

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, 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**
- **Ausblick**
- **Diskussion Problemfelder hochwertige Verwertung**

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:

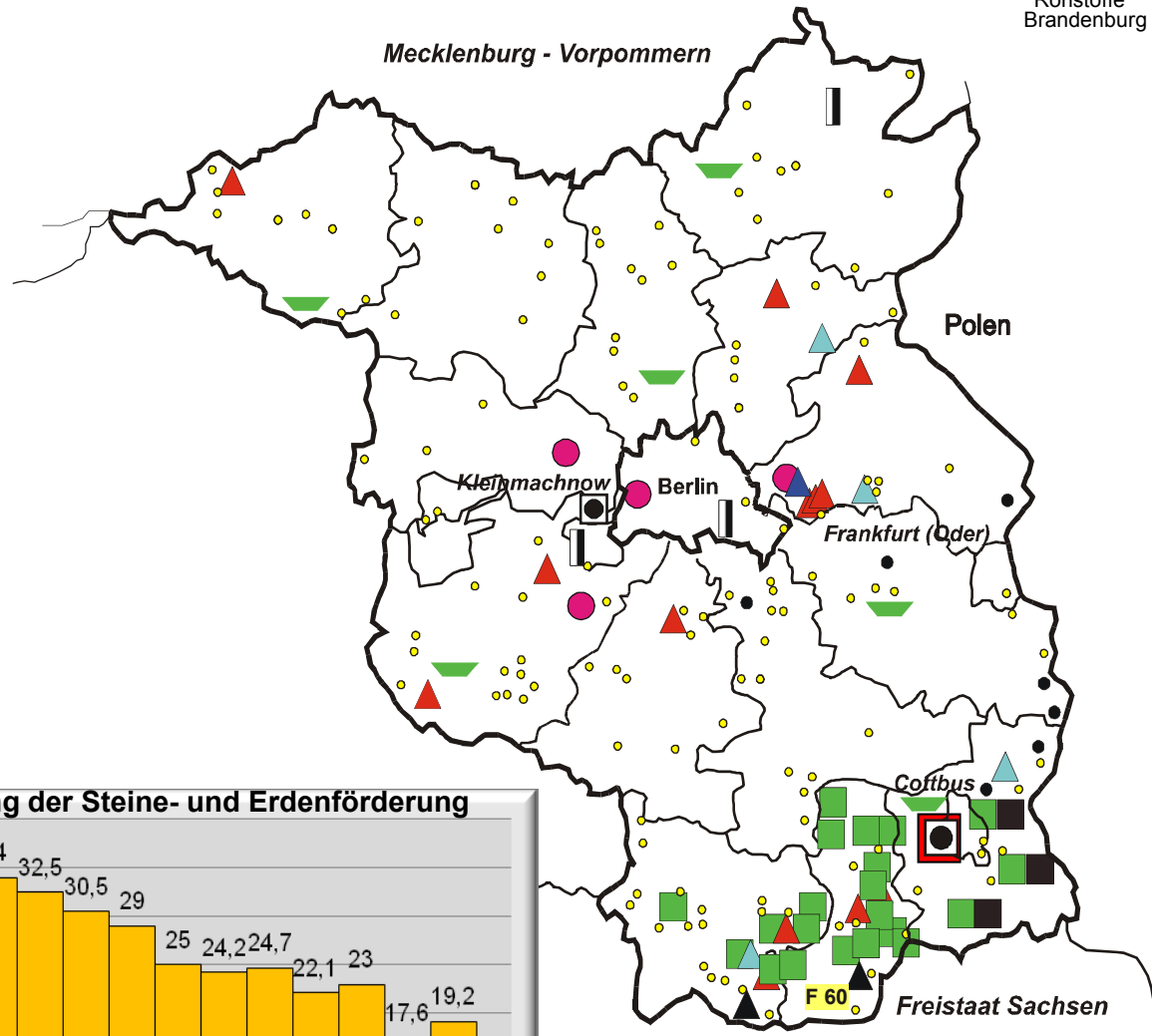
- Rückführung der in Abfällen enthaltenen sekundären Rohstoffe
in den Wertstoffkreislauf = ein wichtiger Baustein nachhaltiger
Ressourcenwirtschaft
- „urban mining“ als Rohstoffquelle, z.B. 10,5 Mrd. t mineralische
Bauabfälle und 100 Mio. t. Metalle im Wohnbestand (2000)

- **Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) 2012**

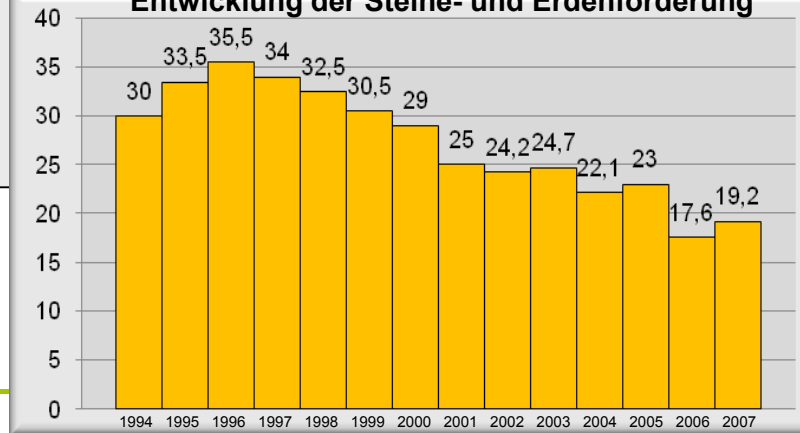
- Schwerpunkt: effizienter Umgang mit Rohstoffen
- Handlungsansätze entlang der Wertschöpfungskette:
Rohstoffversorgung sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion steigern,
Ressourceneffizienz Kreislaufwirtschaft ausbauen

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



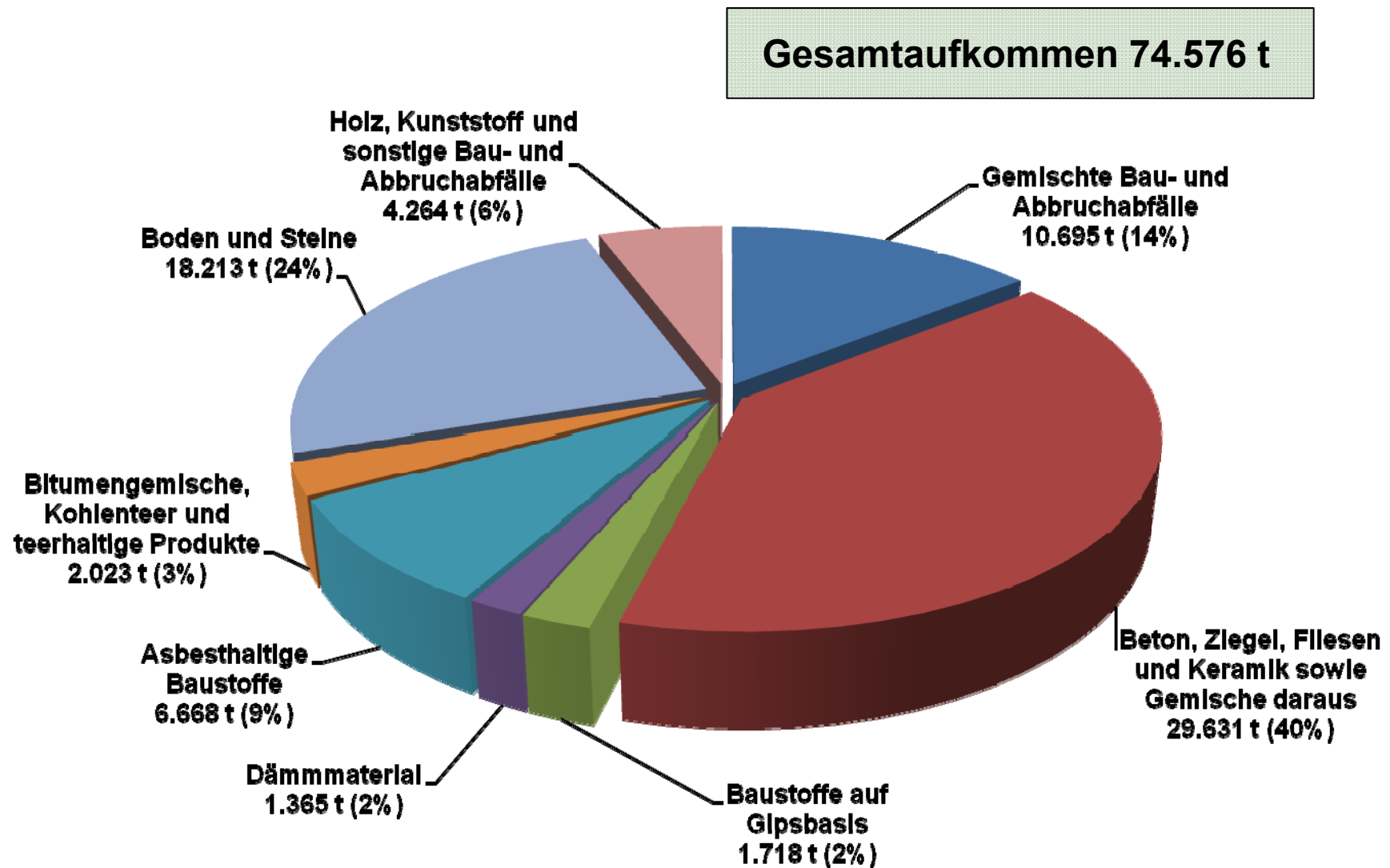
Entwicklung der Steine- und Erdenförderung



Gesprächsrunde mit RC-Unternehmen und RC-Anlagebetreibern am 10.06.2013



Bauabfallaufkommen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger des Landes Brandenburg 2011 nach Bauabfallkategorien



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)



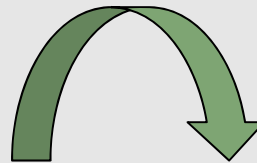
Voraussetzungen für jeweilige Anwendung:

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

Gegenüberstellung von Zuordnungs- / Grenzwerten mit Messergebnissen eigener Probenuntersuchungen für die Verwertung von mineralischen Abfällen anhand verschiedener Regelwerke

Parameter	Einheit	Messergebnisse			DIN 4226- 100:2002-02	ErsatzbaustoffV-E; 2007/2010//2012		
		8/16 (gewaschen)			Höchstwerte	RC-1	RC-2	RC-3
		Schüttelversuch (W/F 10:1)	Schüttelversuch (W/F 2:1)	Perkolation (6,64 ml/min)	Schüttelversuch [DIN 38414:1984-10]	Perkolation [DIN 19528:2009-01])		
pH-Wert		12,3	12,4	10,3 – 11,6	12,5	7 - 12,5//6-13		
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1.567	2.230	718	3.000	2.000 / 2.500 // 2.500	2.500/ 3.200 // 3.200	10.000/ 10.000 // 10.000
MKW	mg/kg	-	< 100	< 100	1.000	-	-	-
PAK PAK 16	µg/l	< 0,75 mg/kg	0,16	19,3	75 mg/kg (Feststoff)	3 / 4,5 // 6 25 // 10	4,5 / 12 // 12 25 // 12	15 / 20 25 // 20
PCB	mg/kg	-	< 0,01	< 0,01	1,0	-	-	-
EOX	mg/kg	-	< 1	< 1	10,0	-	-	-
Sulfat	mg/l	17,0	38,0	92,0	600	350 /220 // 450	700/300 //800	1.400 /3.500//3.500
Chrom	µg/l	< 10	< 10	< 10	100	50/135// 150	60/555// 440	100/2.725// 900
Vanadium	µg/l	-	< 5	41	-	30/50// 140	50/990// 700	100/4.845// 1.400
Kupfer	µg/l	< 10	< 10	15,0	200	40/110// 110	70/185// 180	100/300// 500
Chlorid	mg/l	14,2	-	-	150	-	-	-
Phenolindex	µg/l	17,0	-	-	100	-	-	-
Quecksilber	µg/l	0,11	-	-	2	-	-	-
Cadmium	µg/l	< 2	-	-	5	-	-	-
Arsen	µg/l	< 0,2	-	-	50	-	-	-
Zink	µg/l	< 10	-	-	400	-	-	-
Blei	µg/l	< 20	-	-	100	-	-	-
Nickel	µg/l	< 10	-	-	100	-	-	-
Zuordnung:		Z 1.1	RC-1	RC-3				

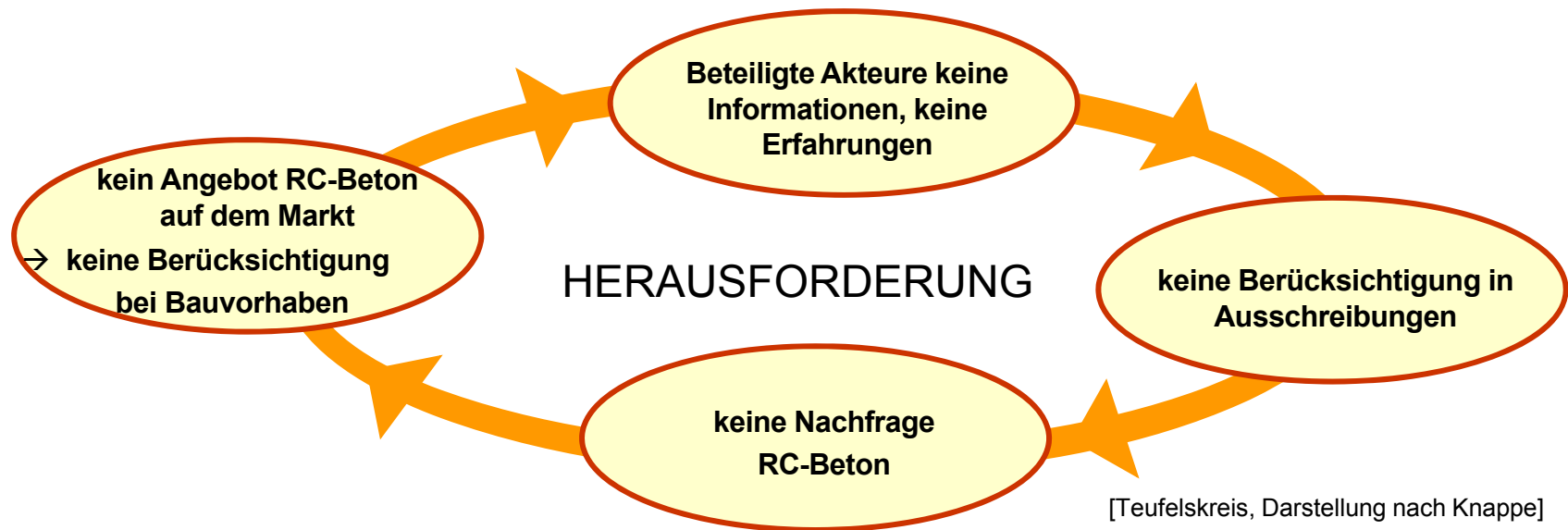
Gesprächsrunde mit RC-Unternehmen und RC-Anlagebetreibern am 10.06.2013

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



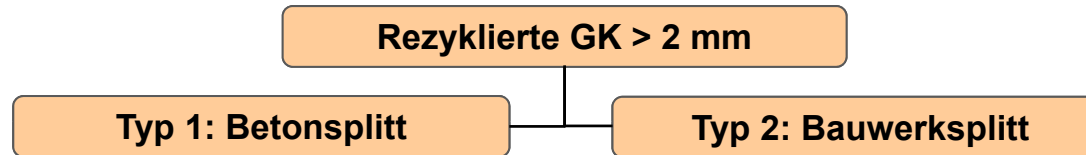
mit Blick
Abfall = Ressource

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

Europäische Produktnorm / Deutsche Fassung	Mitgeltende deutsche Normen und Regelwerke
Gesteinskörnungen für Beton EN 12620:2002+A1:2008 (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 Beton EN 206-1:2000-12 DIN EN 206-1:2001-07 +A1:2004 +A2:2005 Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	▪ DIN 4226-100:2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen (teilweise ersetzt durch DIN EN 12620:2008-07) → Festlegung spezifischer baustofflicher und umweltverträglicher Anforderungen ▪ DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Reaktion)“, Teil 3, Ausgabe 2007-02, Ausgabe der Berichtigung: 2010-04 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 (bisher: nach DIN 1045-1)

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	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀
	Ru : ungebundenen Gesteinskörnungen, Naturstein, hydr. geb. GK	≥ 90 M.-%	≥ 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	XRg ₁₋ ≤ 1 M.-%	XRg ₂₋ ≤ 2 M.-%
	Rg : Glas		
FL	FL : Schwimmendes Material im Volumen	FL ₂₋ ≤ 2 cm³/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	
- 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	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
	WF ¹⁾ (feucht)	kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4		
		Frost ohne Taumittleinwirkung XF 1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
		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	Kornrohdichte		≥ 2.000 kg/m³	
	Schwankungsbreite Kornrohdichte		± 150 kg/m³	
Wasseraufnahme nach 10´	höchstzulässige Wasseraufnahme nach 10 min		10 M.-%	15 M.-%
chemische Anforderungen	säurelösliches Chlorid		≤ 0,04 M.-%	
	säurelösliches Sulfat		≤ 0,8 M.-%	

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

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

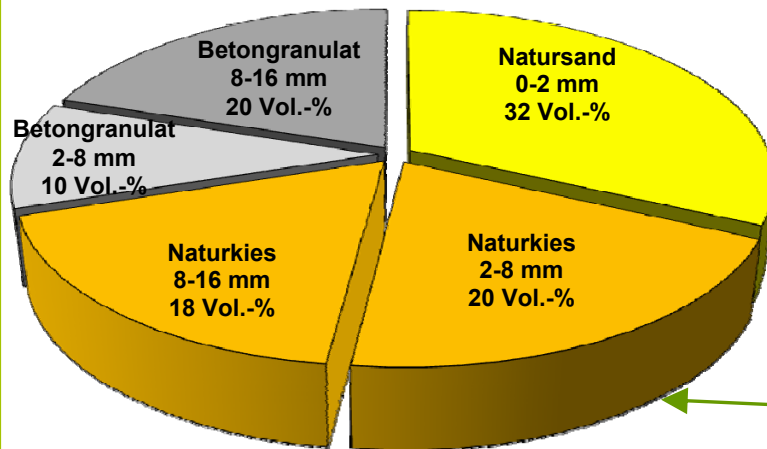


Gästehaus (Haus 3)

Bauzeit: Sept. – Dez. 2009



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 %)

Ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Charakterisierung RC-GK

gewaschenes RC-Material der Körnung 2/8 mm und 8/16 mm

- **Stoffliche Zusammensetzung** der Liefertypen nach DIN 4226-100:2002-02

Liefertypen rezyklierter GK

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 Betonsplitt / Betonbrechsand | 3 Mauerwerksplitt / Mauerwerkbrechsand |
| 2 Bauwerksplitt / Bauwerkbrechsand | 4 Mischsplitt / Mischbrechsand |

Stoffgruppe	Anteile > 4 mm in M.-%			
	Zur Verw. im Betonbau		Ist-Wert	
	Liefertyp 1	Liefertyp 2	2/8 mm	8/16 mm
Beton und Gesteinskörnungen	≥ 90	≥ 70	99,2	98,6
Klinker, nicht porosierter Ziegel	≤ 10	≤ 30	0,6	1,1
Kalksandstein				
andere mineralische Bestandteile	≤ 2	≤ 3	0	0
Asphalt	≤ 1	≤ 1	0,2	0,3
Fremdbestandteile	≤ 0,2	≤ 0,5	0	0

Ergebnis: RC-Materialien entsprechen Liefertyp 1 bzw. Typ 1 nach DIN EN 12620

Ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Charakterisierung RC-GK

- **Kornform** nach DIN EN 933-4:2008-06

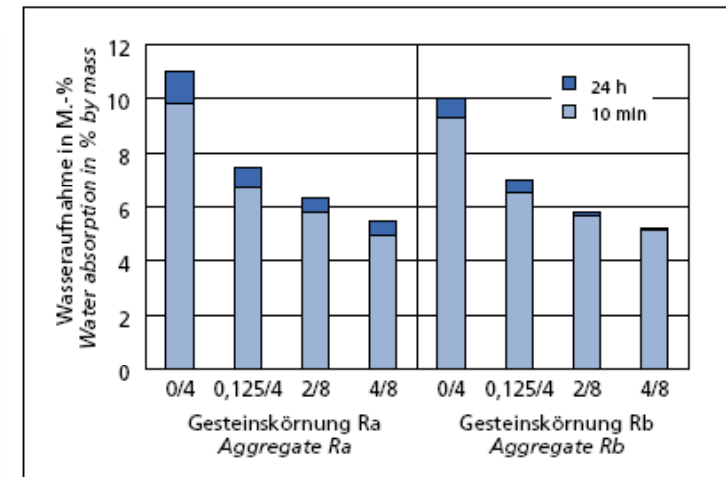
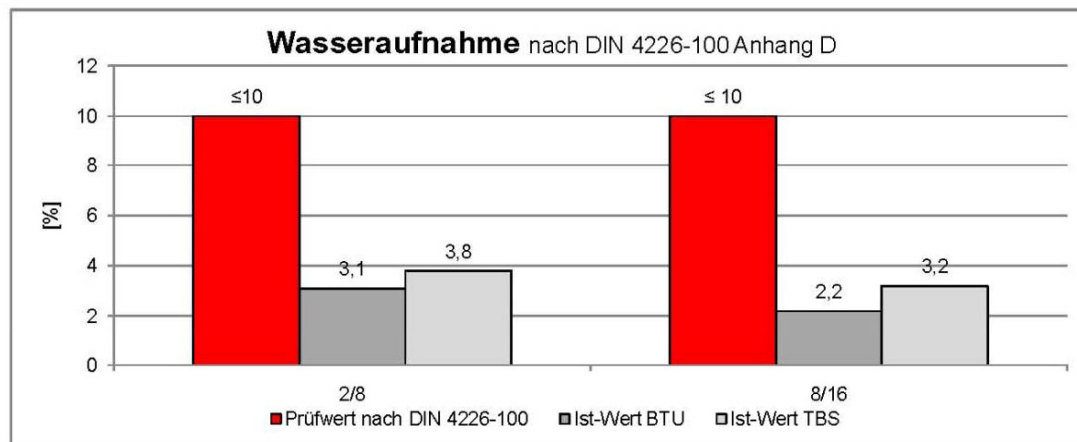
Korngruppe d/D [mm]	Kornformkennzahl SI		
	Ist-Anteil [M-%]	Kornformkennzahl	Kategorie nach DIN EN 12620, Tab. 9
2/8	11	≤ 15	SI ₁₅
8/16	5	≤ 15	SI ₁₅



Ergebnis: RC-GK entsprechen den Anforderungen der DIN 4226-100:2002-02

- **Wasseraufnahme** nach DIN 4226-100:2002-02, Anhang D

Korngruppe d/D in mm	Prüfwert nach	Ist-Wert	
	DIN 4226-100, Typ 1, Tab. 2	TBS	BTU Cottbus
	[%]	[%]	[%]
2/8	≤ 10	3,8	3,1
8/16	≤ 10	3,2	2,2



Wasseraufnahme von Betonsplitten¹

Ra Ausgangsbeton B 15

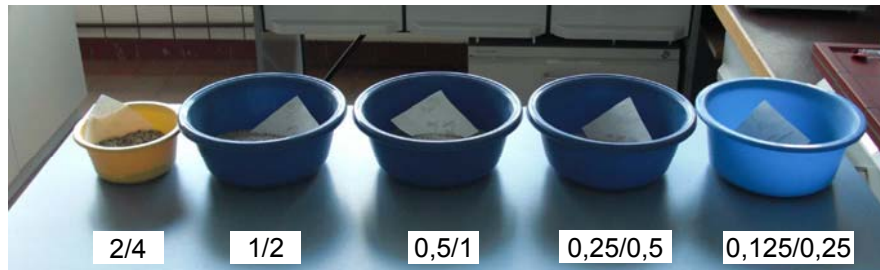
Rb Ausgangsbeton B 45

[¹Kerkhoff; Siebel in: Betontechnische Berichte, 2003, Hrsg. VDZ]

Ergebnis: Die untersuchten RC-Gesteinskörnungen entsprechen den Anforderungen der DIN 4226-100:2002-02

Ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Charakterisierung RC-GK

- **Alkali-Kieselsäure-Reaktion:** Schnellprüfverfahren (Referenzprüfverfahren)
an gewaschenem RC-Material 8/16 mm gemäß der DAfStb-Rili „Alkali-Reaktion“ Teil 3 (Ausg. Febr. 2007)
Herstellung: 3 Mörtelprismen 40 x 40 x 100 mm



Dehnung ϵ [mm/m]		Körnung 8/16 mm			
Tage	Datum	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_{mittel}
0	25.06.2009	-	-	-	-
1	26.06.2009	0,131	0,038	0,025	0,07
5	30.06.2009	0,338	0,188	0,244	0,26
8	03.07.2009	0,475	0,356	0,413	0,42
13	08.07.2009	1,013	1,113	0,988	1,04
Grenzwert gemäß Tab. 3-1 Alkalirichtlinie		1,0 mm/m			

Die visuelle Betrachtung: keine sichtbare Veränderungen

Ergebnis: Einstufung geprüfte RC-GK als alkaliunempfindlich bzw. unbedenklich → → → →
Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S

Umweltverträglichkeitsprüfung – nach DIN 4226-100:2002-02, Anhang G Bewertung der Inhaltsstoffe der RC-GK

Parameter		DIN 4226-100	Prüfergebnisse (DEV S4)	
Eluat		Höchstwerte	RC 2/8 mm	RC 8/16 mm
Färbung	---	---	farblos	farblos
Trübung	TE	---	2 TE (F)	5 TE (F)
Geruch	---	---	ohne	ohne
pH-Wert*	---	12,5	12,6	12,3
elektr. Leitfähigkeit*	µS/cm	3.000	3.110	1.567
Phenolindex	µg/l	100	18	17
Chlorid	mg/l	150	21,3	14,2
Sulfat	mg/l	600	28	17
Arsen	µg/l	50	0,26	< 0,2
Blei	µg/l	100	< 20	< 20
Cadmium	µg/l	5	< 2	< 2
Chrom	µg/l	100	< 10	< 10
Kupfer	µg/l	200	< 10	< 10
Nickel	µg/l	100	< 10	< 10
Quecksilber	µg/l	2	0,17	0,11
Zink	µg/l	400	< 10	< 10
Feststoff		Höchstwerte	RC 2/8 mm	RC 8/16 mm
Kohlenwasserstoffe (H18)	mg/kg	1.000	< 100	< 100
PAK nach EPA	mg/kg	75	0,15	< BG**
EOX	mg/kg	10	< 1	< 1
PCB	mg/kg	1	< 0,01	< 0,01
Höchstwerte			eingehalten	eingehalten

Eluatprüfung nach
DIN 38414-4:1984-10

Ergebnis:

**Einhaltung aller
Anforderungen der
DIN 4226-100**

* kein Ausschlusskriterium

** BG - Bemessungsgrenze

Fazit Untersuchungsergebnisse: RC-GK

Parameter	Ergebnis	Anfo.	Anfo. erfüllt
- Stoffliche Kennzeichnung - Kornrohdichten [kg/m³] - Kornform - Wasseraufnahme - Kornzusammensetzung (Korngrößenverteilung) - Umweltverträglichkeit - Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	Typ 1 2/8: 2.368, 8/16: 2.394 2/8; 8/16: SI ₁₅ 2/8: 3,4 %; 8/16: 2,7 % E I-S	≥ 2.000 ≤ SI ₅₅ < 10 % = E I-S	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓

Anforderungen nach:

DIN EN 12620, DIN 4226-100, DAfStb-Rili „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton“

Überblick zu den entwickelten RC-Beton-Rezepturen (Auszug)



Beton nach Eigenschaften

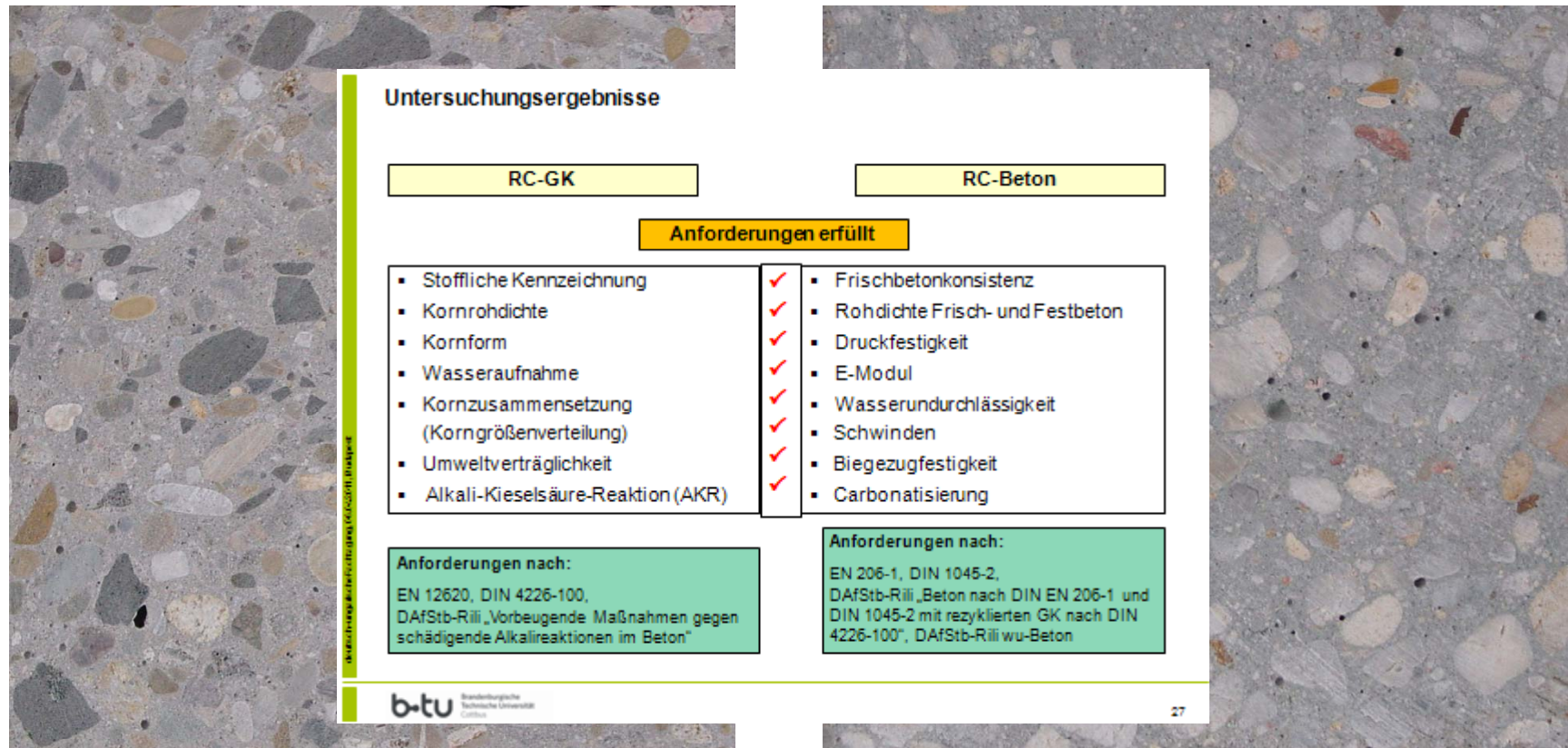
Festlegung von Eigenschaften und zusätzlicher Anforderungen gegenüber dem Hersteller – analog Anforderungen Normalbeton

Festigkeitsklasse	C 25/30	C 25/30 wu	C 30/37	C 35/45
Konsistenz	F3	F3	F3	F3
Expositionsklasse	XC4/XF1	XC4/XF1	XC4/XF1	XC4/XF2
Rezepturzusammensetzung [kg/m³]				
Zementart	CEM II/B-V 42,5 R (310 kg) CEM IV/B-V 32,5 R (20 kg)	CEM II/B-V 42,5 R (310 kg) CEM IV/B-V 32,5 R (30 kg)	CEM II/B-V 42,5 R	CEM II/B-V 52,5 R
Zement*	330	340	360	360
Wasser	191	180	187	173
0/2 mm Natursand	574	579	566	576
2/8 mm Naturkies	359	362	354	360
2/8 mm Betongranulat	151	152	149	151
8/16 mm Naturkies	233	235	318	414
8/16 mm Betongranulat	377	380	297	227
RC-Gesteinskörnung [Vol.-%]	35	35	30	25
w/z-Wert	0,58	0,53	0,52	0,48

CEM II/B-V Portlandflugaschezement; (21 – 35 M.-% Flugasche kieselsäurereich)
 CEM IV/B-V Puzzolanzement; ; (36 - 55 M.-% Flugasche kieselsäurereich)
 F3 Ausbreitmaß 420 – 480 mm; Konsistenzbereich weich

Untersuchungsergebnisse und visueller Vergleich RC-Beton – Normalbeton

(Schnittflächen – im Hintergrund)



Untersuchungsergebnisse

RC-GK	RC-Beton
Anforderungen erfüllt	
▪ Stoffliche Kennzeichnung ▪ Kornrohddichte ▪ Kornform ▪ Wasseraufnahme ▪ Kornzusammensetzung (Korngrößenverteilung) ▪ Umweltverträglichkeit ▪ Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	▪ 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



Produktion Betonsplitt





Abb. 1: Ludwigshafen / Wohnhaus



Abb. 2: Heilbronn / Büro- und Lagergebäude



Abb. 3: Malsch / Verwaltungsgebäude

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

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

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		



Zielstellung



Erste Untersuchungsergebnisse zum Einsatz von 0/45 RC-Material in Beton

Parameter	Anforderung	Ergebnis	Anforderung erfüllt
Kornzusammensetzung	G _A 90 / G _A 85	G _A 90	✓
Kornform	SI ₅₅	SI ₁₅	✓
Kornrohichte	≥ 2000 kg/m ³	2500 kg/m ³	✓
Stoffliche Zusammensetzung	Typ 1 und Typ 2	Typ 4	
Wasseraufnahme nach 10' min	max. 15 M.-% (Typ 2)	5 M.-%	✓
Wasseraufnahme nach 24 h	max. 15 M.-% (Typ 2)	6 M.-%	✓
Wasserlösliche Chloride	Cl _{0,15}	0,005 M.-%	✓
Säurelösliche Chloride	ACl _{0,04}	0,016 M.-%	✓
Wasserlösliches Sulfat	SS _{0,2}	0,38 M.-%	✗
Säurelösliches Sulfat	AS _{0,8}	0,46 M.-%	✓
Gesamt-Schwefel	≤ 1 M.-%	0,2 M.-%	✓
Alkali-Kieselsäure-Reaktion	≤ 1 mm/m	~ 1,5 mm/m	✗
Umweltverträglichkeit			✓

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		

➤ **Ausblick für das höherwertige Recycling**

▪ **Herausforderungen / aktuelle eigene Aktivitäten**

- i.A. des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg gemeinsam mit uve GmbH für Managementberatung
„Untersuchungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen im Land Brandenburg“
- in Zusammenarbeit mit dem Senat Berlin
Vorschlag: Einführung eines **Bonussystems zur monetären Bewertung von RC-Beton** – Aufnahme in Ausschreibungen
EU-weite Ausschreibung:
 - jeweilige Grundposition: RC-Beton
 - dazugehörige Wahlposition: Normalbeton
 - Wertungskriterium: Preis mit Wertungsbonus für RC-Beton: brutto 10 €/t
 - Beauftragung wirtschaftlichstes Angebot

➤ Identifizierung und Konkretisierung Problemfelder

