarkeit von Bauprodukten oft unbekannt.

Die Curricula in der Ausbildung von Architekten und Bauingenieuren sollten auf die Frage der Ressourceneffizienz und der hochwertigen Verwertbarkeit der beim Abbruch von Gebäuden anfallenden Massenströme erweitert werden

10 Identifizierung geeigneter Instrumente und Handlungsempfehlungen

Abschließend soll nun versucht werden, die aus den Hemmnisanalysen abgeleiteten Lösungsstrategien in konkrete Handlungsempfehlungen zu fassen und hierfür auch Instrumente zu benennen. Ihre jeweilige gezielte Ausgestaltung obliegt entsprechenden Umsetzungskonzepten. Im Kapitel 10 werden die folgend aufgeführten Handlungsempfehlungen in greifbare Instrumente auf Bundes- und Länder- und Kommunalerebene überführt; unterteilt in regulatorische, informatorische und ökonomische Maßnahmen.

10.1 Planung und Konzeption des Gebäuderückbaus

Eine entscheidende Weichenstellung wird bei der Konzeption und Planung des Rückbaus eines Gebäudes getroffen. Zu diesem Zeitpunkt entscheidet sich, in welchem Umfang Bauteile oder tragende Gebäudeelemente rückgewonnen und einer Wieder- und Weiterverwendung zugeführt werden können. Konzeption und Planung des Rückbaus ist auch ausschlaggebend für das Stoffstrommanagement und damit für den Umgang mit den mineralischen und sonstigen Bauabfallmassen.

Der Rückbau oder die Sanierung eines Gebäudes wird umso differenzierter und selektiver erfolgen, je eher sich hiermit Entsorgungskosten vermeiden oder möglicherweise für Teilströme gar Erlöse erzielen lassen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass eine Entsorgung von Bauabfallmassenströmen mit hohen Anteilen an Fremd- und Störstoffen außerhalb von abfallrechtlich zugelassenen Deponien nicht möglich sein darf.

Handlungsempfehlung:

Anpassung von Verfüllgenehmigungen (Steinbrüche/Gruben im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen)

Auf dieser Basis ist gewährleistet, dass der Rückbau eines Gebäudes sehr selektiv erfolgen muss und nicht nur Holz und Metalle aus den Rückbaumassen sondern auch weitere sonstige Bauabfälle abzutrennen sind, da ein Bauschutt aufbereiteter Bauschuttmassen mit hohen Fremd- und Störstoffanteilen nur zu entsprechend hohen Kosten zur Verwertung annimmt. Kann er seine Annahmepreise an den Kosten für die Ablagerung auf Deponien orientieren, eröffnen sich Spielräume, saubere und weitgehend homogene Massenströme mit entsprechend niedrigen Annahmepreisen zu verbinden. Dies macht eine hohe Selektivität im Gebäuderückbau auch wirtschaftlich interessant.

Damit sind wirtschaftliche Anreize geschaffen, für die sich eine regulatorische Unterstützung anbietet. Der Verbleib der Materialien ab Abbruchbaustelle kann über die Lieferscheine für jedes Fahrzeug nachvollzogen werden. Auf diesen Lieferscheinen wird die Annahme der Bauschuttmassen bspw. bei einem Bauschutt aufbereiter dokumentiert. Auf dieser Basis hat der Bauherr oder das beauftragte Unternehmen die Möglichkeit, den tatsächlichen Verbleib der Bauschuttmassen mit den vertraglich vereinbarten Lösungen zu vergleichen. Eine fallweise Prüfung behördlicherseits kann dies unterstützen.

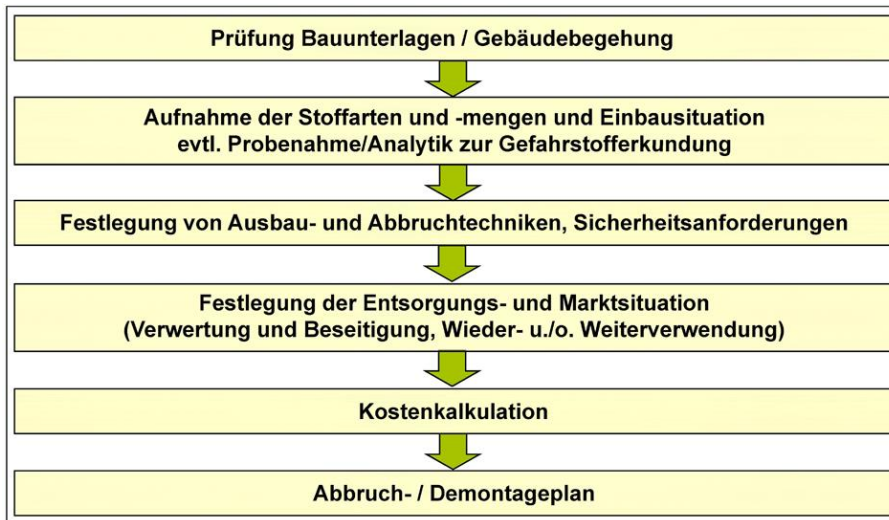
Handlungsempfehlung:

Anpassung der Landesbauordnungen durch ein Anzeige- und Genehmigungsverfahren für den Abbruch von Gebäuden und Bauwerken

Die Gebäude und Bauwerke werden im Zuge der Ausschreibung und Auftragsvergabe immer begutachtet. Im Allgemeinen werden die Abbruchleistungen zu Pauschalpreisen ausgeschrieben, d.h. auch inklusive der Entsorgung der Überschussmassen. Die an der Angebotsabgabe interessierten Unternehmen werden daher die Gebäude immer selbst in Augenschein nehmen, um die notwendigen Arbeiten und Kosten belastbar

kalkulieren zu können. Der Besitzer eines Bauwerkes hat ein Eigeninteresse daran, bei möglichen Schadstoffbelastungen die Ergebnisse einer Begutachtung den Ausschreibungsunterlagen beizufügen, um vor Nachträgen in der Abbruchphase gefeit zu sein. Im Rahmen dieser Kostenkalkulation durch das Abbruchunternehmen werden auch Entsorgungskosten sowie mögliche Erlöse berücksichtigt und damit die Potenziale der jeweiligen Gebäude und Bauwerke definiert. Die Erlöse und/oder unterschiedliche Entsorgungskosten für die einzelnen Stoffe werden den Kosten für den eigentlichen Abbruch gegenübergestellt. Je attraktiver der Nachfragemarkt, desto mehr personeller und maschineller Aufwand „rechnet sich“ für den Rückbau selbst.

Abbildung 47: Planungsphasen für Rückbauvorhaben



[Mettke]

Trotzdem kann es sinnvoll sein einen Nachweis zu fordern, dass eine fachliche Begutachtung der Gebäude durchgeführt worden ist und im Rahmen dieser Begutachtung auch geprüft wurde, ob und in welchem Umfang sich einzelne Bauteile oder gar Teile der tragenden Gebäudekonstruktion als solche rückgewinnen und vermarkten lassen. Die Bestätigung dieser Prüfung bzw. des Prüfergebnisses könnte als Bestandteil der Antragsunterlagen für die Erteilung einer Abbruchgenehmigung eingefordert werden.

Handlungsempfehlung:

Änderung der Landesbauordnungen - obligatorische Genehmigungspflicht für Abbruch

Nur bei einigen Gebäudetypen macht eine eingehende Prüfung auf die Möglichkeit der Weiterverwendung von tragenden Bauelementen Sinn. Auch eignen sich nicht alle mit dem Gebäude verbundenen Bauteile bspw. des Innenausbaus gleichermaßen für eine Entnahme und Wieder- oder Weiterverwendung. Selbst eine Erstbeurteilung durch den Abbruchunternehmer erfordert eine Fachkompetenz, die nicht aus dem üblichen Erfahrungshintergrund abgeleitet werden kann. Es ist ja nicht nur die Frage zu beantworten, wie die schonende Entnahme erfolgen müsste, sondern auch die Vermarktbarkeit zu prüfen. Es bietet sich daher an, eine entsprechende Handreichung zur Verfügung zu stellen, die Gebäudetypen mit Wieder-/Weiterverwendungspotenzial benennt und beschreibt sowie eine erste Einordnung ermöglicht, inwieweit die nicht-konstruktiven Bauteile einen „Wert“ darstellen.

Handlungsempfehlung:

Leitfaden/Handreichung für die überschlägige Prüfung auf Weiterverwendbarkeit vor dem Rückbau

10.2 Wiederverwendung von Bauteilen aus Innenausbau und von Gebäudeelementen

Wenn sich nach der ersten Prüfung für die zum Rückbau anstehenden Gebäude oder Sanierungsmaßnahmen ein Potenzial ergibt, erfolgt die Kontaktaufnahme zu den entsprechenden Einrichtungen und Händlern. Durch diese kann dann eine eingehendere Begutachtung erfolgen, die in ein Angebot für das jeweilige Abbruchunternehmen mündet. In Abwägung von zusätzlichem Zeitbedarf für die Entnahme der Bauteile, aufwendigerem Rückbau für die Bergung konstruktiver Gebäudeelemente sowie erhöhten Kosten, kann dies in die Angebotskalkulation des Abbruchunternehmens einfließen.

Dies bedeutet aber, dass in den Regionen und dabei möglichst nah an den künftigen Zentren der Bautätigkeit entsprechende Einrichtungen/Betriebe vorhanden sein müssen, die diese Bauteile und konstruktiven Bauelemente annehmen und vermarkten können. Diese Einrichtungen müssen das entsprechende Personal aufweisen, das zur eingehenderen Begutachtung der Gebäude und Angebotserstellung herangezogen werden kann. Das Personal muss zudem zu einer fachgerechten und zerstörungsfreien Entnahme der entsprechenden Bauteile und Reparatur sowie Lagerung in der Lage sein. Außerdem muss das Personal die Kunden, d.h. Bauherren fundiert beraten.

Bisher sind derartige Einrichtungen in Deutschland noch recht wenig und zudem nicht flächendeckend vorhanden. Der Aufbau derartiger Zentren mit entsprechend qualifiziertem Personal und den benötigten Lagerflächen ist mit hohen Kosten verbunden, bei gleichzeitig unsicherer Rentabilität. Es bietet sich daher an, diese Einrichtungen zumindest für die Anfangsphase mit einer Grundförderung auszustatten, die dann in eine laufende Unterstützung überführt werden kann, wenn die Betriebe auch als Ausbildungsbetriebe für Bevölkerungsgruppen zur Verfügung stehen, die ansonsten nur schwierig einen Zugang zum ersten Arbeitsmarkt und entsprechenden Berufsausbildungen haben.

Handlungsempfehlungen:

- Recherche nach geeigneten Standorten für Bauteilbörsen
- Finanzielle und institutionelle Förderung von Bauteilbörsen (Einbindung in Abfallberatung)

Diese Einrichtungen müssen nicht nur mit entsprechenden Lagern und Werkstätten ausgestattet sein. Sinnvoll ist es, eine Internetplattform zu pflegen, auf der die entsprechenden Produkte bereits zu einem frühen Zeitpunkt (idealerweise noch vor der Entnahme aus dem Gebäude) aufgenommen werden können. Einerseits ist dies sinnvoll, da es dadurch möglich wird, die Bauteile direkt zum Abnehmer zu vermitteln, andererseits werden Transportkosten eingespart und die sonst notwendige Einlagerung oder längere Lagerzeiten vermieden.

Im Falle der konstruktiven Gebäudeelemente ist bislang eine Vermarktung sehr schwierig bzw. selten in der Praxis zu finden. Am ehesten ist die Vermarktung für Stahl(hallen)konstruktionen und historisch wertvolle Gebäude und Dachstühle möglich. In allen anderen Fällen ist eine Wieder- und Weiterverwendung bislang bestenfalls im Rahmen von Forschungsprojekten erfolgt. In diesen Beispielen konnte jedoch die technische Machbarkeit gezeigt werden.

Handlungsempfehlung:

Impulsprojekte und Beratung zur Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen/-elementen

Auch im Hochbau, aber auch in den anderen potenziellen Einsatzgebieten der entnommenen Bauteile und konstruktiven Gebäudeelemente ist die öffentliche Hand ein wichtiger Bauherr. Um den Markt für gebrauchte Bauteile und Gebäudeelemente zu erschließen, kann die Nachfrage aus diesen Baumaßnahmen

einen wichtigen Impuls setzen. Die öffentliche Hand kann eine Vorbildfunktion übernehmen.

Handlungsempfehlung:

Vorbildfunktion durch Verwendung von gebrauchten Bauteilen und/oder konstruktiven Bauelementen bei öffentlichen Bauvorhaben

Ein wichtiges Moment ist es, diese Praxis auch unter privaten Bauherren bekannt und populär zu machen. Ein maßgebliches Kriterium wird aber die Frage der Wirtschaftlichkeit und damit der Kosten bleiben. Es kann daher sinnvoll sein, zumindest über einen begrenzten Zeitraum den Einsatz von gebrauchten Bauteilen und Gebäudeelementen direkt zu fördern, unter Beachtung klarer Kriterien und bspw. Mindestquoten. Es bietet sich an, die Kriterien aus den Vorgaben und Kriterienkatalogen von Institutionen wie insbesondere der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGnB) zu entlehnen. Dies setzt aber voraus, dass diese im Rahmen der Zertifizierung von Gebäuden auch den Aspekt der Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen und Gebäudeelementen berücksichtigt oder auch die Konstruktion von Gebäuden, die die spätere Entnahme dieser Elemente begünstigt.

Handlungsempfehlungen:

- Förderprogramme für private Bauherren verbessern wie zum Beispiel über BAFA oder KfW inkl. notwendiger Veränderungen der generellen staatlichen Fördermodalitäten hinsichtlich der Regelung der Fördermittelvergabe (keine Abhängigkeit Zeitpunkt des Erwerbs von gebrauchten Bauteilen und Baubeginn)
- Architekturwettbewerbe unter dem Aspekt der Lebenszyklusbetrachtung des Gebäudes (von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Nutzung und bis zur Entsorgung)

In einigen Bereichen bedarf es zudem noch der Erforschung praktikabler Wege. Dies betrifft den großen Bereich der Produkthaftung und Gewährleistung bzw. bauaufsichtlichen Zulassung, besonders im Falle konstruktiver Elemente. Die Errichtung von Fertighäusern ist sehr populär. In vielen Fällen werden diese in Holztafelbauweise errichtet. Es besteht Untersuchungsbedarf, inwieweit sich auch diese Elemente (Deckentafeln, Holzständerwände, Holztafelwände) bei Rückbau der Gebäude als solche entnehmen und dann auch wiederverwenden lassen.

Handlungsempfehlung:

Forschungsprojekte z.B. Modellvorhaben bei Neubau (einerseits der Einsatz von gebrauchten Bauteilen und andererseits die Planung demontierbarer Konstruktionen) zu den Möglichkeiten der Wieder- und Weiterverwendung im Hochbau

10.3 Hochwertige Verwertung von mineralischen Baumassen

Bislang ist die Verwertung mineralischer Bauabfälle noch nicht so aufgestellt, dass man in den meisten Fällen von einer hochwertigen Verwertung sprechen kann. Gerade die mineralischen Bauabfälle aus dem Hochbau gelangen in vielen Fällen nur in einfache Anwendungen, die nicht auf definierte Produkteigenschaften ausgerichtet sind. Eine Ausnahme stellen in manchen Regionen Gesteinskörnungen oder Gemische dar, die aus der Aufbereitung von Altbetonen hergestellt wurden.

Dies liegt nicht an fehlenden Regelwerken und Normen. Sie sind seit vielen Jahren so ausgestaltet, dass Produkte aus RC-Gesteinskörnungen sowohl als Zuschlag in der Herstellung von Beton als auch im Oberbau von Straßen und Wegen (d.h. Frostschutzschicht oder Schottertragschicht) eingesetzt werden könnten. Die

Tatsache, dass es diese Regelwerke gibt - aber auch eine Vielzahl von praktischen Erfahrungen, weist darauf hin, dass die Verwertung nicht an grundsätzlichen technischen Restriktionen scheitert, sondern vor allem an der fehlenden Akzeptanz. Hier gilt es konkret mit Maßnahmen anzusetzen.

Besonders für den Einsatz im ungebundenen Bereich, d.h. vor allem im Straßen- und Wegebau ist der Bauherr mit einer Vielzahl von Systemen der Güteüberwachung und Prüfzeugnissen konfrontiert, die im Einzelfall nur schwer auf ihre fachliche Aussagekraft und Belastbarkeit zu prüfen sind. Dies gilt übrigens nicht nur für die Baustoffe auf Basis von RC-Gesteinskörnung, sondern analog auch für diejenigen, die auf Basis von Primärrohstoffen hergestellt wurden. Alle Erfahrungen aus einer Vielzahl von Projekten zum Einsatz von RC-Bauprodukten im Straßenbau zeigen, dass auf Seiten der Bauherren wie auch der üblicherweise mit der Ausschreibung und Vergabe beauftragten Bauingenieurbüros die Kenntnislage zu RC-Bauprodukten teilweise sehr gering ist und zugleich wenig Vertrauen in die Gütesicherung besteht.

Dass man auch bei diesen Baustoffen für den Straßenbau Produkte „einkauft“, die nachgewiesene Eigenschaften erfüllen müssen, ist nicht im Bewusstsein der Akteure. Während dies für Baustahl, Fensterprofile und andere Baustoffe durchaus zutrifft (niemand macht sich hier Gedanken darüber, inwieweit diese RC-Anteile enthalten), steht bei Baustoffgemischen für den Straßen- und Wegebau immer die Zusammensetzung im Fokus. Ziel von Maßnahmen muss es sein, Vertrauen in die Güte der Produkte und der Produktion aufzubauen, das Überwachungssystem zu vereinheitlichen und bekannter zu machen und zugleich hohe Produkt- und Produktionsstandards sicherzustellen.

Handlungsempfehlungen:

- Einheitliches System der Überwachung von Produktion und Produkten - einheitliche Prüfsiegel
- Gezielte (Fach-) Veranstaltungen zum Thema Verwertung im Straßen- und Wegebau

Diese Qualifizierung und Gütesicherung auf Seiten der Baustoffproduktion muss entsprechend begleitet werden durch eine Umstellung auf Seiten der Nachfrage. Bislang gelten in den Bundesländern für die umwelttechnischen Anforderungen an die RC-Baustoffe unterschiedliche Vorgaben. Oft haben die größeren Städte zudem eigene Regelungen entwickelt. Diese Randbedingungen erschweren die Vermarktung der Bauprodukte deutlich.

In allen diesen Regelungen werden zudem Vorgaben an die umwelttechnischen Eigenschaften gemacht, die in Abhängigkeit von den spezifischen Randbedingungen an den jeweiligen Einsatzorten in Bezug auf Boden- und Grundwasserschutz formuliert werden. In der Praxis werden bei den Ausschreibungen jedoch abweichend von diesen Vorgaben weitergehende Anforderungen gestellt, die sich nicht objektiv und fachlich ableiten lassen. Insbesondere Vorgaben wie „Z0“ unterminieren ohne fachliche Begründung im Einzelfall die Verwendungsmöglichkeiten von Baustoffen auf Basis von RC-Gesteinskörnungen.

Handlungsempfehlungen:

- Einführung einheitlicher Regularien zu Haftung und Gewährleistung
- Verbindlichkeit herstellen durch Vorgabe „produktneutrale Ausschreibung“ per Erlass (Anweisung einer oberen Behörde an nachgeordnete Behörden) und per Landesgesetzgebung unter unbedingtem Bezug auf technischen Lieferbedingungen TL Sob StB 04 oder TL BuB-E StB

In vielen Regionen Deutschlands ist der Einsatz von RC-Baustoffen für den Straßenoberbau (FSS, STS) bislang unüblich. Mit wenigen Ausnahmen völlig unbekannt ist zudem, dass RC-Gesteinskörnungen auch als Zuschlag für die Herstellung von Konstruktionsbeton eingesetzt werden dürfen. In Deutschland hat sich diese Praxis bislang nur in Stuttgart sowie in Ludwigshafen/Mannheim ansatzweise etablieren können.

Um für die einzelnen Regionen neue Verwertungswege für mineralische Bauabfälle zu erschließen, bedarf es flankierender Maßnahmen. Hierfür sind Pilotprojekte geeignet, über die entsprechende Öffentlichkeitsarbeit durchgeführt werden kann. Ziel ist, über die jeweilige Praxis zu informieren und den Interessenten die Möglichkeit zu geben, einen eigenen Eindruck über die Baumaßnahmen und die entsprechenden Bauwerke zu gewinnen.

Alle Erfahrungen aus einer Vielzahl von Projekten zeigen, dass Architekten und Bauingenieure sowohl für den Hochbau als auch für den Tiefbau über einen geringen Kenntnisstand hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten zu RC-Baustoffen verfügen. Dies resultiert daraus, dass im Rahmen der universitären (und außeruniversitären) Ausbildung hierfür bisher wenige Angebote gemacht werden. So fehlen Aspekte der Ressourceneffizienz in Konstruktion und Materialauswahl weitgehend. Im Rahmen der Baustoffkunde werden RC-Baustoffe nicht beachtet.

Handlungsempfehlungen:

- Impulsprojekte zur hochwertigen Verwertung aufzeigen, initiieren und durch gezielte Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit begleiten
- Curricula in den Ausbildungs- und Studiengängen entsprechend anpassen

10.4 Hochwertige Verwertung sonstiger Bauabfälle

Mit der Umsetzung der oben genannten Randbedingungen und konkreten Handlungsempfehlungen sind für die Verwertung der sonstigen Bauabfälle die wichtigen Grundvoraussetzungen geschaffen. Mit den damit verbundenen deutlichen Verbesserungen in der Selektivität des Rückbaus von Gebäuden ist die Basis dafür gelegt, dass diese Materialien ab Abbruchbaustelle getrennt bereitgestellt werden, evtl. aufgetrennt nach einzelnen Stoffen, soweit dies die Verwertbarkeit erfordert. Nicht immer ist hierfür eine über alle Stoffe erfolgende getrennte Bereitstellung ab Baustelle erforderlich. Bauabfallsortieranlagen sind unter bestimmten Randbedingungen auch in der Lage, aus Gemischen Fraktionen zu separieren, die einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden können.

Dies gilt nicht für die Baustoffe, die als Materialverbund hergestellt sind, der sich über eine Aufbereitung nicht auflösen lässt. Unter den jetzigen Gegebenheiten ist bspw. eine Verwertung der Mauersteine, deren Hohlräume mit organischen Dämmstoffen ausgegossen wurden, nicht möglich. Da eine Ablagerung auf Deponien ebenfalls nicht möglich erscheint, könnte für diesen Massenstrom eine thermische Behandlung notwendig werden.

Darüber hinaus gibt es einige Baustoffe, für die eine hochwertige, d.h. insbesondere stoffliche Verwertung derzeit nicht möglich ist. Dies gilt insbesondere für Dämmstoffe, unabhängig von der Zusammensetzung (mineralisch oder organisch). Die Hersteller dieser Produkte sollten hierfür verstärkt in die Verantwortung genommen werden.

Handlungsempfehlungen:

- Baustoffzulassung nur bei Nachweis einer hochwertigen Verwertung
- Freiwillige Vereinbarung mit Herstellerverbänden - Festlegung von Quoten zur hochwertigen stofflichen Verwertung

10.5 Zusammenfassende Kategorisierung der Handlungsempfehlungen und Instrumente

10.5.1 Regulatorisch

a) Bundesebene

- Baustoffzulassung nur nach Verwertungsnachweis (hochwertige Verwertung)

Baustoffe dürfen nur dann als solche zugelassen werden, wenn für sie eine Verwertbarkeit nachgewiesen werden kann. Insbesondere ist es wichtig, dass sie sich durch Aufbereitung in einzelne Bestandteile auftrennen lassen.

- Freiwillige Vereinbarung mit Herstellerverbänden - Festlegung von Quoten zur hochwertigen stofflichen Verwertung

Mit den Herstellerverbänden sollten auf Bundesebene Vereinbarungen erzielt werden, die sicherstellen, dass die Altstoffe zu einem bestimmten Anteil einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können bzw. in ihrem Produktdesign entsprechend anzupassen sind und zugleich die entsprechenden Strukturen zur Sammlung/Aufbereitung und Verwertung in deren Verantwortung aufgebaut werden. Die Vereinbarung sollte mit einem Monitoring-Konzept verbunden und entsprechend überwacht werden.

- Regularien zu Haftung und Gewährleistung

Einheitliche Regelungen, wie durch die Ersatzbaustoffverordnung vorgesehen, sollten auf Bundesebene in Abstimmung mit den Ländern und den Baustoffherstellern bzw. deren Verbänden entwickelt und ausnahmslos zum einheitlichen Standard werden.

Die Regelungen sollten nicht nur umwelttechnische Parameter, sondern auch bauphysikalische Aspekte umfassen (bspw. Zulassung von RC-Baustoffen für alle Straßenbauklassen).

- Einheitliches System der Überwachung von Produktion und Produkten - einheitliche Prüfsiegel

Ein bundesweit einheitliches System der Überwachung von Produktion und Produkten ist notwendig. Eine Ausschreibung nach TL SoB StB oder TL BuB-E setzt voraus, dass das angebotene und damit in der Baumaßnahme eingesetzte Material aus einer güteüberwachten Produktion stammt, die auf drei Elementen aufbaut. Der Betrieb ist technisch in der Lage derartige Baustoffe herzustellen, nachgewiesen über eine entsprechende Erstprüfung. Die Produktion und die Produkte werden im Rahmen der Eigenüberwachung dokumentiert und geprüft. Das Qualitätsmanagement des Betriebes unterliegt einer Fremdüberwachung, die zudem in Stichproben auch eine Qualitätsprüfung der Produkte enthält. Für den Parameterumfang sowie die Prüfhäufigkeit und Art der Prüfung gilt es einheitliche Vorgaben zu erlassen und dies über ein einheitliches Prüfsiegel zu dokumentieren. Im Vordergrund haben bautechnische Eigenschaften zu stehen, ohne umwelttechnische Aspekte zu vernachlässigen.

Es bedarf einer bundesweit einheitlichen Prüfung der Produktion von (RC-)Baustoffen sowie entsprechender Organisationsstrukturen und Prüfsiegel oder Zertifikate. Dies gilt für die stationäre wie die mobile Aufbereitung. Hier ist der Bund zusammen mit den Verbänden gefragt: Vereinheitlichung der Überwachung von Produktion und Produkten bei gleichzeitiger Sicherstellung hoher Standards.

- Vorgabe „produktneutrale Ausschreibung“ per Erlass (Anweisung einer oberen Behörde an nachgeordnete Behörden) und per Ländergesetzgebung; Bezug auf TL

Die Formulierung der Leistungsverzeichnisse in Ausschreibungen sollte auf Eigenschaften

abzielen und nicht darauf, ob die Produkte auf Basis von primären oder sekundären Rohstoffen hergestellt wurden.

Hier ist die öffentliche Hand gefragt, wobei eine derartige Praxis bei Bundes- und Landesbehörden bzw. -einrichtungen per Anweisung eingefordert werden kann. Für Kommunen bietet sich das Vorgehen an, das Rheinland-Pfalz mit dem Bündnis „Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“⁶² erfolgreich umgesetzt hat.

Die Ausschreibung sollte in jedem Fall und für jeden Baustoff (auch im Erdbau) unter Bezugnahme auf die technischen Lieferbedingungen TL Sob StB 04 oder TL BuB-E StB erfolgen. Dies stellt sicher, dass nur qualifiziertes, güteüberwachtes Material aus den entsprechend überwachten Betrieben verwendet werden kann, und dies unabhängig davon, ob es sich um Steinbrüche und Gruben oder um Bauschuttrecyclinganlagen handelt.

Damit ist sichergestellt, dass die Betriebe, die entsprechend in Qualitätsstandards „investieren“, nicht in Konkurrenz treten müssen zu unqualifiziertem Material aus einer nicht-overwachten Produktion. Bei einer reinen Bewertung nach dem Angebotspreis drohen qualifizierte Betriebe verdrängt zu werden. Die vorgeschlagene Vorgehensweise schützt zudem vor „schwarzen Schafen“.

b) Bundesländer

- Anpassung von Verfüllgenehmigungen- Adressat: Landesbergämter, Kreisverwaltungen

Anpassung der Genehmigungen zur Verfüllung von Steinbrüchen und Gruben im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen an das neue Bodenschutzrecht. Zugelassen sollten nur noch Böden sein mit umwelttechnischen Werten, die der typischen Hintergrundbelastung und damit Z0 oder Z0* entsprechen. Auf diese Randbedingung müssen auch bestehende Genehmigungen innerhalb und außerhalb des Bergrechts angepasst werden.

Die Umsetzung erfolgt für die bergrechtlichen Genehmigungen durch die zuständigen Landesbehörden, für die übrigen Genehmigungen über die Regierungsbezirke o.ä. bzw. die Kreise und kreisfreien Städte. Als Beispiel kann die Praxis in Rheinland-Pfalz dienen.

- Änderung Landesbauordnungen- obligatorische Genehmigungspflicht für Abbruch

Der Abbruch von Gebäuden und Bauwerken sollte nicht nur angezeigt werden, sondern auch einer entsprechenden Genehmigung bedürfen, um eine Handhabe zur Formulierung entsprechender Genehmigungsaufgaben bzw. der Prüfung zu schaffen. In vielen Bundesländern ist dies derzeit nicht mehr vorgesehen.

Über Änderung und Anpassung der Landesbauordnungen sollte dort ein Anzeige- und Genehmigungsverfahren für den Abbruch von Gebäuden und Bauwerken aufgenommen werden.

Den Antragsunterlagen für die Erteilung einer Abbruchgenehmigung wird ein Formblatt beigelegt, auf dem die Prüfung der Möglichkeiten zur Entnahme und Weiterverwendung von Bauteilen bestätigt wird.

Die jeweilige Genehmigung erfolgt auf kommunaler Ebene, die Zusammenstellung der geforderten Antragsunterlagen entsprechend auch.

⁶² Auf Initiative des Wirtschaftsministeriums Rheinland-Pfalz haben sich Verbände und andere Organisationen, die das gesamte Spektrum der Akteure im Baubereich abdecken, im Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau zu konkreten Zielen verpflichtet, die die Rückführung und Verwendung von RC-Baustoffen fördern sollen.

- **Überarbeitung der Curricula in Ausbildungs- und Studiengängen**
Die einzelnen Bundesländer sollten die Curricula in den einzelnen Ausbildungs- und Studiengängen entsprechend anpassen.
 - **Vorbildfunktion und Vorgabe „produktneutrale Ausschreibung“ per Erlass (Anweisung einer oberen Behörde an nachgeordnete Behörden) und per Ländergesetzgebung; Bezug immer TL**
Die öffentliche Hand sollte bei allen ihren Bauvorhaben prüfen, inwieweit gebrauchte Bauteile oder konstruktive Gebäudeelemente aus dem Hochbau eingesetzt und damit weitergenutzt werden können. Dies trifft nicht nur auf Bauvorhaben im Hochbau zu sondern gerade auch auf Sonderbauwerke wie den Dammbau bzw. den Hochwasserschutz; hier sind Betonelemente gut einsetzbar. Außerdem können konstruktive Elemente als Teil von Plastiken, Skulpturen und anderen Bauwerken bspw. in öffentlichen Grünflächen und Plätzen wieder eingesetzt werden.
Die öffentliche Hand kommt damit ihrer Vorbildfunktion nach. Gefordert ist die öffentliche Hand über alle Ebenen von der kommunalen bis hin zur Bundesebene.
 - **Initiieren freiwilliger Vereinbarungen „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“**
- c) Kommune**
- **Formblätter in Antragsunterlagen zur Prüfung Weiterverwendung**
Den Antragsunterlagen für die Erteilung einer Abbruchgenehmigung wird ein Formblatt beigelegt, auf dem die Prüfung der Möglichkeiten zur Entnahme und Weiterverwendung von Bauteilen bestätigt wird.
Die jeweilige Genehmigung erfolgt auf kommunaler Ebene, die Zusammenstellung der geforderten Antragsunterlagen entsprechend auch.

10.5.2 Informatorisch

- a) Bundesebene**
- **Impulsprojekte zur Wieder- und Weiterverwendung und Verwertung**
Gefördert durch Bund und Bundesländer werden in den einzelnen Regionen Impulsprojekte, die neue Wege im Einsatz von RC-Material aufzeigen, initiiert und durch gezielte Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit begleitet. Ziel ist die Verbesserung der Informationslage (und damit auch der Akzeptanz).
 - **Forschungsprojekte zur Wiederverwendung von Bauelementen aus der Holztafelbauweise**
Forschungsprojekte der Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen und konstruktiven Gebäudeelementen; dies gilt insbesondere für Elemente aus dem Fertighausbau.
 - **Leitfaden für die vorbildliche Beschaffung (Bauteile, Bauelemente)**
 - **Initiative zur Aufnahme der Bauteilwiederverwendung bei DGNB**
- b) Bundesländer**
- **Leitfaden/Handreichung für die überschlägige Prüfung auf Weiterverwendbarkeit vor dem Rückbau**
Es bedarf eines Leitfadens/einer Handreichung, die eine Erstprüfung der Wiederverwendungs-Potenziale der zum Abbruch vorgesehenen Gebäude erlaubt. Da sich Gebäudetypen aber auch die Vermarktungssituationen regional doch deutlich unterscheiden, erscheint es sinnvoll, diese jeweils für einzelne Regionen zu formulieren. In diesen Handreichungen

müssen auch die Firmen und Institutionen verzeichnet sein, die in den jeweiligen Regionen als potenzielle Abnehmer infrage kommen.

Eine derartige Handreichung sollten die Bundesländer in Auftrag geben und den Kommunen zur Verfügung stellen. Damit können die Handreichungen Bestandteil der Antrags- und Genehmigungsunterlagen werden.

- Recherche nach geeigneten Standorten für Bauteilbörsen

In Zusammenarbeit mit Institutionen wie dem Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V. oder dem Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V. gilt es für die einzelnen Regionen zu prüfen, ob und ggf. wie (und wo) sich angesichts des Aufkommens an Bauteilen und der Nachfrage nach solchen der Aufbau derartiger Einrichtungen anbietet.

Diese Prüfung könnte auf Ebene der einzelnen Bundesländer oder aber Regierungsbezirke, Kreise o.ä. und in deren Auftrag erfolgen.

- Impulsprojekte und Beratung zur Wieder- und Weiterverwendung
- Um die vorhandenen Optionen allgemein bekannter zu machen und Impulse zu setzen, sollten konkrete Bauprojekte durch Bund und/oder Länder gefördert und die für intensive Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. (z.B. in Form einer Kampagne wie „Energie-Check“⁶³)
- Gezielte Veranstaltungen zum Thema Verwertung im Straßen- und Wegebau

Um die fehlende Fachkenntnis auf Seiten der Bauherren und der Ingenieurbüros anzugehen, bedarf es Projekte, die auf regionaler Basis ansetzen und einer gezielten Öffentlichkeitsarbeit dienen. Hilfreich haben sich Projekte erwiesen, die um konkrete gute Praxisbeispiele herum entwickelt wurden.

Durch die Bundesländer werden in den einzelnen Regionen Veranstaltungen konzipiert und durchgeführt, in denen (kommunale) Bauherren, die auf eine erfolgreiche und langjährige Praxis des Einsatzes von RC-Baustoffen verweisen können, erläutern welche Projekte in der Vergangenheit durchgeführt wurden und was bei der Ausschreibung, Vergabe und Überwachung der Baustellen beachtet wurde. Zielgruppe der Veranstaltung sind Personen aus Vergabe und Planung von öffentlichen Maßnahmen im Städte-, Straßen- und Wohnungsbau. Außerdem sollten die Veranstaltungen dazu genutzt werden, das System der Güteüberwachung im Detail vorzustellen. Abschließend bietet sich ein Besuch bei Bauschuttaufbereitern an, die sich dieser Güteüberwachung unterziehen und entsprechende Produkte herstellen. Gerade dieses Moment trägt wesentlich zur Steigerung der Akzeptanz bei, da sich die hergestellten Produkte deutlich von den Bildern unterscheiden, die viele Akteure für „RC-Bauprodukte“ im Sinn haben.

- Leitfaden für vorbildliche Beschaffung (Bauteile und Gebäudeelemente)
- Architekturwettbewerbe zur Demontierbarkeit von Gebäuden und Verwendung von Bauteilen

Architekturwettbewerbe vor allem im Bereich Gebäudekonstruktionen unter Verwendung möglichst hoher Anteile an gebrauchten Bauteilen und/oder unter Verwendung möglichst hoher Anteile an Recyclingbaustoffen können die Akzeptanz fördern. Die Wettbewerbe können von den entsprechenden Architektenkammern ausgelobt werden.

- Präsentation von Impulsprojekte zur Kreislaufwirtschaft auf dem Bau erschließen neue Verwertungswege

⁶³ Sanierungs-Kampagne des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2013 ausgeführt über die regionalen Verbraucherzentralen

c) Kommune

- Leitfaden für die vorbildliche Beschaffung (Bauteile und Gebäudeelemente)
- Aufnahme von Informationen zur Wiederverwendung von Bauteilen und Bezug von Recyclingbaustoffen in den Abfallkalender
- Benennung von Abgabe- und Bezugsquelle für gebrauchte Bauteile bei Abbruch und Neubau

10.5.3 Ökonomisch

a) Bundesebene

- Fördertatbestände nach BAFA oder über KfW

Förderprogramme können bei privaten Bauherren eine wichtige Randbedingung sein, um gebrauchte Bauteile oder Gebäudeelemente zu verwenden. Hierzu könnten zum Beispiel die Förderprogramme bei BAFA oder KfW genutzt werden.

- Zertifizierungs-Systeme

Die Wirtschaftlichkeit wird auch über Zertifizierungen berührt, die bspw. die Vermarktbarkeit der Gebäude unterstützen können. Hierfür sollte die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen gewonnen werden, deren Beurteilungsraster dann auch als Grundlage für Förderzusagen herangezogen werden könnte. Gemeint ist dabei der Wiedereinsatz von gut erhaltenen Bauteilen und/oder -elementen, Recyclingprodukten wie z.B. Dämmstoffe aus Altpapier oder Recyclingbeton. Wenn die Vorteile einer Wiederverwendung durch z.B. ein Bilanzsystem (z.B. bauteilnetz Deutschland/ Ökobau.dat) belegt wird, kann dies in die Bewertungsmatrix des Zertifikates mit einfließen. Ebenso können die konstruktiven Eigenschaften eines Gebäudes wie reparaturfreudig und langlebig durch die Demontierbarkeit einzelner Bauteile, in die Bewertung mit einfließen.

b) Bundesländer

- Finanzielle und institutionelle Förderung im Aufbau und ggf. Betrieb dieser oben identifizierten Einrichtungen durch die Bundesländer.

c) Kommune

- Finanzielle und institutionelle Förderung von Bauteilbörsen (Einbindung in Abfallberatung)
- Finanzielle und institutionelle Förderung im Aufbau und ggf. Betrieb von Bauteilbörsen durch Kommunen und Kreise.

11 Ausgewählte übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen

11.1 Europäische Abfallrahmenrichtlinie

Die europäische Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie)⁶⁴ beschreibt den Rahmen und definiert Anforderungen für alle europäischen Mitgliedstaaten zum Umgang mit einer Vielzahl von Abfällen, u.a. Bauabfällen. Sie gilt nicht für spezielle Abfälle wie z.B. radioaktive Abfälle, Sprengstoffe, Fäkalien etc.

In der Richtlinie ist eine fünfstufige Abfallhierarchie definiert, die in ähnlicher Form auch schon in nationalen Regelwerken (siehe früheres Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz in Deutschland) zu finden war:

- Vermeidung vor
- Vorbereitung zur Wiederverwendung vor
- (Stoffliches) Recycling vor
- Sonstiges (z.B. energetische Verwertung) vor
- Beseitigung.

Diese Abfallhierarchie ist allerdings deutlich differenzierter als die genannten früheren nationalen Regelungen. Hervorzuheben ist, dass das stoffliche Recycling vor der energetischen Verwertung rangiert.

Die Richtlinie setzt Maßstäbe für Verwertungsquoten in den Mitgliedsländern; z.B. für Papier, Metall, Glas, Kunststoffe eine RC-Quote von 50 % und für Bauabfälle von 70 %, die bis zum Jahr 2020 erreicht werden sollen.

Bis zum Ende 2013 müssen die Mitgliedsstaaten u.a. auch Abfallvermeidungsziele definieren und entsprechende Programme zur Umsetzung entwerfen.

Da es sich um eine Richtlinie und keine Verordnung handelt (letztere müsste in den Mitgliedsstaaten 1:1 umgesetzt werden), bleibt abzuwarten, inwieweit die Richtlinie in den EU-Mitgliedsstaaten am Ende in die Praxis umgesetzt wird.

11.2 Europäische Bauprodukten-Verordnung

Das Europäische Parlament und der EU-Ministerrat haben im ersten Quartal 2011 die neue EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO, Verordnung EU 305/2011)⁶⁵ verabschiedet, die am 24. April 2011 in Kraft getreten ist und die bis dahin gültige Bauproduktenrichtlinie abgelöst hat. Die Verordnung ist bis zum Juli 2013 in allen Mitgliedsstaaten verbindlich umzusetzen und danach anzuwenden.

Mit der Verordnung werden die Regelungen für die Vermarktung von Bauprodukten in Europa präzisiert, um mehr Rechtsverbindlichkeit, Transparenz, Effizienz und eine Entlastung insbesondere der kleinen und mittleren Unternehmen zu erreichen und gleiche Standards in allen europäischen Ländern zu gewährleisten. In der Vergangenheit hatte die Bauproduktenrichtlinie national den einzelnen Mitgliedsstaaten viel Spielraum zur Interpretation und Umsetzung gelassen, was zu unterschiedlichen Qualitätsniveaus bzgl. der

⁶⁴ Richtlinie 2008/98/EG vom 19. November 2008 über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie).

⁶⁵ Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, Bauproduktenverordnung.

Herstellung, Überwachung und Zertifizierung von Bauprodukten führte. Hierdurch kam es zu Wettbewerbsverzerrungen, die mit der neuen Verordnung vermieden werden sollen.

Bezüglich der Wiederverwendung und/oder hochwertiger Verwertung sind die Festlegungen der Verordnung im Anhang 1, Punkt 7 von Bedeutung:

Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen:

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

11.3 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Im Juni 2012 trat das Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG⁶⁶, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen in Kraft. Das Gesetz setzt damit die Forderungen der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (s.o.) um. Wie diese übernimmt auch das neue KrWG die europäische Abfallhierarchie. Ziel des Gesetzes ist es, den Umwelt- und Ressourcenschutz durch Abfallvermeidung, Recycling und Ressourceneffizienz zu verbessern sowie im Falle der Beseitigung von Abfällen hohe Umweltstandards zu etablieren. Das Gesetz geht in seinen Forderungen bzgl. Recyclingquoten sogar über die Standards der europäischen Richtlinie hinaus: So sollen für Papier, Metalle, Glas etc. statt der europäischen Vorgabe 50% in Deutschland 65% erreicht werden, für Bauabfälle werden wie in der Richtlinie (im KrWG mindestens) 70% gefordert.

11.4 Ersatzbaustoffverordnung (EBV) und die jahrzehntelange Diskussion zur Umweltverträglichkeit von Recyclingbaustoffen

Die Baustoffrecycling-„Landschaft“ in Deutschland ist gekennzeichnet durch einen „Dschungel“ an Gesetzen und Verordnungen, den selbst Fachleute kaum noch durchschauen. Dies wird deutlich in der Beurteilung der Umweltverträglichkeit von RC-Baustoffen. Auf diesem Gebiet wurde die Diskussion seit vielen Jahren durch die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall-LAGA dominiert. Die LAGA ist jedoch auch ein Beispiel für Probleme, welches das föderale System in Deutschland mit unterschiedlichen Länderregelungen hervorgebracht hat: Einige Bundesländer hatten die LAGA eingeführt, andere nicht. Wiederum andere hatten sie nicht eingeführt; sie wurde aber angewendet. Bayern, Baden-Württemberg und später NRW wiederum hatten eigene Regelungen mit eigenen Standards und Überwachungssystemen. Rechtlich unverbindliche unterschiedliche Qualitätsstandards können ein gravierendes Hemmnis für den Einsatz von RC-Baustoffen darstellen.

Mit der LAGA Mitteilung M 20 von 1997 (Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln⁶⁷) wurde der Versuch unternommen, in Deutschland einheitliche Umweltstandards zur Verwertung von Bauabfällen festzulegen, um einem möglichen Abfalltourismus, der die Ab-

⁶⁶ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212).

⁶⁷ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall-LAGA (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Bauabfällen.

fallströme dorthin lenkt, wo die niedrigsten Umweltstandards gelten, vorzubeugen. Trotz heftigster Diskussionen bzgl. einiger Parameter und deren Grenzwerten (z.B. Sulfat) waren die LAGA-Anforderungen praktisch umsetzbar.

Änderungen der Gesetzeslage unter Berücksichtigung des Bundesbodenschutzgesetzes, der Bodenschutz-Verordnung, des vorsorgenden Grundwasserschutzes und der von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) in die Diskussion gebrachten Geringfügigkeitsschwellen machten eine Überarbeitung der M 20 notwendig. Bis 2005 wurde die neue M 20 in drei Teilen veröffentlicht. Die betroffene Wirtschaft erkannte schnell, dass mit diesen Vorgaben eine Verschärfung der Umweltstandards festgeschrieben wird, die zu einer Reduzierung der Verwertung führen können. Vor diesem Hintergrund wurde die neue M 20 von der Wirtschaftsministerkonferenz abgelehnt.

In diese Phase fiel das sog. „Tongruben-Urteil“ des Bundesverwaltungsgerichts, bei dem es um eine Verfüllung einer ehemaligen Tongrube mit Bauabfällen ging, gegen die sich Nachbarn gerichtlich zur Wehr gesetzt hatten. Weit mehr als die eigentliche Verfüllungsmaßnahme wurde das Urteil hinsichtlich der allgemeinen Beurteilung der LAGA von der Öffentlichkeit erstaunt zur Kenntnis genommen; das Gericht stellte nämlich fest, dass die LAGA keine normkonkretisierende Verwaltungsvorschrift sei. Damit wurde die LAGA zu einer Art „Expertengremium“ herabgestuft. Entscheidungen der öffentlichen Verwaltungen unter Bezugnahme auf die LAGA mussten fortan als rechtlich unsicher angesehen werden. An dieser Situation hat sich nach Meinung der Autoren bis heute nichts geändert. Die Verwertung von Baurestmassen bewegt sich heute hinsichtlich der Umweltstandards in einer rechtlichen Grauzone. Es ist damit zu rechnen, dass diese Rechtsunsicherheit einen erheblichen Verhinderungsfaktor für die heutige Baustoffrecycling-Praxis darstellt. Rechtssicherheit schafft Vertrauen-Rechtsunsicherheit schreckt ab. Vor diesem Hintergrund war und ist eine konsensfähige Ersatzbaustoff-Verordnung dringend notwendig.

Ausgehend von der oben geschilderten Situation entschloss sich der Bund, eine für ganz Deutschland einheitliche Regelung zur Bewertung und dem Einbau von RC-Baustoffen und industriellen Abfall- und Nebenprodukten wie Aschen, Schlacken etc. in einer sog. „Ersatzbaustoff-Verordnung“ zu erlassen. Ähnliche Verordnungen waren unter dem Dach des Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetzes bereits in der Vergangenheit in anderen Bereichen auf den Weg gebracht worden: Altauto-Verordnung, Elektroschrott-Verordnung, Verpackungs-Verordnung etc.

Die Verordnung ist als Mantelverordnung ausgelegt, in die die Ersatzbaustoff-Verordnung als Teil 2 eingebettet ist⁶⁸.

War diese Aktivität generell im Sinne einer Vereinheitlichung zu begrüßen, so wurden im Laufe der Diskussion des vorgelegten ersten Entwurfes unterschiedliche Umweltschutz-Anforderungen der Wasserwirtschaft auf der einen und der Abfallwirtschaft auf der anderen Seite deutlich. Es folgten langanhaltende Diskussionen über (teilweise neue) Auslaugverfahren, Einbaurestriktionen und Grenzwerte. Ausgehend vom ersten Entwurf und dem im Herbst 2012 vorerst letzten überarbeiteten Entwurf, steht zu befürchten, dass aufgrund verschärfter Grenzwerte und verschärfter Analysenbedingungen ein nicht unerheblicher Teil der heute verwerteten Stoffe für eine Verwertung nicht mehr zur Verfügung steht oder in schlechtere Verwertungsklassen herabgestuft oder gar deponiert wird. Dabei geht die Recyclingwirtschaft davon aus, dass erfahrungsgemäß wohl nur die beste Klasse RC1 am Markt bestehen kann; die schlechteren Klassen RC 2 und RC 3 werden nur eine untergeordnete Rolle spielen.

⁶⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit-BMU: Entwurf-Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzstoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material; Ersatzbaustoff-Verordnung (2012)

11.5 REACH

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals) ist eine Abkürzung für eine europäische Chemikalienverordnung, die im Jahr 2007 in Kraft trat⁶⁹. Die Verordnung soll das Wissen um die Herstellung, den Vertrieb und die Verwendung von chemischen Produkten und die damit verbundenen möglichen Gefahren zentral sammeln, mit dem Zweck Gefährdungspotenziale zu erkennen, aufzuzeigen und so Gefahren für Anwender und Verbraucher vorzubeugen. Alle Hersteller von Stoffen, Mischungen und Produkten waren mit einer Übergangsfrist aufgefordert, entsprechende Informationen über ihre Produkte an die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) in Helsinki zu übermitteln, um die Produkte dann später registrieren zu lassen.

REACH unterscheidet zwischen "Stoffen", "Zubereitungen" und "Erzeugnissen". Dabei sind Erzeugnisse solche Materialien/Gegenstände, bei denen bei der Herstellung in erster Linie die Formgebung und nicht die chemische Zusammensetzung im Vordergrund steht. Erzeugnisse sind von einer Registrierungsspflicht ausgenommen.

Lange wurde in Deutschland unter anderem in Fachkreisen diskutiert, ob RC-Baustoffe unter die REACH-Verordnung fallen oder nicht. Technisch nachvollziehbar wurde am Ende nach Gesprächen der Verbände mit dem UBA und dem BMU durch die ECHA entschieden, dass RC-Baustoffe, sofern sie aufbereitet und güteüberwacht mit Produktstatus als "Erzeugnisse" aufzufassen sind und damit nicht einer REACH-Registrierungsverpflichtung unterliegen.

⁶⁹ Verordnung (EG) 1907/2006 Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals; REACH-Verordnung

12 Quellenverzeichnis

- AgPr: Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling: PVC-Bodenbelag Recycling.
- Alt-Bauteile Bremen e.V. (2004): Endbericht bauteilbörse bremen, Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen. Bremen.
- AltholzV: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz.
- Ayci, Hakan; Kropp, Jörg (2006): Werk trockenmörtel mit Porenbetonrezyklaten aus der Bauschutttaufbereitung; Amtliche Materialprüfungsanstalt Bremen, AiF-Schlussbericht zum Vorhaben 13994 N.
- Ausführungsunterlagen Blockbau 0,8 Mp (1973): IW 64 Görlitz, Rohbau-Elementeliste/Montagepläne, KB 612.1, VEB (B) Bau Görlitz.
- Ausführungsunterlagen IW 76/P2 Bezirk Halle (1978): Teilkatalog 1 (5- und 11-gesch.). Elementedatenblätter. VEB Projektierung und Technologie Halle - Kombinationsbetrieb des VEB WBK Halle.
- Ausführungsunterlagen P2 5- und 8-geschossig (1973-1981): Elementedatenblätter/Montagepläne. VE WBK Cottbus. KB Projektierung.
- Ausführungsunterlagen PN 36-NO (1973-1979): BEP WBK Neubrandenburg.
- Ausführungsunterlagen WBS 70/10,80 Typ Dresden-Ratio II (1978-1990): Elementedatenblätter/Montagepläne. VEB Projektierung Dresden im VEB (B) WBK Dresden.
- Ausführungsunterlagen WBS 70 Katalog V (1975): Verbindungsdetails/Montagepläne. Zusammenstellung aus Katalog Verbindungsdetail W 7413 L für WBS 70/12000 6-gesch. Leipzig. auf der Grundlage von Katalog Verbindungsdetails W 7413/ADV. Kooperationsverband WBS 70. VEB Baukombinat Leipzig. Kombinarsbetrieb Produktionsvorbereitung. Produktionsabteilung 1-72 WBS 70/6-gesch. Berlin.
- Ausführungsunterlagen WBS 70/11 Berlin (1974-1988): Elementedatenblätter/Montagepläne. VEB Projektierung Kombinarsbetrieb Berlin im VEB Wohnungsbaukombinat. Berlin.
- Ausführungsunterlagen WBS 70-10,8 C - Elementekatalog (1983): Ingenieurhochschule Cottbus. WB WGB. nach Projektunterlagen des VEB Wohnungsbaukombinat Cottbus. KB Projektierung. Cottbus.
- Ausführungsunterlagen WV Projekt Einzügige Oberschule-Oberschule Gröditz (1966): Grundrisspläne/Baelementeliste. VEB Hochbauprojektierung Karl-Marx-Stadt.
- Bauhaus (2008): "Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zum umweltgerechten Behandeln und Verwerten kanzerogener Mineralwolle auf der Basis der Mult-Mode-Mikrowellentechnologie" Abschlussbericht; gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. <http://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24946.pdf>, aufgerufen im Juni 2013
- Bauteilnetzwissen:
http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_Schaumglas_152164.html; aufgerufen im Juni 2013.
- BAV (2009): Leitfaden der Gebrauchtholzverwertung; Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e. V. 6. Auflage. Berlin.
- Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.) (2003): Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau, Kontaminierte Bausubstanz Erkundung Bewertung Entsorgung.
- BBSR (2011): Asam, Claus; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); BBSR-Berichte KOMPAKT: Künstliche Mineralfaserdämmstoffe. Bonn.
- Berndt, Kurt (1969): Die Montagebauarten des Wohnungsbaues in Beton. Bauverlag GmbH Wiesbaden und

Berlin.

BKI - Baukosten (2011): Teil 2. Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (Hrsg.). Stuttgart.

BMVBS (Hrsg.) (2010): Vierter Statusbericht der Bundestransferstelle Stadtumbau Ost. Stadtumbau vor neuen Herausforderungen. Berlin.

Both, Nadja (2009): Ermittlung und Bewertung von Ressourceneinsparungseffekten durch die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile innerhalb des Bauteilnetzes Deutschland, Bachelor-Thesis im Fachbereich Architektur, Bau und Umwelt im Internationaler Studiengang Umwelttechnik an der Fachhochschule Bremen.

Brandl, Helmut (1996): Die Bedeutung der Holznutzung für den CO₂-Haushalt. AFZ, Nr.10, 573-576. Freiburg.

Bredenbals, Barbara; Willkomm, Wolfgang (1995): Rationelle Selbsthilfe und Recycling. Rationeller Materialeinsatz, Abfallvermeidung und Baustoffrecycling bei Selbsthilfemaßnahmen im Wohnungsbau. Abschlußbericht, Bau- und Wohnforschung. Fraunhofer IRB Verlag.

BRB-Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe e.V. (2005): Recycling-Baustoffe nach europäischen Normen, Leitfaden für die Überwachung und Zertifizierung, Kennzeichnung und Lieferung.

BVBS, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008): Arbeitshilfen Recycling.

BVSE (2013): bvse Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.; Zahlen, Daten Fakten 2013 (01/2013).

Car, Martin (2013): Abfallende RC-Baustoffe: Voraussetzungen und Umsetzung in Österreich, Vortrag auf der Konferenz in Novy Smokovec zum Thema „Wiederverwendung von Materialien für Bauzwecke“.

Cziesielski, Erich (1997): Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen. B.G. Teubner Stuttgart. S. 374 ff.

Colling, François (2012): Holzbau - Grundlagen und Bemessung nach EC 5. 3. Auflage. Springer Vieweg. Wiesbaden.

Dechantsreiter, Ute (1992): Recycling im Hochbau erprobt, Forschungsprojekt im Rahmen des Experimentellen Wohnungsbaus BMBau, Bonn 1988-1992, Aufsatz, das bauzentrum 2/93

Dechantsreiter, Ute (1994): Projekteforum Bauteile-Wiederverwendung, Zusammenstellung der Vorträge. Bremen. Im Auftrag von Ökostadt Bremen e.V.

Dechantsreiter, Ute; Strohmeier, Karin (2000): Vorstudie zu Aufbau einer Bauteilbörse, Bremer Energie-Konsens GmbH, Bremen.

Dechantsreiter, Ute und Strohmeier, Karin, (2004), Endbericht „bauteilbörse bremen“, Aufbau einer Bauteilbörse 2002-2004, Alt-Bauteile Bremen e.V.

Dechantsreiter, Ute (2009) Endbericht bauteilnetz Deutschland: Aufbau eines Netzwerkes zur Wiederverwendung von Bauteilen“ DBU 2006-2009, RWB Forschungsvereinigung für Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V.,

destatis (2013): Statistisches Bundesamt: Umwelt, Abfallentsorgung (2012); Wiesbaden

Elementekatalog LGBW (1978). KVE WBK Cottbus. KB Projektierung. Cottbus.

EUWID (2013): Europäische Flachglashersteller bereit zum Einsatz höherer Altglasmengen; EUWID Recycling und Entsorgung; 25.2013/18.06.2013; S. 30.

FDB-Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (2013): Planungshinweise zum nachhaltigen Bauen mit Betonfertigteilen (Sachstand 05/2013). Bonn.

- Feldmann, Heinz; Neunast, Armin et.al. (1994): Beton-Bauteile für den Wohnungsbau. Informationsstelle Beton-Bauteile Bonn (Hrsg.). Beton Verlag GmbH Düsseldorf.
- Fischer, Annetrin; Asam, Claus et.al. (2012): Berufsbildung und öffentlicher Diskurs zum Ressourcenschutz am Beispiel eines modellhaften Recyclinggebäudes in Berlin. Abschlussbericht. DBU (AZ 27899). Plattenvereinigung Berlin 2010/2011 und zukunftsgeräusche GbR. Berlin.
- FLUM-ROC: <http://www.flumroc.ch>, aufgerufen im Juli 2013
- foamglas (2013): Homepage: <http://www.foamglas.de>, aufgerufen im Juni 2013.
- Fortschrittsbericht Vinyl (2010): Vinyl 2010 - 10 Jahre - Berichterstattung über die Tätigkeiten im Jahr 2010 und Zusammenfassung der wichtigsten Meilensteine der letzten 10 Jahre.
- Fritsch, Reinhold; Pasternak, Hartmut (1999): Stahlbau - Grundlagen und Tragwerke. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH Braunschweig/Wiesbaden.
- Grundlagenkatalog LGBW. (1978): Katalog 001. Allgemeiner Teil. VE WBK Cottbus. KB Projektierung. Abt. Technik. Cottbus.
- Hahnemann, Daniel (2000): Bauabfallrecycling in Stadt und Landkreis Lüneburg, Untersuchung zu den Bedingungen des selektiven Rückbaus in Stadt und Landkreis Lüneburg, Diplomarbeit im Fachbereich Umweltwissenschaften an der Universität Lüneburg.
- Hannemann, Christine (2005): Die Platte . Industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. 3. Auflage. Verlag Hans Schiler Berlin.
- Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et.al. (2007): Potenziale des Sekundärrohstoffeinsatzes im Betonbau - Teilprojekt B 1. in: DAfStb (Hrsg.). Fachbereich 07 des NA Bau im DIN e.V. Heft 572. Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb-/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltiges Bauen mit Beton“. S. 131 ff.
- Hauke, Bernhard (2009): Bauen mit Stahl-Leitgedanken zum nachhaltigen Bauen. Bauen mit Stahl e.V. (Hrsg.). Düsseldorf.
- Hlawatsch, Frank; Kropp, Jörg (2008): Leichte Wandbaustoffe aus Porenbetonbrechsanden; Amtliche Materialprüfungsanstalt Bremen, AiF-Schlussbericht zum Vorhaben 14280 N.
- Hochschule Bochum (2011): Metalle im Bauwesen - Baustofftechnologie. Bochum.
- Hoscislawski; Thomas (1991): Bauen zwischen Macht und Ohnmacht - Architektur und Städtebau in der DDR. Verlag für Bauwesen GmbH Berlin.
- INQA-Bauen (2008): HSM-Handlungsanleitung Umbau-Instandhaltung-Rückbau. Umgang mit holzschutzmittelbelasteten Bauteilen, Gegenständen und Materialien. LAGetSi Berlin.
- IBU-Institut Bauen und Umwelt e.V. (2010): Umwelt-Produktdeklaration (nach ISO 14025) Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche (EPD-BFS-2010111-D). Königswinter.
- IFEU (2001): Christiani J., Griepentrog U., Weber H., Giegrich J., Detzel A., Breuer L.: Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen, im Auftrag des Umweltbundesamtes, HTP und IFEU.
- IFEU (2012): Knappe F., Diebel A., Reinhardt J., Theis S., Leiter E., Rosanelli R., Vieider A., Bonadio M., Feeß W.: Verwertung des Abbruchmaterials für KlimaHäuser, im Auftrag der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol, Abt. 29 - Landesagentur für Umwelt, IFEU & Syneco & IGLux.
- IFEU (2013): Sven Gärtner und andere; Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz. Heidelberg.

- Kaiser, Reinhard; Miehe, Anne; Emmerich, Carsten et.al. (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. BMU (Hrsg.). Berlin.
- KER (2009): "Stoffliche Verwertung von Mineralwolleabfällen - Technologien für die Strukturumwandlung" (Keramische Zeitschrift 06/2009).
- Keßler, Hermann (2014): Die Bedeutung des Bausektors im Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) des Bundes. Vortrag Stuttgart. 23.01.2014.
- Kindmann, Rolf; Krahwinkel, Manuel (1999): Stahl- und Verbundkonstruktionen. B.G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig.
- Knappe, Florian; Diebel, Anton et.al. (2012): Verwertung des Abbruchmaterials von Klimahäusern. IFEU-Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Studie im Auftrag der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol. Abt. 29 - Landesagentur für Umwelt.
- Knappe, Florian; Dehoust, Günter; Petschow, Ulrich; Jakubowski, Gerhard (2008/2012): Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizsysteme. Forschungsvorhaben im Auftrag des UBA. FKZ 206 3104/01 (UBA-FB 001266). Dessau-Roßlau.
- Koch, Jens (2004): Holzbau Handbuch. Reihe 4 - Baustoffe. Teil 1 - Allgemeines. Folge 1 - DIN 4074 Qualitätskriterien für Vollholzprodukte. Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft - Holzabsatzfonds-(Hrsg.). Bonn.
- Komi (2013): Homepage Fa. Komi Jettingen; <http://www.komi-jettingen.de/>, aufgerufen im Juni 2013
- Krakow, Dr. Lutz: Vortrag Urban Mining Kongress 2012, Iserlohn
- Kristof, Kora; Nennicke, Peter (2010): Materialeffizienz und Ressourcenschonung (MaRes). Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Förderung durch BMU und UBA. FKZ 3707 93 300. Wuppertal.
- Kuhweide, Peter; Wagner, Gerhard et.al. (2000): Holzbau Handbuch. Reihe 4 - Baustoffe. Teil 2 - Vollholz. Folge 3 - Konstruktive Vollholzprodukte. Informationsdienst Holz. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.). Düsseldorf.
- LBV-Landesamt für Bauen und Verkehr des Landes Brandenburg (2012): Merkblatt Fertigteile-Wiederverwendung von Fertigteilen aus Beton-, Stahl- und Spannbeton. Fassung vom 24.08.2012. LBV Dezernat 35. Bautechnisches Prüfamts Cottbus (Hrsg.).
- Leshchinsk Alex; Lesinskij Marat (2003): BFT, RILEM- und BRE-Empfehlungen (British Research Establishment), Betonzuschlag aus Bauschutt und Abbruchmaterial.
- Lichtensteiger, Thomas (2006): Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. vdf-Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich (2007): Abbrucharbeiten. Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung, herausgegeben vom Deutschen Abbruchverband, Köln.
- Lohse, Wolfram (2002): Stahlbau 1. 24. Auflage. B.G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden.
- Ludewig, Damian; Meyer, Eike (2012): Ressourcenschonung durch die Besteuerung von Primärbaustoffen; FÖS-Diskussionspapier. Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft e.V. Berlin. Gefördert vom BMU und UBA. 03/2012
- Meetz, Michael; Verheyen, Frank; Mettke, Angelika; Asmus, Stefan (2013): Steigerung der Ressourceneffi-

zierung des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Ein Projekt des MUGV Potsdam. Schlussbericht.

Mettke, Angelika (1995): Wiederverwendung von Bauteilen des Fertigteilbaus. Dissertationsschrift. Umweltwissenschaften Band 5. Eberhard Blottner Verlag. Taunusstein.

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia (1999): Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen. Reihe Materialien zur Abfallwirtschaft 1999. Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen (Hrsg.). Lößnitz Druck GmbH. Radebeul.

Mettke, Angelika; Hänsel, Ricarda et.al. (2003a): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs P2. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika (2003b): Plattenumbauten. Wieder- und Weiterverwendungen - Anwendungskatalog II. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika (2004): Rahmentechnologie. Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten - am Beispiel der Typenserie P2. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika (2005): Alte Platte - Neues Design - Die Platte lebt. Tagungsband der Fachtagung 16./17.02.2005 an der BTU Cottbus. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören (2006): Grundlagenermittlung und vorbereitende Untersuchungen zum Einsatz von Altbetonelementen für den Bau des Vereinshauses 1911 e.V. in Gröditz. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika; Müller, Isabelle; Asmus, Stefan (2007a): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika (2007b): Alte Platte - Neues Design, Teil 2 - Die Platte - wrapped - verpackt. Tagungsband der Fachtagung 01./02.03.2007 an der BTU Cottbus. Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan et.al. (2008a): Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht - Bearbeitungsphase I. Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“. gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU-AZ 22286-23). Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia; Asmus, Stefan et.al. (2008b): Rückbau industrieller Bau-substanz - Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf. gefördert vom BMBF (AFKZ 0339972). Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

- Teil 0: Zielstellung und Zusammenfassung der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Forschungsvorhabens
- Teil 1: Krangeführter Rückbau.
- Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile.
- Teil 3: Sozialwissenschaftliche Begleitforschung im Stadtumbau

Mettke, Angelika (2009a): Material- und Produktrecycling am Beispiel von Plattenbauten. Habilitationsschrift, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören (2009b): Pro Altbeton zum Hochwasserschutz. Verbundprojekt: Deichbau -

Nutzung ausgebaute großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz. Teilvorhaben BTU Cottbus. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. Gefördert vom BMBF (FKZ 19W4004A). Fachgruppe Bauliches Recycling. Lehrstuhl Altlasten. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Mettke, Angelika (2010): Verwendung von Recyclingbeton im Hochbau - Sicherung der Qualität. in: Tagungsband TOP 2010. 15.-17. Juni 2010. Častá Papiernička. Slowakische Universität Bratislava.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2004): Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit Nordrhein-Westfalen. Leitfaden gesundheitsbewusst modernisieren. Wohngebäude von 1950-1975.

Motzko, Christoph; Klingenberger, J. (2004): Kalkulation kontrollierter Abbrucharbeiten, in: Tiefbau 1/2004, S. 25.

Müller, A.: Vorläufiges Skript zum Kapitel „Kunststoffe“, Uni Weimar.

Müller, Annette (2012): Das Sulfatproblem. RECYCLING magazin 22.

Pahl, Gerhard; Schäfer, Berthold et.al. (2013): 8. Bericht Bauabfälle Monitoring 2010. Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2010. Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Hrsg.). Druckwerkstatt Lunow. Berlin.

Pressemitteilung FV WDVS: Setzler W., Franke C., Egen-Gödde L. (16.11.2012): Presse-Information - Recyclingprojekt gestartet, Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (FV WDVS) & Industrieverband Hartschaum (IVH).

Pressemitteilung Rewindo (04.06.2013): Vetter M.: Pressemeldung - Rewindo überspringt im Jubiläumsjahr 2012 zwei wichtige Marken, Rewindo Fenster-Recycling-Service.

Programm „RUMBA“ (2001-2004): Ergänzung von Richtlinien für umweltfreundliche Baustellenabwicklung, Wien.

Projektierungsunterlagen/Montagepläne WBS 70 C 7.1 5- und 6-geschossig. VEB(B) WBK Neubrandenburg. KB Projektierung. Angebotsprojektierung. 1981 - 1988.

Quack, Gerlinde (2003): Endbericht „Ermittlung der durch Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen realisierbaren Energieeinsparpotentiale und CO₂-Reduktionspotenziale“; Ökoinstitut Freiburg, Freiburg. Im Auftrag des Alt- Bauteile Bremen e.V.

RAL-GZ 388

Rewindo (2011): kunststofffenster-recycling in Zahlen 2011.

Ritthof, Michael; Rohn, Holger; Liedtke, Christa (2002): MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Spezial 27. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hrsg.). Wuppertal.

Rockwool (11. Und 20.06): Telefonate mit Herrn Schüttler und Herrn Quellmetz, Fa. Rockwool.

RP Gießen (2013): http://www.rp-giessen.hessen.de/irj/RPGIE_Internet?cid=9e17d75735bf8851808140b25f4a70dc, aufgerufen im August 2013

Rüter, Sebastian; Diedrichs, Stefan (2012): Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Arbeitsbericht/Abschlussbericht FO-Vorhaben. Förderung durch das BMELV (FKZ 22028808). Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume und Institut für Holztechnologie und Holzbiologie (Hrsg.). Hamburg.

Sander, Andrea (2008): Sachgebiet Rechtsangelegenheiten im Referat 51 (Grundsatzfragen der Abfall- und Immissionsschutzpolitik, Rechtsangelegenheiten, Haftungsfreistellung) der Abteilung 5 (Umwelt, Klima-

schutz, Nachhaltigkeit) vom Brandenburgischen Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt- und Verbraucherschutz, Vortrag bei einer Veranstaltung der Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH (SBB). Berlin.

Scherer&Kohl (06.06.2013): Telefonat mit Herrn Mladek, Fa. Scheer & Kohl in Ludwigshafen.

Schiller, Georg; Deilmann, Clemens; Gruhler, Karin; Röhm, Patric. (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden. UFOPLAN-Vorhaben (FKZ 3708 95 303) im Auftrag des UBA. Dessau-Roßlau.

Schirmbeck (2013): Telefonate mit Herrn Bachhuber, Fa. Schirmbeck in Schierling vom 5. und 25. Juni 2013

Schultmann, Frank: Projektplanungsmodelle und -methoden für den Rückbau von Gebäuden <http://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/16>. aufgerufen 09.08.2013.

Statistisches Bundesamt (2012): Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendeten Baustoff. Lange Reihen ab 2000. Stand: 08.08.2012. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2013): Abfallbilanz 2011 und Abfallaufkommen 1996 - 2011.

Steinbrecher, Diethard (2007): Bauen mit Holz. Tagungsband 14. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2007 am 30. März 2007. Kap. 2 Holz ein historischer Werkstoff mit Zukunft. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

TRGS 500: Technische Regeln für Gefahrstoffe, Schutzmaßnahmen, Hrsg.; Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Stand: Mai 2008.

TRGS 521: TRGS 521, Technische Regeln für Gefahrstoffe, Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle, Hrsg.; Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Stand: Februar 2008.

TRGS 905: TRGS 905, Technische Regeln für Gefahrstoffe, Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Hrsg.; Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Stand: Mai 2008.

Umweltbroschüre Unidek: Unidek Gefinex (Wärmedämmung, Schall- und Feuchteschutz): Styropor und Umwelt - Umweltverträgliches Bauen und Wohnen mit Styropor, Institut Bauen und Umwelt e.V. & Industrieverband Hartschaum e.V. (IVH).

Walter, Ignaz (1984): Humanbau mit Stahlbeton-Fertigteilen. Band I - III. Gesellschaft für Werbung und Vertrieb mbH Augsburg. S. 132 - 136.

Wegener, G.; Zimmer, B. et.al. (1997): Informationsdienst Holz. Ökobilanzen Holz. Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (Hrsg.) Bonn.

Woolrec (2013a): <http://www.woolrec.de/>, aufgerufen am 28.12.2013

Woolrec (04.06.2013b): Telefonat mit Frau Werner, Fa. Woolrec in Braunfels.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2008): Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt. BUND e.V./Brot für die Welt/eed (Hrsg.). Natur & Umwelt Verlag Berlin.

<http://www.rc-beton.de>, aufgerufen am 17.07.2013

<http://www.recyclingmagazin.de>, aufgerufen am 12.06.2013.

<http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/>, aufgerufen am 06.08.2013.

<http://www.wupperinst.org>, aufgerufen am 21.06.2013

<http://www.ffe.de/images/stories/Berichte/Gabie/baustoff.htm>, aufgerufen am 10.06.2013

<http://www.baulinks.de/webplugin/2012/1567.php4>, aufgerufen am 20.06.2013.

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf, aufgerufen am 16.05.2013.

<http://www.aufbaukoernungen.de/publik.html>, aufgerufen am 09.08.2013.

Gesetze und Verordnungen

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz-KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. 212), das durch § 44 Absatz 4 des Gesetzes vom 22. Mai 2013 (BGBl. S. 1324) geändert worden ist.

Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung-AltholzV) vom 15.08.2002.

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung-GefStoffV) vom 26.11.2010, zuletzt geändert am 15.07.2013.

Normen und Richtlinien

DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.

DIN 4226-100:2002-02 Gesteinskörnungen für Mörtel und Beton. Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen.

DIN 18007:2000-05 Abbrucharbeiten - Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche.

DIN 18035-5:2007-08 Sportplätze-Teil 5: Tennenflächen.

DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000.

DIN EN 10079:2007-06 Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse. Deutsche Fassung EN 10079:2007.

DIN EN 12620:2013-07 Gesteinskörnungen für Beton; Deutsche Fassung EN 12620:2013.

EN 206-1:2001-07 Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (Deutsche Fassung EN 206-1:2000).

VDI 2243:2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung.

DAfStb-Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2010): Richtlinie. Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12 620.

DAfStb-Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2011): Richtlinie. Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali- Reaktionen). Pkt. 3.

EU-Bauproduktenverordnung. Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. In Kraft getreten am 01.07.2013.

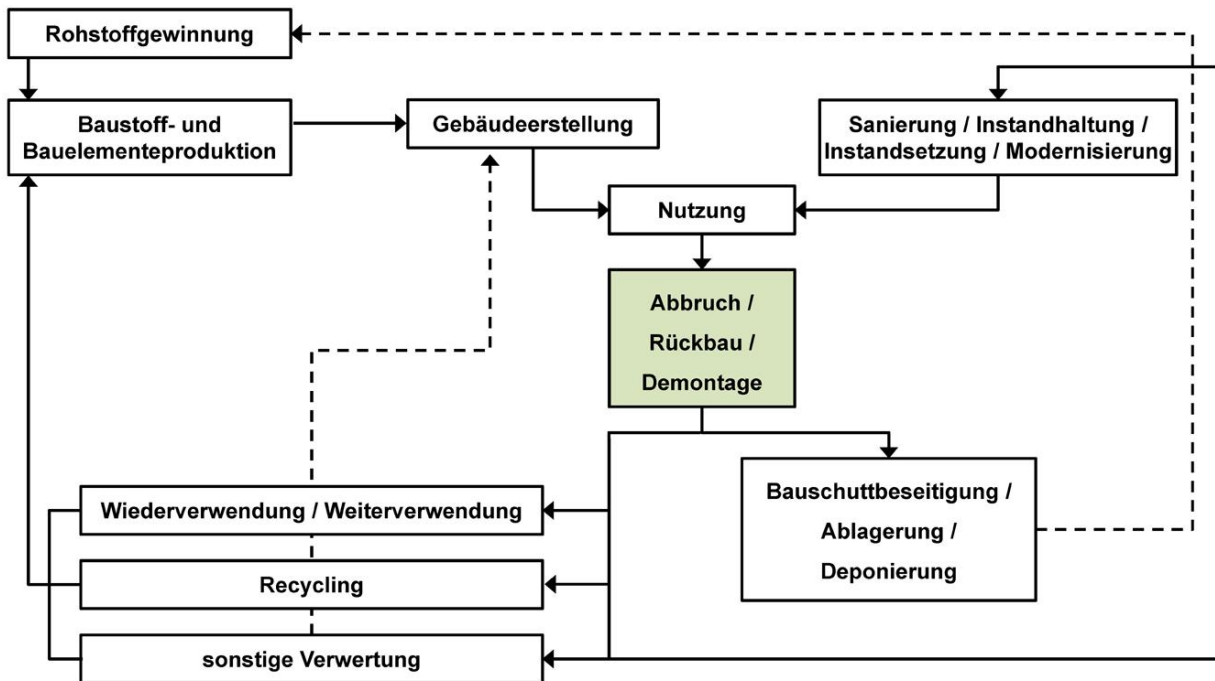
Landesamt für Bauen und Verkehr des Landes Brandenburg (2012): Merkblatt Fertigteile-Wiederverwendung von Fertigteilen aus Beton-, Stahl- und Spannbeton. Fassung vom 24.08.2012. LBV Dezernat 35. Bautechnisches Prüfamtt Cottbus (Hrsg.).

Richtlinie 2008/98/EG vom 19. November 2008 über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie).

13 Glossar

Nachstehende Abbildung 48 gibt in Anlehnung der in § 6 KrWG vorgegebenen Abfallhierarchie und der VDI-Richtlinie 2243 eine Übersicht zu den in der Studie verwendeten Begriffen.⁷⁰

Abbildung 48: Lebenszyklus eines Baustoffs/Bauelements



[Mettke]

Recycling

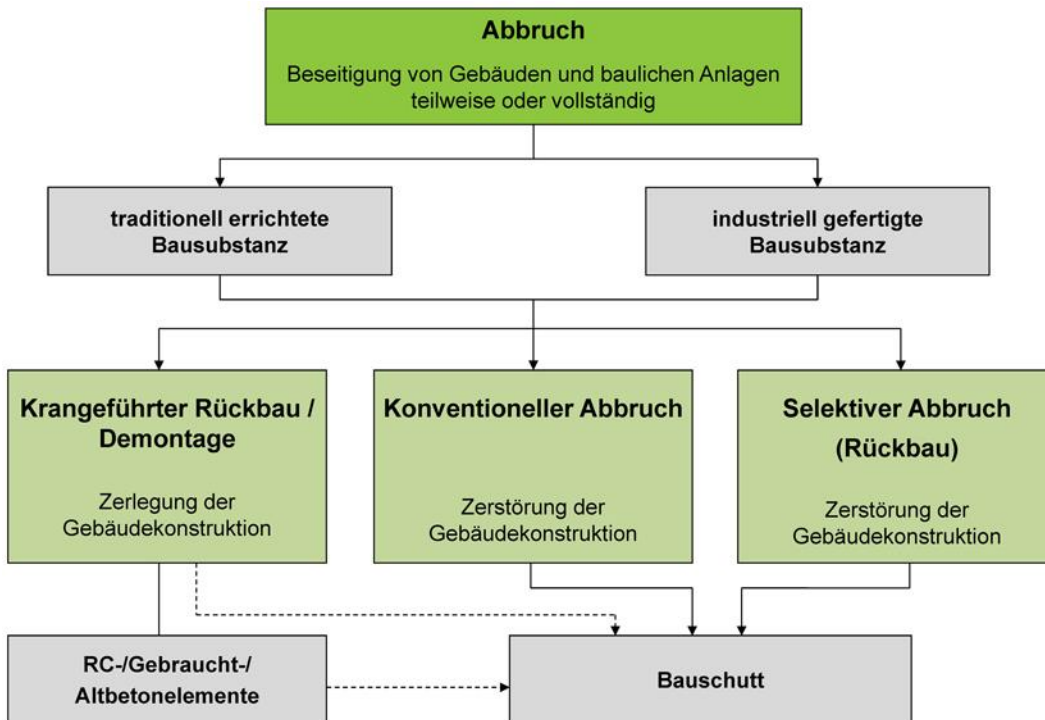
„Recycling ist das Rückführen von Produkten und Stoffen in einen dem natürlichen Prozess ähnelnden Kreislauf mit dem Ziel, Sekundärwerkstoffe, -materialien und -produkte erneut zu verwerten und/oder zu verwenden.“ [Mettke, 2003b]

Rückbau/Demontage

Der Rückbau ist eine besondere Form des Abbruchs. Unterschieden wird in: klassischer Abbruch, Rückbau bzw. Demontage. [Mettke, 2009a]

⁷⁰ Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) vom 24. Februar 2012; VDI 2243:2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung.

Abbildung 49: Zuordnung der Begriffe am Beispiel industriell errichteter Betonbauten



[Mettke]

Während der klassische oder konventionelle Abbruch eine Zerstörung der Bausubstanz zur Folge hat mit i.d.R. heterogen zusammengesetztem Bauschutt, beinhaltet der Rückbau in Demontagestufen die Getrennthaltung sowie eine mögliche Verbesserung der Recyclingfähigkeit der verschiedenen Baumaterialien und im Fertigteilbau außerdem die Zerlegung des Gebäudes oder seiner Teile (Separierung Bauelemente). Zudem kann eine Senkung der Entsorgungskosten erreicht werden.

Die Entrümpelung der Gebäude und der Ausbau schadstoffhaltiger Baumaterialien finden vor dem Abbruch oder Rückbau/Demontage der Gebäuderohkonstruktion statt.

Beim Rückbau werden auch die verschiedenen unbelasteten/nicht gefährlichen Baumaterialien getrennt gehalten. Ziel ist, eine höchstmögliche Sortenreinheit in Vorbereitung der Verwertung zu erwirken.

Ein behutsamer, selektiver, systematischer, kontrollierter oder geordneter Rückbau entspricht der Definition der Demontage.⁷¹

In der DIN 18007:2000-05⁷² werden die Begriffsbestimmungen verschiedener Abbruchverfahren geregelt, um Auftraggeber, ausschreibende Stellen und sonstige mit Abbruch befasste Fachleute bei der Vorbereitung und Durchführung von Abbruch-/Rückbaumaßnahmen zu unterstützen.

Auf dieser Grundlage wird das Demontieren wie folgt definiert: “Zerstörungsfreier Rückbau von Bauteilen durch Lösen der Verbindungen und Abheben der Bauteile“.

⁷¹ Mettke, 2003: Plattenumbauten. Wieder- und Weiterverwendungen, S. 2.

⁷² DIN 18007:2000-05 Abbrucharbeiten - Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche.

(Re)Montage

Die (Re)Montage entspricht dem wiederholten Vorgang der Montage und beinhaltet das erneute Zusammenfügen von gebrauchten, wiederverwendungsfähigen Bau-/resp. Betonelementen mit oder ohne Aufarbeitung zu Bauwerksteilen, Bauwerken und baulichen Anlagen. Eine Kombination mit neuen Bauelementen und/oder monolithischen Konstruktionen sowie anderen Werkstoffen ist möglich. [Mettke; Cynthia, 1999]

Wiederverwendung (Produktrecycling/Up-Cycling)

„[...] ist der wiederholte Gebrauch eines Produktes für den gleichen oder ähnlichen Verwendungszweck, für den es ursprünglich hergestellt wurde. So handelt es sich um eine Wiederverwendung, wenn Bauelemente durch schonende Demontage (bauelementeorientierter Rückbau) zurückgewonnen werden, um sie entweder in der bestehenden oder in veränderter Form/ Geometrie wiederholt einzusetzen. [ebenda]

Weiterverwendung (Produktrecycling)

[...] ist die Verwendung von gebrauchten Bauteilen für einen anderen (sekundären) Verwendungszweck, z.B. rückgebaute Plattenbauteile aus dem Wohnungsbau werden zur Herstellung einer Lärmschutzwand, zur Böschungssicherung, im Wegebau, als verlorene Schalung usw. verwendet [Mettke, 2003b].

Recycling (Material- bzw. Stoffrecycling/Wiederverwertung)

Unter Zugrundelegung der VDI-Richtlinie 2243⁷³ ist Recycling die „erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten sowie Werkstoffen in Form von Kreisläufen“. D.h., „Recycling bedeutet die Rückführung von Abfällen und Reststoffen in den Produktionskreislauf resp. die Rückgewinnung von Rohstoffen und ihre Weiterverarbeitung zu neuen Produkten“. ⁷⁴ Darunter fällt u.a. die Aufbereitung von Bauschutt zu RC-Material.

⁷³ VDI 2243:2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung. S. 35.

⁷⁴ <http://www.recyclingmagazin.de>, aufgerufen am 12.06.2013

14 Anlagen

14.1 Beispiele für Wieder-/Weiterverwendungsmaßnahmen unter Verwendung gebrauchter Betonbauteile⁷⁵

Maßnahme		Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
Hausbau		Doppelhaus Eggesin	1999 Domizil Bauregie GmbH, Greifswald	WBS 70, IW 64, Eggesin	ca. 2 km	16 Wandelemente	DH je WE: 172,90 m²/Wfl.	(Re)Montage Rohbau: 284 €/m² Wfl.
		Zweifamilienhaus Bröthen	2001 Bauingenieurbüro Haidan, Wittichenau	P2, Hoyerswerda	ca. 6 km	26 Wandelemente, 50 Deckenplatten	Wfl.: 274,2 m² (137,1 m² je WE)	1.279 €/m² Wfl. (schlüsselfertig)
		Stadt villen Cottbus	2000/2001 Architekturbüro Zimmermann und Partner, Cottbus	P2, Cottbus	Demontageort = (Re)Montageort	274 Betonfertigteile	1.050 m² (13 WE)	(Re)Montage Rohbau: 84 €/m² Wfl.; 1.149 €/m² Wfl. schlüsselfertig
		Einfamilienhaus Mehrow	2005 CONCLUS Architekten, Berlin	WBS 70, Berlin-Marzahn	ca. 17 km	22 Wandelemente, 27 Deckenplatten	Wfl.: 212 m² (2 Etagen)	840 €/m² Wfl. (kalkuliert, schlüsselfertig)
		Einfamilienhaus Werneuchen	2005 - 2009 MWM objects freie Arch., Dipl.-Ing. (FH) David Seidl, Erfurt	WBS 70, Berlin-Marzahn	ca. 15 km	2 Außenwände, 7 Innenwände, 6 Deckenplatten, 3 Dachkassettensplatten	Wfl.: 145 m² (2 Etagen)	(Re)Montage Rohbau: ca. 33.000 € (kalkuliert); Ausbau in Eigenregie
		Einfamilienhaus Plauen	2006 Prof. Dr.-Ing. habil. W.R. Eisentraut, Berlin	IW 73, Plauen	ca. 2 km	17 Wandelemente, 15 Deckenplatten, 1 Treppenelement	Wfl.: 122 m²; GNF: 160 m²	~1.043 €/m² Wfl. (schlüsselfertig)
		Einfamilienhaus Leinefelde	2006 AG wbk 21, MWM objects freie Arch., Dipl.-Ing. (FH) David Seidl, Erfurt	WBR Erfurt 82, Leinefelde	ca. 0,5 km	19 Wandelemente, 26 Deckenplatten	Wfl.: 106 m²	Rohbau: 50.000 €; 472 €/m² Wfl.
		Mehrfamilienhaus Mühlhausen	2007 AG wbk 21, Seidl+Lahn-Architekten, Falkensee; Arch.büro Hose, Mühlhausen	WBS 70, Leinefelde	ca. 28 km	28 Wandelemente, 23 Deckenplatten, Treppenelemente	Wfl.: 248 m² (2 Etagen)	(Re)Montage Rohbau: 452 €/m² Wfl.

⁷⁵ Zusammenstellung Wieder- und Weiterverwendungsprojekte für Betonelemente, welche überwiegend durch die Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus im Zuge der Forschungstätigkeit wissenschaftlich begleitet bzw. erfasst und z.T. in Forschungsberichten veröffentlicht wurden.

Maßnahme		Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
		Einfamilien-haussiedlung Brielow	2007 Projektent-wicklung Mischer und Projekt-team GmbH, Brandenburg	WBS 70, Berlin-Marzahn	ca. 100 km	Innenwände (geschnitten), Decken-elemente	Wfl.: 98 m² (einge-sch.); Wfl.: 177 m² (zwei-gesch.)	ab 59.000 €, Ausbauhaus; ~ 620 €/m² Wfl. (855 €/m² Wfl. schlüsselfertig)
Mehrzweckbauten		Trauerhalle Mellingen	2004/2005 iff Weimar	WBR 80-E, Leinefelde	ca. 125 km	8 Giebelwände	GF: 68,45 m²	ca. 30 % Kosten-einsparung im Rohbau
		Garage Mellingen	2004/2005 iff Weimar	WBR 80-E, Leinefelde	ca. 125 km	6 Außenwände, davon 1 AW geschnitten, 4 Decken-platten	Versuchsbau (Witterung, Feuch-tigkeit, Temperatur, Belüftung)	
		Carports Walters-hausen	2006/2007 Planungs-gruppe Mitte GmbH (PGM, Dipl.-Ing. Arch. Norbert Sprinz.), Gotha	WBR 80-E, Serie 6,3 t, Walters-hausen	Demontageort = (Re)Montage-ort	21 Innenwände, 16 Decken-platten	16 Stellplätze	je Stellplatz: ca. 2.400 €
		Garage Weißwasser	2007 Dr. Rudolf Schmiede-hausen, Cottbus; Fa. Wolff Weiß-wasser	P2, 11-gesch., Weißwasser	ca. 3 km	5 Außenwände, 8 Decken-platten, davon 4 Decken-platten als Bodenplatte	BGF: ca. 43 m² (Re)Montagezeit: ca. 3 h; Dach als Satteldach ausgebildet, 3 Stellplätze	Fundament- und Krankkosten: 800 € (Ausbau in Eigenleistung)
		Fahrradgara-gen (modular)	2011/2012 WBG Weißwasser mbH	P2, 5.gesch., Weißwasser	Demontageort = (Re)Montageor t	28 Innenwände, 16 Deckenplatten, Profilbleche	4 modulare Baukör-per, BGF: 22 m², 43 m² und 64 m²	k.A.
		Vereinshaus VFC Plauen e.V.	2006/2007 Bauplanung Plauen GmbH	IW 73/6, Plauen	ca. 7 km	49 Außenwände, 14 Innenwände, 11 Kellerwände, 145 Deckenplat-ten	BGF: 400 m²	ca. 600.000 €
		Vereinshaus Fußballverein 1911 Gröditz e.V.	2007-2009 Architekturbüro Markus Uhl, Berlin	WBS 70 Typ Dresden, Gröditz; Schultyp 2MP, Typ Dresden, Gröditz	ca. 2,5 km	13 Außenwände, 25 Innenwände, 35 Deckenplat-ten; 46 Decken-platten	BGF: 1.090 m²	Rohbau: ca. 300.000 € schlüsselfertig: 850 €/m²
		Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V.	2008/2009 Ingenieurbüro P. Jähne, Cottbus	P2, 8- und 11-gesch., Cottbus	ca. 10 km	20 Außenwände, 20 Innenwände, 40 Decken-platten	BGF: 463 m² (NF: 410 m²)	470.000 € schlüsselfertig: 1.020 €/m²

Maßnahme		Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
		Versuchs-gebäude / Lehrbaustelle, Tempelhofer Feld, Berlin	2010/2011 Zukunftsgeräusche GbR, Berlin A. Fischer, R. Huber BBSR, Claus Asam	Typ PH 12 Frankfurt/Oder, Bungalows, Olympisches Dorf, München	k.A.	Außenwände, Innenwände, Deckenplatten, Attikaelemente, Treppenelemente	Brutto-Raumvolumen: 238 m ³	k.A.
Umweltbauten		Versuchs-deichkörper Tagebau Welzow Süd	2006-2008 BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling	WBS 70, Dresden	ca. 90 km	21 Deckenplatten (geschnitten)	Grundfläche Deich: 40 x 40 m	Kosteneinsparung je lfd. Meter:
							Verwendung für:	
							Oberflächen-,	ca. 220 €
							Innendichtung,	ca. 110 €
Freiraum- und Landschaftsbauten		Freitanzfläche Sportverein Wacker 09 e.V. Cottbus-Ströbitz	2003 BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling; Ingenieurbüro Jähne & Göpfert GmbH, Cottbus	P2, Cottbus	ca. 8 km	10 Deckenplatten	GF: 100 m ² (10 x 10 m)	
		Freizeit- und Jugendpark Gröditz	2005-2008 Schwarz & Partner, Landschaftsarchitekten, Berlin	Schultyp 2MP, Typ Dresden, Gröditz	Demontageort = (Re)Montageort	11 Außenwandblöcke, 11 Sockelplatten, 44 Innenwandblöcke, 9 Innenwandrahmen, 42 Deckenplatten	Gesamtfläche: ca. 16.000 m ²	
		Freiflächen-gestaltung Kindergarten „Sonnen-schein“ Leinefelde	2006/2007 Dipl.-Ing. Ottmar Stadermann, Hausen, in Zusammenarbeit mit dem Kunstverein	WBR Erfurt, Leinefelde	Demontageort = (Re)Montageort	diverse Innenwände		
		Jugend- und Freizeitpark Leinefelde	2002 Büro für Landschaftsplanung birkigt-quentin, Adelebsen	Leinefelde	Demontageort = (Re)Montageort	Deckenplatten, z.T. geschnitten	als Begrenzungselemente, Treppenelemente u. ä.	
		Kletterfelsen und Boulderwände Freie Waldorfschule Cottbus	2003 Brand-Rock Felsenbau	P2, Cottbus	Demontageort = (Re)Montageort	Balkondeckenplatten		

Maßnahme		Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
		Kletterfelsen für Sportklet-terer Leipzig-Grünau	2002 Architekturbüro Skiri+Heinrich, Stollberg	Leipzig-Grünau	Demontageort = (Re)Montage-ort	Loggia-brüstungs-platten, Decken-platten		260.000 €

14.2 Stahlbauteile/-erzeugnisse im Bauwesen (relevante Auswahl)⁷⁶

Einteilung/Kategorien für Stahlbauteile/-erzeugnisse im Bauwesen			
	Bezeichnung	Verwendung (Beispiele)	Normenverweis
Langerzeugnisse (warm- und kaltgewalzte Profile, geschweißte Profile, Kaltprofile, Hohlprofile, Rundstähle, Vierkantstähle, Flachstähle)			
I-Profile	Breite und mittelbreite I-Träger mit parallelen Flanschen	Biegeträger, Rahmenriegel und Rahmenstützen im Hallenbau, Druckstäbe, Stützen im Geschoss- und Hallenbau,	DIN 1025-1 bis -5, EN 10024, EN 10034, EURONORM 19 und 54
H-Profile	H-Träger mit breiten Flanschen	Fachwerkbinder Dachpfetten, Deckenträger, Unterzüge	EN 10034, EURONORM 53 und 54
U-Profile	Rundkantiger U-Stahl mit geneigten, inneren (konischen) Flanschflächen	leichte Biegeträger, leichte Zug- und Druckstäbe, Wandriegel, Fachwerkstäbe	DIN 1026-1 und -2, EN 10279, EURONORM 54
	Scharfkantiger U-Stahl mit parallelen Flanschflächen		
Fundament-profile	I- und H-Querschnitte (Steg u. Flansch gleiche Dicke)		EN 10034
Winkel-, Rund- und Flachstahl	Winkelstahl/Winkelprofil (L-Querschnitt)	Verbandsdiagonalen, Fachwerkfüllstäbe, Anschlusswinkel	EN 10056-1
	Gleichschenklige T-Profile		EN 10055
	Rundstahl/ Rundstäbe	Zugstäbe, Verbandsdiagonalen, Zugglieder für Abspannungen	DIN 10060
	Vierkantstäbe, Sechskantstäbe, Achtekantstäbe		EN 10059, EN 10061
	Flachstahl/ Flachstäbe	Laschen und Knotenbleche, Futterbleche, Zugstäbe, Verbandsdiagonalen, Gurte von Biegeträgern	EN 10058, EN 10092-1 und -2
Kaltprofile	warm- oder kaltgewalzte Flacherzeugnisse (Kaltumformverfahren, z.B. Walzprofilieren Abkanten, Pressen) L-, U-, C-, Z- oder Ω -Querschnitt	kaltgeformte Spundbohlen, Leitplanken, Stahlhochbauprofile für Gebäude, Türrahmenprofile, Decken- und Dachkonstruktionen (Stahlleichtbauweise), Schalungsträger	EN 10162
Hohlprofile	Rohre (offene Langerzeugnisse)		EN 10220, EN ISO 1127
	Nahtlose Rohre (durch Lochen eines Vollstückes zu einem rohrförmigen Körper geformt und anschließende Warm- oder Kaltumformung auf Fertigmaß)	Zug- und Druckstäbe, Fachwerkbinder, Verbandspfeiler, Stützen im Geschossbau	EN 10210-2, EN 39, EN 10208-1 und -2, EN 10216-1 bis -5, EN 10224, EN 10255, EN 10297-1 und -2, EN 10305-1 und -4
	Geschweißte Rohre (durch Einformen eines Flacherzeugnisses zu offenem Profil, anschließendes Verschweißen der Kanten, durch Warm- oder Kaltumformung auf Fertigmaße, Schweißnaht verlaufen längs oder spiralförmig)		EN 10208-1 und -2, EN 10217-1 bis -7, EN 10219-2, EN 10224, EN 10255, EN 10296-1 und -2, EN 10305-2, -3 und -5, EN 10305-6, EN 10312
	Quadratprofile (warm-/kaltgefertigt)	Zug- und Druckstäbe, Fachwerkbinder, Wandriegel, Stützen im Geschossbau	DIN EN 10210-2, DIN EN 10219-2

⁷⁶ Kindmann/Krahwinkel: Stahl- und Verbundkonstruktionen. B.G. Teubner Stuttgart 1999. S. 12-21 ergänzt um Angaben der DIN EN 10079:2007-06 sowie um eigene Angaben.

Einteilung/Kategorien für Stahlbauteile/-erzeugnisse im Bauwesen			
	Rechteckhohlprofile (warm- /kaltgefertigt)	Zug- und Druckstäbe mit zusätzlicher Biegung, Fachwerkbinder, Stützen im Geschossbau	
Gussstücke	Grauguss (GG – Gußeisen mit Lamellen-graphit) und Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG)	Stützen, Sonderelemente etc.	o.A.
Gleisoberbau- erzeugnisse	Stahlprofile	Eisenbahnbau/Gleisoberbau, Anlagen	o.A.
Spundwand- erzeugnisse	Spundbohlen U- und Z-Bohlen, Flachprofile, Konstruktionsbohlen, Kastenpfahl (aus U- und Z-Bohlen und Stahlblechen), Wände (H-Profile, Z-Bohle, Rohr- und Kastenpfähle), kaltgeformte Spundbohlen, Eckprofile	Herstellung von Spundwänden	EN 10248-2, EN 10249-2
	Kastenpfähle (aus Stahlelemente zusammengesetzter Pfahl)		o.A.
	Rohrpfahl		EN 10210-2, EN 10219-2
Grubenausbau- profile	I-, H-, U- bzw. Ω -Querschnitt	Grubenausbau	o.A.
Flacherzeugnisse (Breitflachstähle, Bleche, Bandstähle)			
Breitflachstähle und Bleche	Breitflachstahl (warmgewalzt)	Stirn- und Fußplatten, Rippen und Steifen, Laschen und Knotenbleche, Futterbleche, Gurte von Biegeträgern	DIN 59200, EURONORM 91
	Blech (Blechtefeln) (warm- /kaltgewalzt) Grobblech Dicke ≥ 3 mm, Feinblech Dicke < 3 mm	Schwere geschweißte Konstruktionen, Geschweißte, hohe I-Träger und Rahmen, geschweißte Kastenstützen und -träger, Brückenbau Riffel-, Raupen-, Tränenbleche (Belag- und Stufenbleche)	EN 10029 EN 10131
	profiliertes Blech	Trapezbleche, Wellblech für Verkleidungen, Böden, Dächer, geripptes Blech, Verbundprofile	nicht genormt (jedoch allgem. bauaufsichtl. zugelassen)
	Band (warm- /kaltgewalzt)	Verbindungselemente, Schellen etc.	EN 10051, EN 10048, EN 10131, EN 10140