

Steigerung und Verbesserung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen im Land Brandenburg

gefördert durch Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) Land Brandenburg

in Kooperation mit uve GmbH für Managementberatung, Berlin

- Einleitung die Situation: übergeordnete rechtliche und politische Instrumente, Rohstoffabbau
- Ressourcennutzung im Bauwesen – Bauabfälle als Rohstoffquelle:
 - Aufkommen an und Verbleib von Bauabfällen,
 - Anwendungsbereiche für RC-Baustoffe / RC-Gesteinskörnungen
- Ausgewählte Verwertungsregelungen
- Herausforderung: Steigerung der Ressourceneffizienz durch hochwertige Verwertung von RC-Baustoffen / RC-Gesteinskörnungen – eigene Forschungsaktivitäten
- Diskussion Problemfelder hochwertige Verwertung

➤ Übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen (Auswahl)

- **Europäische Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG definiert Anforderungen für europäische Mitgliedsstaaten zum Umgang mit Abfällen u.a. Bauabfällen**

➔ Umsetzung EU-ARRL (2008/98/EG) in nationales Recht am 01.06.2012 durch KrWG „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen“

Ziele:

- substantielle Steigerung der Vermeidung und Verwertung von Abfällen in der EU

Maßgebendes Ziel: Verstärkung **hochwertige Verwertung** im Sinne besserer Ressourceneffizienz

- wesentliche Verbesserung des Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutzes bei der Entsorgung



- Schaffung einer Recycling-Gesellschaft
- Reduzierung der Abfallmengen und Erhöhung der Recyclingquoten
- Klarheit und Vereinfachung in der Rechtssetzung

▪ **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)** (Auszug)

Einführung fünfstellige **Abfallhierarchie** Prioritätenreihenfolge (Abschnitt 1, § 6)

- **Abfallvermeidung** Produktverantwortung, Abfallvermeidungsprogramme
 - **Wiederverwendung** Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, Einsatz entsprechend dem ursprünglichen Verwendungszweck
 - **Recycling** Aufbereitung und stoffliche Verwertung
 - Vorgaben für Getrennthaltungspflichten (Einführung getrennte Sammlung von zumindest Papier, Metall, Kunststoff, Glas bis 2015) und **Recyclingquoten bis 2020**
 - für **Bau- und Abbruchabfälle 70 Gew.-%**
 - für Papier, Metall, Kunststoff, Glas 50 Gew.-%
 - **Sonstige Verwertung** energetische
 - **Beseitigung**

... „Der **effiziente Umgang** mit immer knapper werdenden **Ressourcen** ist eine **Schlüsselkompetenz** im globalen Wettbewerb der Volkswirtschaften.“ ...

[BMU-Pressedienst NR. 011/12, Berlin 09.02.2012]

▪ Europäische Bauprodukten – Verordnung (BauPVo)

- Neue EU-BauPVo, Verordnung EU 305/2011 vom 9. März 2011 (Ablösung der bis dahin gültigen Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG); BauPVo ab 1. Juli 2013 in allen Mitgliedsstaaten verbindlich

- Ziele:

Präzisierung der Regelungen für die Vermarktung von Bauprodukten in Europa, um mehr Rechtsverbindlichkeit, Transparenz und Effizienz zu erreichen und gleiche Standards in allen europäischen Ländern zu gewährleisten

Festlegung nach Anhang 1 Grundanforderungen an Bauwerken , unter 7.
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.“

▪ Politik der Bundesregierung

• Nationale Nachhaltigkeitstrategie 2002

„Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994“;
quantifizierten Zielvorgaben

Ist: Rohstoffproduktivität erhöhte sich zwischen 1994 und 2010 um 47,5 %;
bei diesem Tempo der Erhöhung der letzten 5 Jahre wird das Ziel 2020 nur um rd. 82 %
erreicht werden, [Indikatorenbericht 2012, Nachhaltige Entwicklung Deutschland, S. 8 f.]

• Deutsche Rohstoffstrategie 2010

Ziel: Sichere und nachhaltige Versorgung der deutschen Wirtschaft mit
mineralischen Rohstoffen [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, www.bmwi.de]

→ Recycling:

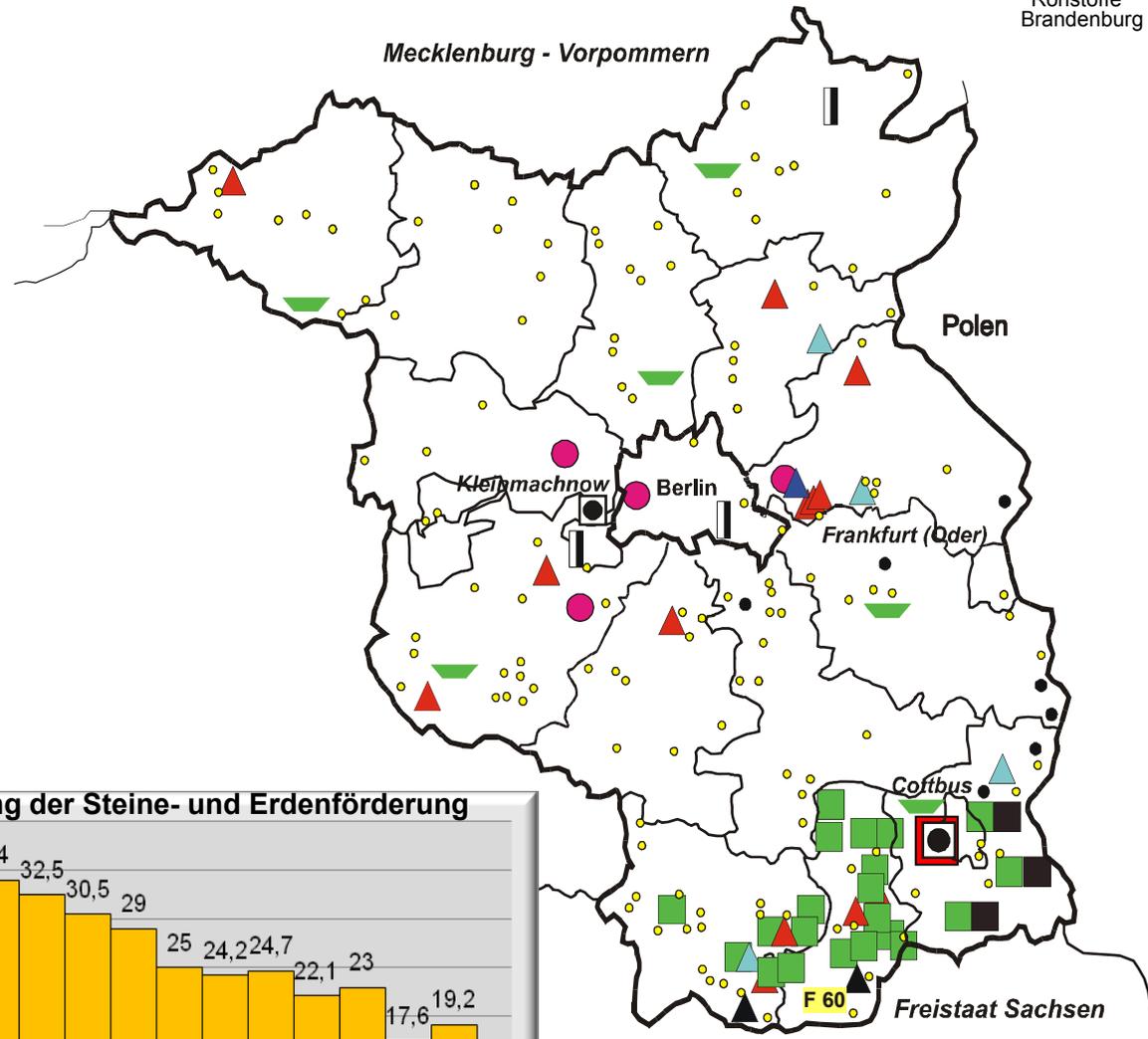
- Rückführung der in Abfällen enthaltenen sekundären Rohstoffe
in den Wertstoffkreislauf = ein wichtiger Baustein nachhaltiger
Ressourcenwirtschaft
- „urban mining“ als Rohstoffquelle, z.B. 10,5 Mrd. t mineralische
Baurohstoffe und 100 Mio. t. Metalle im Wohnbestand (2000)

• Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) 2012

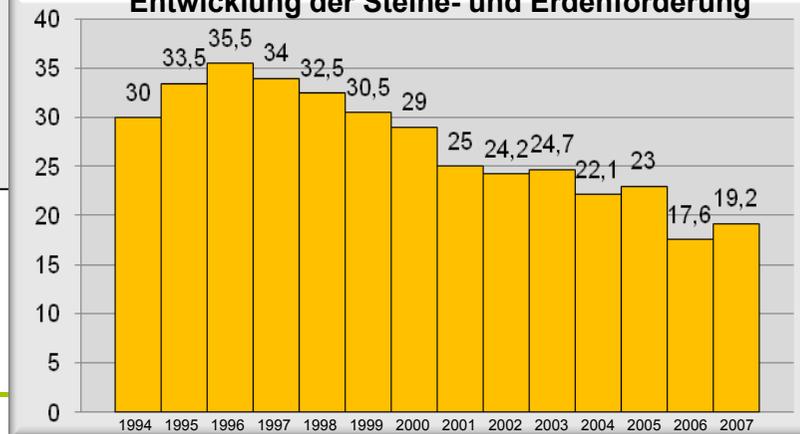
- Schwerpunkt: effizienter Umgang mit Rohstoffen
- Handlungsansätze entlang der Wertschöpfungskette:
Rohstoffversorgung sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion steigern,
Ressourceneffizienz Kreislaufwirtschaft ausbauen

Legende:

-  LBGR - Hauptsitz, Cottbus
-  LBGR - Außenstelle, Kleinmachnow
-  Braunkohle, aktiver Bergbau
-  Sanierungsbetrieb
-  Kies, Sand, Quarz, Quarzsand
-  Torf
-  Kalk
-  Hartgestein
-  Ton
-  Erdöl-/Erdgasfelder
-  Untergrundspeicher
-  Geothermie
-  Solebad
-  Besucherbergwerk

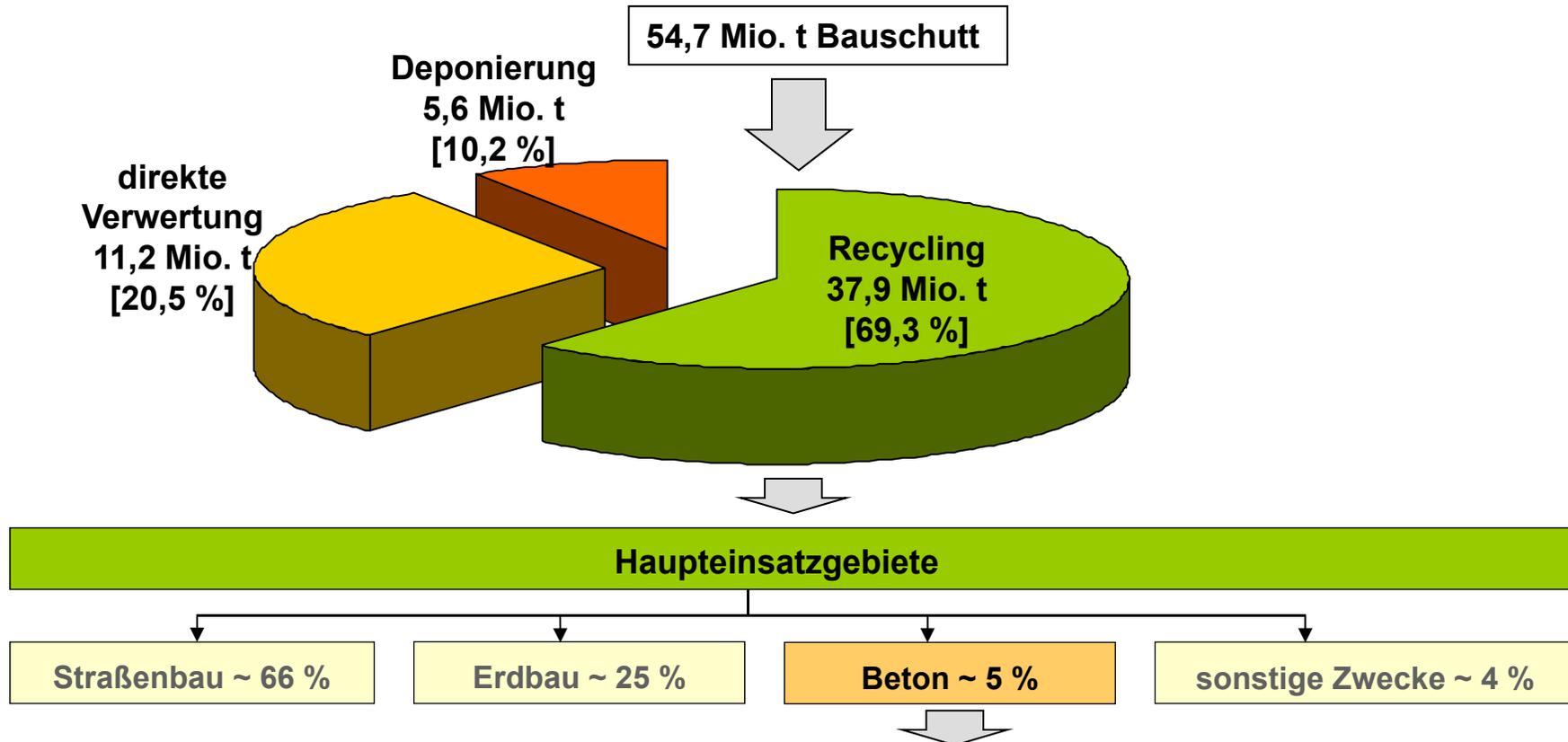


Entwicklung der Steine- und Erdenförderung



Aufkommen des Bauschutts und Haupteinsatzgebiete rezyklierter Gesteinskörnungen

Verwertungs- und Recyclingquoten Bauschutt – 10-Jahresdurchschnitt**

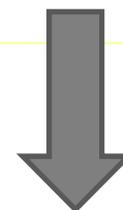
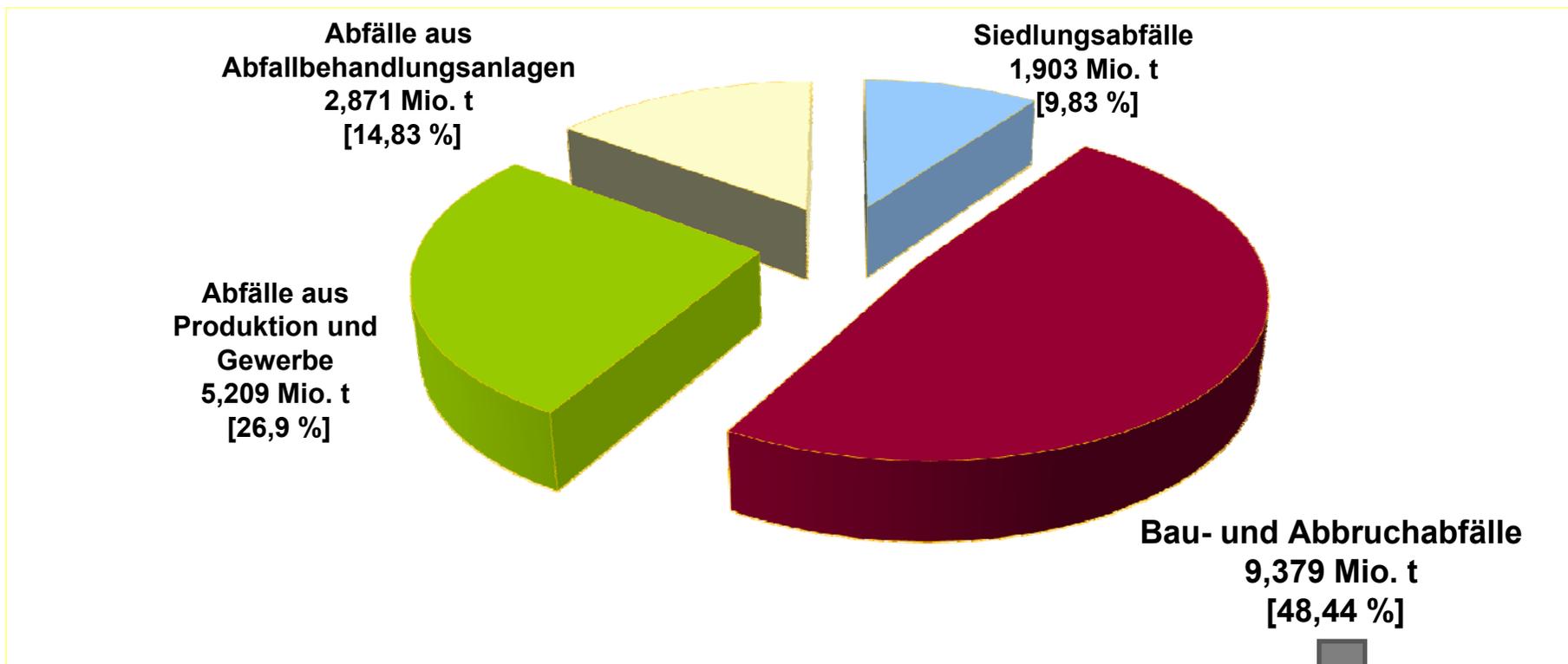


Betonbau (DIN 1045-2 / DIN EN 206-1)

- Gesteinskörnung für Beton DIN EN 12620 (unbewehrter Beton, wu-Beton, Innen-/Außenbauteile)
- Rückenstützbeton (Bordsteine)
- Sauberkeitsschichten
- RC-Betone für Wege-, Garten- u. Landschaftsbau (Sichtbeton)
- Wandbausteine [nach Schulz, I.: Vortrag Münster, 2007]

Umwelt – Anfallmengen nach Abfallkategorien 2010

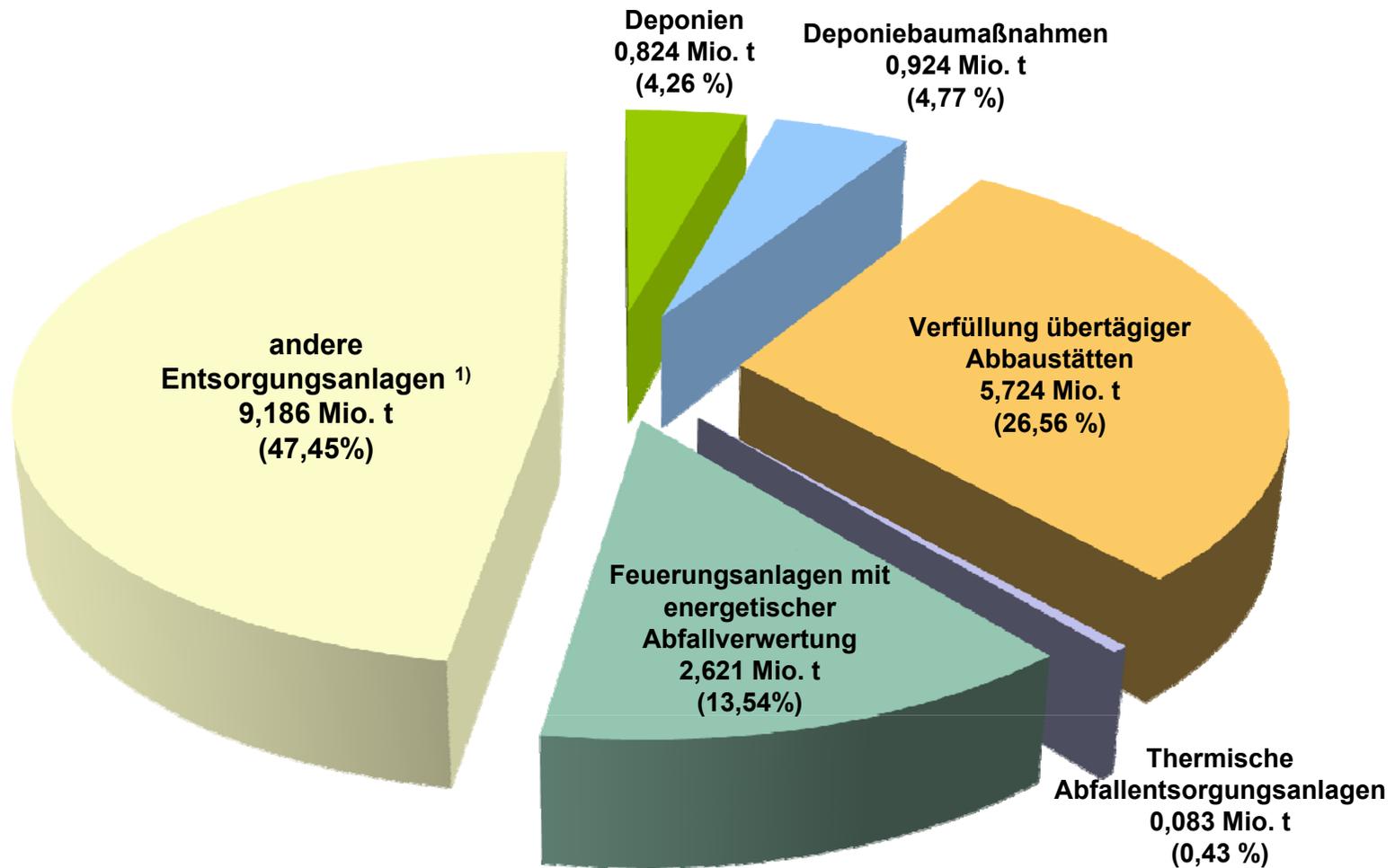
2010 → gesamt in Deutschland: ~ 380 Mio. t davon **gesamt in Brandenburg: ~ 19,361 Mio. t**



darunter 541.000 t (ca. 5,77 %) gefährliche Abfälle

Umwelt – Entsorgung von Abfällen nach Art der Entsorgung 2010

Abfallmengen insgesamt in Brandenburg: ~ 19,4 Mio. t



¹⁾ einschließlich Bauschuttzubereitung, Asphaltmischanlagen, Verfüllungsmaßnahmen Untertage und Bergbauhalden

Beispiele für homogen und heterogen zusammengesetztes Ausgangsmaterial



Selektiv angelieferter und auf der RC-Anlage gelagerter Betonbruch



Heterogen zusammengesetztes Ausgangsmaterial

Abbruch Villa – erzeugter Bauschutt (Aufnahmen 18.06.2013)



Gesprächsrunde mit Bauherren vom 20.06.2013

Einsatzbereiche für mineralische RC-Baustoffe

- überwiegend im **Straßenbau**



- im **Erdbau** (Bauwerkshinterfüllungen, Lärmschutzwälle, Verfüllungen)

- im **Garten- und Landschaftsbau** (z.B. als Vegetationsbaustoff)



- zunehmend zur Herstellung von **Beton** (Betonwerksteine, Beton für konstruktive und nicht konstruktive Bauteile)



Voraussetzungen für jeweilige Anwendung:

Gleichwertigkeit der bautechnischen Eigenschaften zur Primärrohstoffen + Nachweis zur Umweltverträglichkeit (Unbedenklichkeit)

Situation:

Ablagerung auf Deponien oder Verwertung im Erdbau / Straßenbau ...

- Deponien ↓
- Anforderungen an Höchstbelastungen bei Verwertung ↑
in technischen Bauwerken (E EBV)
- Verfüllung von Gruben oder Steinbrüchen wird deutlich eingeschränkt
(s. "Gemeinsamen Erlass des Umweltministeriums und des Wirtschaftsministeriums zur Regelung der Verwertung mineralischer Abfälle im Bergbau" vom 22. September 2008)



Bestehende Verwertungswege müssen ausgebaut werden; neue und hochwertige Verwertungsoptionen sind zu erschließen

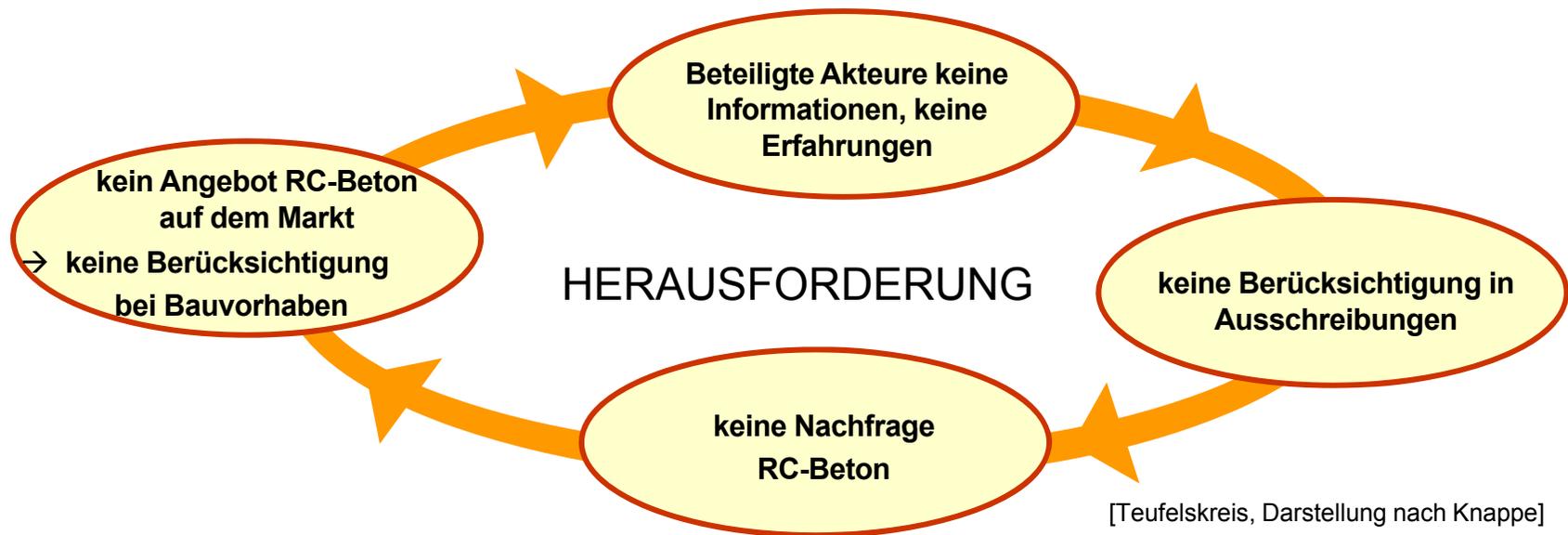
eine Option: **RC-GK –Einsatz zur Herstellung von Beton**
Material aus dem Hochbau in den Hochbau

Hochwertige Verwertung von RC-GK zur Herstellung von Konstruktionsbeton

Status quo: Imageprobleme / Qualitätszweifel / Innovationsskepsis / fehlende Erfahrungen / fehlende Nachfragen ...

trotz

- umfangreicher Forschungsuntersuchungen (BIM, BayForrest, NBB-Projekte ...)
- erfolgreich erprobter Demonstrationsvorhaben
- normativer Grundlagen, DAfStb-Richtlinien



FO-Vorhaben gefördert durch DBU – Zielstellung: Abbau Hemmnisse RC-Beton durch „Leuchtturmprojekt“

AST: Ermittlung Randbedingungen für Einsatz von RC-Beton

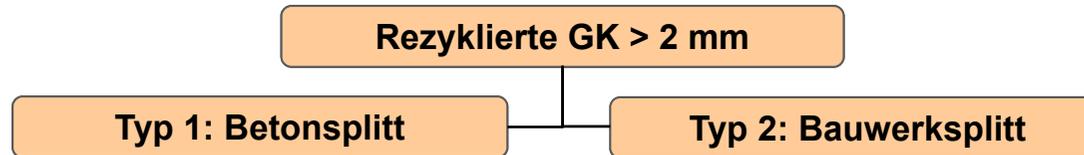
mit Blick
Abfall = Ressource

✓ Regelwerke für RC-GK zur Herstellung von RC-Beton

Europäische Produktnorm / Deutsche Fassung	Mitteltende deutsche Normen und Regelwerke
<p data-bbox="277 373 817 416">Gesteinskörnungen für Beton</p> <p data-bbox="271 459 757 539">EN 12620:2002+A1:2008 (D) DIN EN 12620:2008-07</p> <p data-bbox="271 564 322 592">legt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="277 608 817 778">→ Eigenschaften von GK fest, die durch Aufbereitung natürlicher, industriell hergestellter oder rezyklierter Materialien als Betonzuschlag gewonnen werden <li data-bbox="277 794 703 853">→ QS-System zur WKP und für Konformitätsnachweis fest <li data-bbox="277 869 770 975">→ für alle Betonsorten einschließlich Beton nach EN 206-1 und Straßenbeton, Betonfertigteile <p data-bbox="277 1023 389 1054">Beton</p> <p data-bbox="271 1102 651 1225">EN 206-1:2000-12 DIN EN 206-1:2001-07 +A1:2004 +A2:2005</p> <p data-bbox="327 1241 734 1342">Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="882 373 1554 528">▪ DIN 4226-100:2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen (<i>teilweise ersetzt durch DIN EN 12620:2008-07</i>) <p data-bbox="882 564 1928 592">→ Festlegung spezifischer baustofflicher und umweltverträglicher Anforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="882 639 1711 740">▪ DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Reaktion)“, Teil 3, Ausgabe 2007-02, Ausgabe der Berichtigung: 2010-04 <p data-bbox="931 788 1039 820">Beton</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="882 852 1823 995">▪ 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 <li data-bbox="882 1075 1951 1262">▪ 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>)

Normative Grundlagen

Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung der RC-GK zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2



RC-Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620:2008-07 Abschn. 5.8			
Bestandteile	Beschreibung	Kategorie der Gesteinskörnung Zusammensetzung Massenanteil [%]	
		Typ 1	Typ 2
Rc + Ru	Rc : Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton Ru : ungebundenen Gesteinskörnungen, Naturstein, hydr. geb. GK	Rcu ₉₀ ≥ 90 M.-%	Rcu ₇₀ ≥ 70 M.-%
Rb	Rb : Mauerziegel (d.h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandstein, nicht schwimmender Porenbeton	Rb ₁₀₋ ≤ 10 M.-%	Rb ₃₀₋ ≤ 30 M.-%
Ra	Ra : Bitumenhaltige Materialien	Ra ₁₋ ≤ 1 M.-%	
X + Rg	X : sonst. Materialien: bindige Materialien (d.h. Ton und Boden), verschiedene sonst. Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff und Gummi, Gips Rg : Glas	XRg ₁₋ ≤ 1 M.-%	XRg ₂₋ ≤ 2 M.-%
FL	FL : Schwimmendes Material im Volumen	FL ₂₋ ≤ 2 cm ³ /kg	

Normative Grundlagen

Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung der RC-GK zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 gemäß DIN EN 12620

Restriktionen	Anwendungsbereich		DIN EN 12620	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zulässige Anteile rezyklierter GK > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%) ▪ bis C30/37 ▪ keine Verwendung von rezyklierten GK für Spannbeton und Leichtbeton nach DIN 1045 	Alkali-Rili (Betonkorrosion infolge AKR)	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 Expositionsklassen	Gesteinskörnungstyp 1	Gesteinskörnungstyp 2
	WO (trocken)	Karbonatisierung XC1		
	WF ¹⁾ (feucht)	kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
		Frost ohne Taumittleinwirkung XF 1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand		
		chemischer Widerstand (XA1)	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
¹⁾ zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4) DAfStb-Rili hinsichtlich Nachweis einer unbedenklichen Alkalimpfindlichkeitsklasse				
Regelanforderungen für rezyklierte GK nach DIN EN 12620	Kornrohddichte		≥ 2.000 kg/m ³	
	Schwankungsbreite Kornrohddichte		± 150 kg/m ³	
Wasseraufnahme nach 10'	höchstzulässige Wasseraufnahme nach 10 min		10 M.-%	15 M.-%
chemische Anforderungen	säurelösliches Chlorid		≤ 0,04 M.-%	
	säurelösliches Sulfat		≤ 0,8 M.-%	

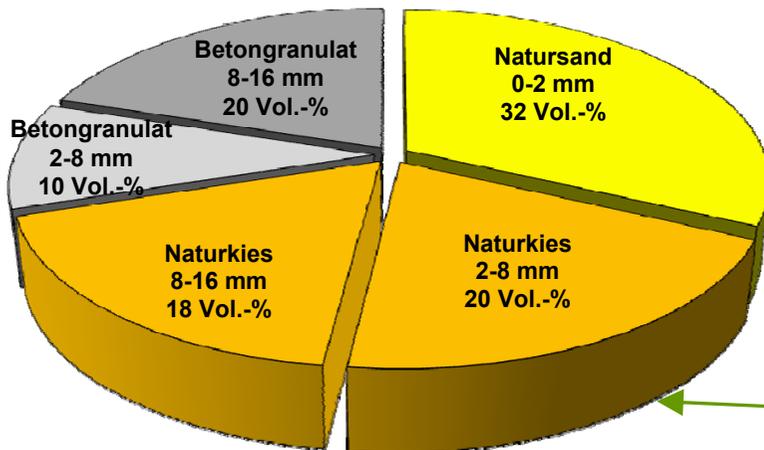
Gesprächsrunde mit Bauherren vom 20.06.2013

Umsetzung Herausforderung: Steigerung der Ressourceneffizienz durch hochwertige Verwertung von RC-Baustoffen / RC-Gesteinskörnungen

RC-Beton im Pilot-/Leuchtturmprojekt – Förderung: DBU



Brandenburgische Technische Universität Cottbus



Betonmenge: ~ 500 m³

C 30/37, XC1, F3

für alle aufgehenden Bauteile über Decke EG

(Wände, Decken, Stützen)

Zusammensetzung C 30/37

Zement 360 kg/m³
CEM II/B-V 42,5 R

Wasser 187 kg/m³

Primärrohstoffe 1.238 kg/m³

Betongranulat 446 kg/m³

Fließmittel (MC Powerflow) 1,8 kg/m³ (0,50 %)

Untersuchungsergebnisse und visueller Vergleich RC-Beton – Normalbeton

(Schnittflächen – im Hintergrund)

RC-GK	RC-Beton
Anforderungen erfüllt	
<ul style="list-style-type: none">▪ Stoffliche Kennzeichnung▪ Kornrohddichte▪ Kornform▪ Wasseraufnahme▪ Kornzusammensetzung (Korngrößenverteilung)▪ Umweltverträglichkeit▪ Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	<ul style="list-style-type: none">▪ Frischbetonkonsistenz▪ Rohddichte Frisch- und Festbeton▪ Druckfestigkeit▪ E-Modul▪ Wasserundurchlässigkeit▪ Schwinden▪ Biegezugfestigkeit▪ Carbonatisierung
Anforderungen nach: EN 12620, DIN 4226-100, DAfStb-Rili „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton“	Anforderungen nach: EN 206-1, DIN 1045-2, DAfStb-Rili „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten GK nach DIN 4226-100“, DAfStb-Rili wu-Beton

b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus

27

RC-Beton C 30/37

Normalbeton C 30/37

Alle Ergebnisse unter www.rc-beton.de

Überblick zu Hochbauprojekten, bei denen RC-Beton eingesetzt wurde (vgl. www.rc-beton.de aufgerufen am 16.11.2012)



Abb. 1: Ludwigshafen / Wohnhaus



Abb. 2: Heilbronn / Büro- und Lagergebäude



Abb. 3: Malsch / Verwaltungsgebäude

Standort/Projekt	Betonmenge	Festigkeitsklasse	Fertigstellung
Ludwigshafen / Wohnhaus (Abb. 1)	500 m ³	C 30/37	2009 / 2010
Heilbronn / Büro- u. Laborgebäude (WTZ) (Abb. 2)	1.250 m ³ (WTZ I) + 1.400 m ³ (WTZ II)	C 8/10, C 25/30 und C 30/37	voraussichtlich Ende 2012
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
LU-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 (Abb. 3)	96 m ³	C 25/30 und C 8/10	2010

0/45 RC-Material – Untersuchungen zum Einsatz in Betonsteinen -

gefördert durch AiF

Beschreibung	Kategorie der GK Zusammensetzung Massenanteil [%]		
	Typ 1	Typ 2	RC-GK 0/45
Rc : Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton Ru: ungebundene GK Naturstein, hydr.geb. GK	Rcu ₉₀ ≥ 90 M.-%	Rcu ₇₀ ≥ 70 M.-%	88,9 M.-%
Rb : MZ (d.h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandstein, nicht schwimmender Porenbeton	Rb ₁₀₋ ≤ 10 M %	Rb ₃₀₋ ≤ 30 M %	5,23 M.-%
Ra : Bitumenhaltige Materialien	Ra ₁₋ ≤ 1 M.-%		5,1 M.-%
X : sonst. Materialien: bindige Materialien (d.h. Ton und Boden), verschiedene sonst. Materialien: Metalle (Fe- und NE- Metalle), nicht schwimmendes Holz, Gummi, Gips und Kunststoff Rg: Glas	XRg ₁₋ ≤ 1 M.-%	XRg ₂₋ ≤ 2 M.-%	0,83 M.-%
FL : Schwimmendes Material im Volumen	FL ₂₋ ≤ 2 cm ³ /kg		



Betonversuche – erste Zwischenergebnisse

Zielfestigkeit C 25/30

Vorversuche	Probe1	Probe 2
eingesetzte Gesteinskörnung	100 M.-% 0/45 RC-Material	62 M.-% 2/32 RC-Material 38 MJ.-% 0/2 nat. Sand
Zement	300 kg/m ³	300 kg/m ³
Ausbreitmaß	440 mm	450 mm
Frischbetonrohddichte	2.141,3 kg/m ³	2.211,9 kg/m ³
Druckfestigkeit nach 7 Tagen	20,2 N/mm ²	~ 25,8 N/mm ²
Probewürfel, gedrückt und geschnitten		

➤ Identifizierung und Konkretisierung Problemfelder

