

# Pilotprojekt Recycling-Beton

## Sind Normal- und RC-Betone vergleichbar?

### Erste Ergebnisse der Prozessbeurteilung zur Herstellung und Charakterisierung des RC-Betons

#### ➤ Sachstand RC-Beton

- Rechtliche Grundlagen zur Herstellung von RC-Beton
- Rezyklierte Gesteinskörnung
- Charakterisierung RC-Beton
- Potenzial

#### ➤ Untersuchungsergebnisse

- RC-Gesteinskörnung
- Festbetonprüfung – bautechnische Eigenschaften
- Umweltverträglichkeit

#### ➤ Recherche Marktanteil RC-Gesteinskörnungen / RC-Betone

#### ➤ Weiterführende Arbeiten

- RC-Beton – technisch nutzbar, wirtschaftlich, ökologisch?

Dr.-Ing.  
Angelika Mettke

BTU Cottbus  
Lehrstuhl Altlasten  
FG Bauliches Recycling

Siemens-Halske-Ring 8  
03046 Cottbus  
Deutschland

Tel.: (+49)355/692270  
Fax: (+49)355/693171  
mettke@tu-cottbus.de

## Normative Grundlagen, Verweise und Richtlinien

- **Gesteinskörnungen für Beton; DIN EN 12620: 2002+A1: 2008**  
(Ersatz für DIN EN 12620: 2002): **Eigenschaften von Gesteinskörnungen durch Aufbereitung natürlicher, industriell hergestellter oder rezyklierter Materialien für alle Betonsorten, einschl. Beton nach DIN EN 206-1 und Straßenbeton, BFT**
  - **DIN EN 206-1: 2001-07 (D)**  
**Beton: Teil 1 Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität**
  
- **Für rezyklierte Gesteinskörnungen gilt zusätzlich DIN 4226-100: 2002-02**  
**Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen**
  - **Festlegung spezifischer baustofflicher und umweltverträglicher Anforderungen mit Kornrohdichten  $\geq 1.500 \text{ kg/m}^3$  und**
  
- **DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“, Ausgabe 2004-12-00,**  
**Teil1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1**
  - **gilt für Liefertypen 1 und 2 DIN 4226-100 bis zur Druckfestigkeitsklasse C30/37**
  - **nicht zulässig: Herstellung von Spannbeton und Leichtbeton unter Verwendung RC-Gestein**
  - **Einsatz RC-Gestein  $> 2 \text{ mm}$**

# Verwendung von RC-Baustoffen im Betonbau – normative Grundlagen, RL

## Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen

### Liefertypen rezyklierter Gesteinskörnungen

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

### Stoffliche Kennzeichnung der Liefertypen

[DIN 4226-100:2002-02, Tab.1]

| Bestandteile                                  | Zusammensetzung<br>Massenanteil in Prozent |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|
|   | Typ 1                                      | Typ 2 | Typ 3 | Typ 4 |
| Beton u. Gesteinskörnungen n. DIN 4226-1      | ≥ 90                                       | ≥ 70  | ≤ 20  | ≥ 80  |
| Klinker, nicht porosierter Ziegel             | ≤ 10                                       | ≤ 30  | ≥ 80  |       |
| Kalksandstein                                 |  |       | ≤ 5   |       |
| Andere mineralische Bestandteile <sup>a</sup> | ≤ 2  | ≤ 3   | ≤ 5   | ≤ 20  |
| Asphalt                                       | ≤ 1  | ≤ 1   | ≤ 1   |       |
| Fremdbestandteile <sup>b</sup>                | ≤ 0,2                                      | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 1   |

<sup>a</sup> Andere mineralische Bestandteile sind zum Beispiel: porosierter Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein.

<sup>b</sup> Fremdbestandteile sind zum Beispiel: Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, sonstige Stoffe.

### Herstellung Beton:

[DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Ausgabe Dez. 2004. Tab. 1]

**Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%)**

|   | Anwendungsbereich            |   | Gesteinskörnungstyp 1<br>nach DIN 4226-100 | Gesteinskörnungstyp 2<br>nach DIN 4226-100 |
|---|------------------------------|---|--|--|
|   | Alkali-richtlinie            | DIN EN 206-1 und<br>DIN 1045-2  |  |  |
|   | 1                            | 2   |  |  |
| 1 | WO<br>(trocken)              | Karbonatisierung XC1  |  |  |
| 2 | WF <sup>1)</sup><br>(feucht) | Kein Korrosionsrisiko X0<br>Karbonatisierung XC1 bis XC4  | ≤ 45                                       | ≤ 35                                       |
| 3 |                              | Frost ohne Taumittleinwirkung<br>XF 1 <sup>1)</sup> und XF3 <sup>1)</sup><br>und in Beton mit hohem<br>Wassereindringwiderstand | ≤ 35                                       | ≤ 25                                       |
| 4 |                              | chemischer Widerstand (XA1)   | ≤ 25                                       | ≤ 25                                       |

<sup>1)</sup> zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4)

# Verwendung von RC-Baustoffen im Betonbau – Stand des Wissens

## Eigenschaften von RC-Beton

### Besonderheiten bei der Herstellung von Beton mit rezyklierten Zuschlägen:

- Beschränkung der Verwendung rezyklierter Zuschläge auf > 2 mm Korngröße (Verwendung von natürlichen Sanden)
- Vornässen der Zuschläge (Beachtung der erhöhten Wasseraufnahmefähigkeit)
- Verwendung von Fließmitteln (Verbesserung der Konsistenz)

### Eigenschaften von Beton unter Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen:

Zum Verständnis des Festigkeitsverhaltens von Beton mit rezykliertem Zuschlag kann gedanklich von einem Normalbeton mit sehr hohem Zementsteinanteil und Zuschlag verminderter Festigkeit ausgegangen werden.

### Veränderte Frischbetoneigenschaften gegenüber Referenz- / Normalbeton:

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Wasseraufnahmefähigkeit | höher |
|-------------------------|-------|

### Veränderte Festbetoneigenschaften gegenüber Referenz- / Normalbeton:

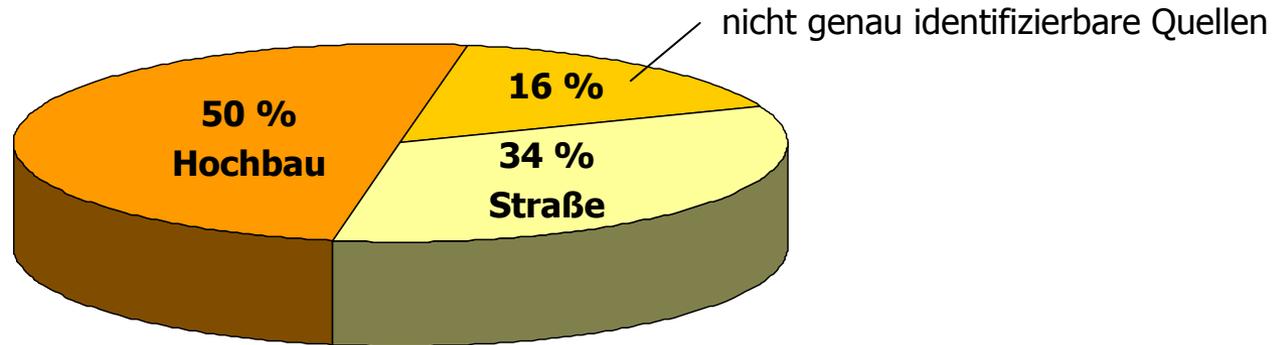
|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Druckfestigkeit                  | steuerbar          |
| Biegezug- und Spaltfestigkeit    | kaum Veränderungen |
| Elastizitätsmodul                | niedriger          |
| Kriech- und Schwindverhalten     | höher              |
| Karbonatisierungsgeschwindigkeit | höher              |
| Frostwiderstand                  | niedriger          |



**keine Verwendung in Spannbeton, Brücken;  
interessant für Fundamentherstellung, Sauberkeitsschichten und im Hochbau**

# Input mineralische Bauabfälle/Output mineralische Rezyklate

## ➤ Angelieferte Bauabfälle / Input



[Kraus, K. et.al.: Verwertung RC-Baustoffe, Wirtschaftsjahr 2001, in: Straße und Autobahn, 2004]

## ➤ im Bundesdurchschnitt ca. 44 - 49 % Betongehalt im Output

[Hauer, B. et.al.: Potenziale des Sekundärrohstoffeinsatzes, Heft 572, DAfStB, 2007]

↪ **Ansatz: jährliche RC-Baustoff-Produktion 50 Mio. t**  
**ca. 22 – 25 Mio. t Betonsplitt / a Output**

(2004: Bauschutt 31,1 Mio. t,  
Straßenabruch 18,4 Mio. t,  
Baustellenabfälle 0,1 Mio. t)  
[KWTB, 5. Monitoring-Bericht 2007]

# Ablauf der Untersuchungen

## Bearbeitungsphase I

Grundlagenermittlung / Vorbereitung der Baumaßnahme / Bau Stadtvilla mit RC-Beton

Recherche des Standes der Technik /  
Forschung / Regelwerke [BTU]

Herstellung u. Prüfung Gesteinskörnung  
[Scherer & Kohl]

Betonrezepturenentwicklung u.-herstellung  
[TBS]

Prüfung Festbeton u. Gesteinskörnung  
[BTU]

## Bewertung Eignung RC-Beton

Analyse Prozessketten [BTU]

Abbruch/Rückbau, Aufbereitung,  
RC-Betonherstellung [BTU]

Bewertung Qualitätssicherung, Logistikprozesse, Kosten, Verwaltungsprozesse [BTU]

Bewertung Energie-, CO<sub>2</sub>-Bilanzen etc. [IFEU, BTU]

Recherche Marktanteile RC-M / RC-B  
Hemmnisanalyse [IFEU, BTU]

Fragebogen [BTU]

- RC-Unternehmen
- Transportbeton- u. BFT-Hersteller
- Bauausführende Firmen

Bewertung [IFEU, BTU]

- regionale Marktsituation,
- Potenzial,
- betontechnologische Bewertung,
- Randbedingungen ...

## Bearbeitungsphase II

# Ziele und Nutzen der Untersuchungen zur Anwendung von RC-Beton und deren Prozesse

- **hochwertige Verwertung, Nutzung der Materialeigenschaften**
- **aktiver Beitrag zum Ressourcenschutz**
- **schnelle Realisierung Projekte und Imageverbesserung**
- **Erfolgskontrolle durch wissenschaftliche Begleitung**
- **Sicherung und Ausgestaltung von Standortvorteilen**
- **Ermittlung und Optimierung von Schwachstellen durch Prozessbewertung**

## Rechtliche Rahmenbedingungen D

- Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes am 7. Oktober 1996
  - **Zweck** der Förderung der Kreislaufwirtschaft
    - zur **Schonung natürlicher Ressourcen** und
    - **Sicherung** einer **umweltverträglichen Beseitigung** von Abfällen (§1)
  - Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft „**Vermeiden vor Verwerten vor Verbringung**“ (§§ 4, 5)

# Umsetzung Kreislaufwirtschaft – EU-Vorgaben

Neue **EU-Abfallrahmenrichtlinie** (2008/98/EG) am 12. Dez. 2008 in Kraft getreten

## Ziele:

- Substanzielle 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**
- **Präzisierung Abfallbegriff** (Verwendung für bestimmten Zweck, Markt oder Nachfrage ist vorhanden ...)

## Umsetzung Kreislaufwirtschaft – EU-Vorgaben (Fortsetzung)

- **Abgrenzung zwischen Verwertung** (Rohstoff- oder Brennstoffsubstitution; Warenverkehrsfreiheit) und **Beseitigung** zur Verbesserung der Steuerung von Stoffströmen und Rechtssicherheit
- Einführung fünfstellige **Abfallhierarchie** (Prioritätenreihenfolge)
  - **Abfallvermeidung** (Produktverantwortung, Abfallvermeidungsprogramme)
  - **Wiederverwendung** (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.-%
  - **sonst. Verwertung** (energetische)
  - **Beseitigung**

# Verwendung von RC-Baustoffen im Betonbau

## Neubau Verwaltungsgebäude Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück



### Rebeton-Zusammensetzung

| Zuschlag             | kg/m <sup>3</sup> | %  |
|----------------------|-------------------|----|
| Grubensand 0/4       | 1.632             | 40 |
| Betonsplitt 4/16     |                   | 40 |
| Betonsplitt 16/32    |                   | 18 |
| PZ 45 F              | 290               |    |
| BV                   | 1,8               |    |
| Steinkohlenflugasche | 70                |    |
| w/z – Wert           | 0,65              |    |

**Bauherr: DBU**

**Baujahr: 1994/95**

B 35 nach DIN 1045

Korngröße > 4 mm, 100 %

Verwendung: Innenbauteile

# Verwendung von RC-Baustoffen im Betonbau

## Die Waldspirale von Darmstadt – Friedensreich Hundertwasser Architekturprojekt

Bauherr: Bauverein AG, Darmstadt  
Baujahr: 1998/2000

Wohnen im Einklang mit der Natur =  
Teil der Philosophie Hundertwassers

### RC-Beton – Zusammensetzung in kg/m<sup>3</sup>

| Art                                     | B 35 | B 25 |
|---|------|------|
| Zuschlag 0/2a                           | 616  | 615  |
| Zuschlag 2/8                            | 530  | 290  |
| Zuschlag 8/16                           | 569  | 334  |
| Zuschlag 16/32                          | -    | 554  |
| Zement CEM I 32,5 R                     | -    | 290  |
| Zement CEM I 42,5 R                     | 300  | -    |
| Zugabewasser                            | 190  | 180  |
| Betonzusatzstoff: Flugasche             | 50   | 40   |
| Betonzusatzmittel:<br>Betonverflüssiger | 1,5  | -    |

↻ B 25, B 35 nach DIN 1045  
(ca. 12.000 m<sup>3</sup>)

Verwendung des RC-Betons nach DAfStb-RiLi „Beton mit rezyklierten Zuschlägen“ sowohl für Innenbauteile, Bodenplatte (wasserundurchlässiger Beton), Außenbauteile

# RC-Gesteinskörnung

[Scherer & Kohl, Mannheim und Ludwigshafen, Stefan Sattler]

## Aufbereitungstechnik

Jahresdurchsatz: 1,0 Mio. t; verwertbare Materialien ~ 600.000 t

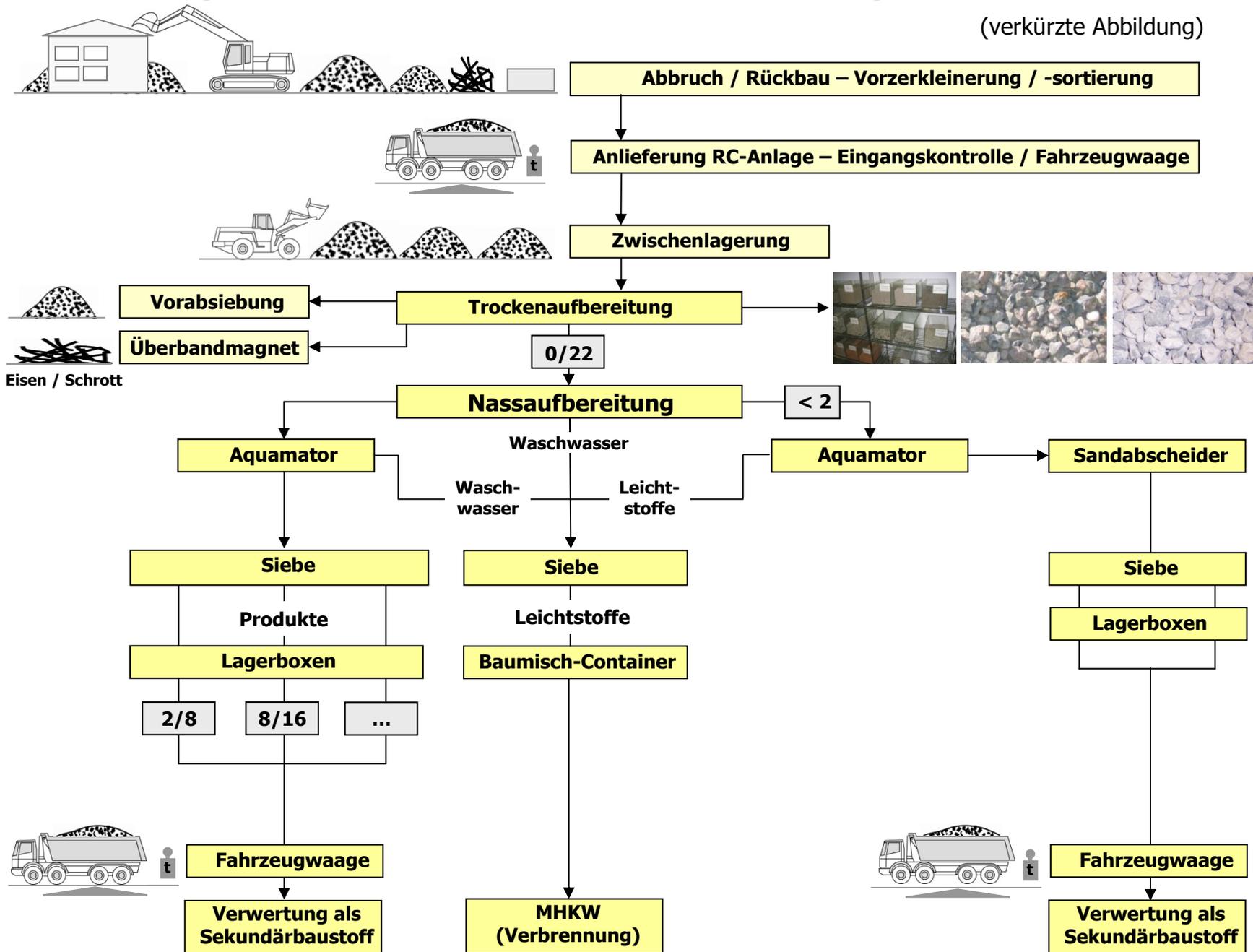
Einsatz 80 % Straßen-, Wege-, Tiefbau; 10 % RC-Beton; 10 % Zuschlag für Asphalt



Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009

# Aufbereitungsverfahren Trocken- und Nassaufbereitung Fa. Scherer & Kohl

(verkürzte Abbildung)



# Verwendete Produkte zur Herstellung von RC-Beton

## Natürliche Gesteinskörnungen



## RC-Gesteinskörnungen



# Beton- und Zementherstellung

[TBS, Werk Mannheim, Joachim Gilles]

**Jahresproduktion: ~ 60.000 m<sup>3</sup> Frischbeton;**

**RC-Beton ~ 2.000 m<sup>3</sup>, Haupteinsatz RC-Beton: Tiefbau**



Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009

# Untersuchungen zu RC-Gesteinskörnungen

## Die bisherigen Untersuchungen erfolg(t)en am RC-Material der Fa. Scherer + Kohl

### ▪ **Betontechnologische Untersuchungen am verwendeten Material und Ausgangsmaterial (Körnung 2/8 und 8/16 mm)**

|                              | <u>Bearbeitungsstand</u> |
|------------------------------|--------------------------|
| ➤ stoffliche Zusammensetzung | abgeschlossen            |
| ➤ Kornrohichte               | abgeschlossen            |
| ➤ Wasseraufnahme             | abgeschlossen            |
| ➤ Kornform                   | abgeschlossen            |
| ➤ Korngrößenverteilung       | abgeschlossen            |

### ▪ **Untersuchungen zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion**

|   |           |
|---|-----------|
| ➤ Mörtelschnelltest                           | in Arbeit |
| ➤ Untersuchungen mit Nebelkammerlagerung ggf. |           |

### ▪ **Umweltverträglichkeitsprüfung am verwendeten Material (Körnung 2/8 und 8/16 mm)**

|   |               |
|---|---------------|
| ➤ S4-Verfahren (Wasser/Feststoff-Verhältnis 10/1)                             | abgeschlossen |
| ➤ Schüttelverfahren (Wasser/Feststoff-Verhältnis 2/1)                         | abgeschlossen |
| ➤ Perkulationsverfahren   | in Arbeit     |
| ➤ S4-Verfahren für Ausgangsmaterial<br>(Körnung 2/8 und 8/16 mm, ungewaschen) | in Arbeit     |

## Bisherige Untersuchungsergebnisse: RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

Die Untersuchungen wurden an gewaschenem RC-Material der Körnung 2/8 mm und 8/16 mm der Fa. Scherer + Kohl GmbH & Co.KG, Ludwigshafen durchgeführt.

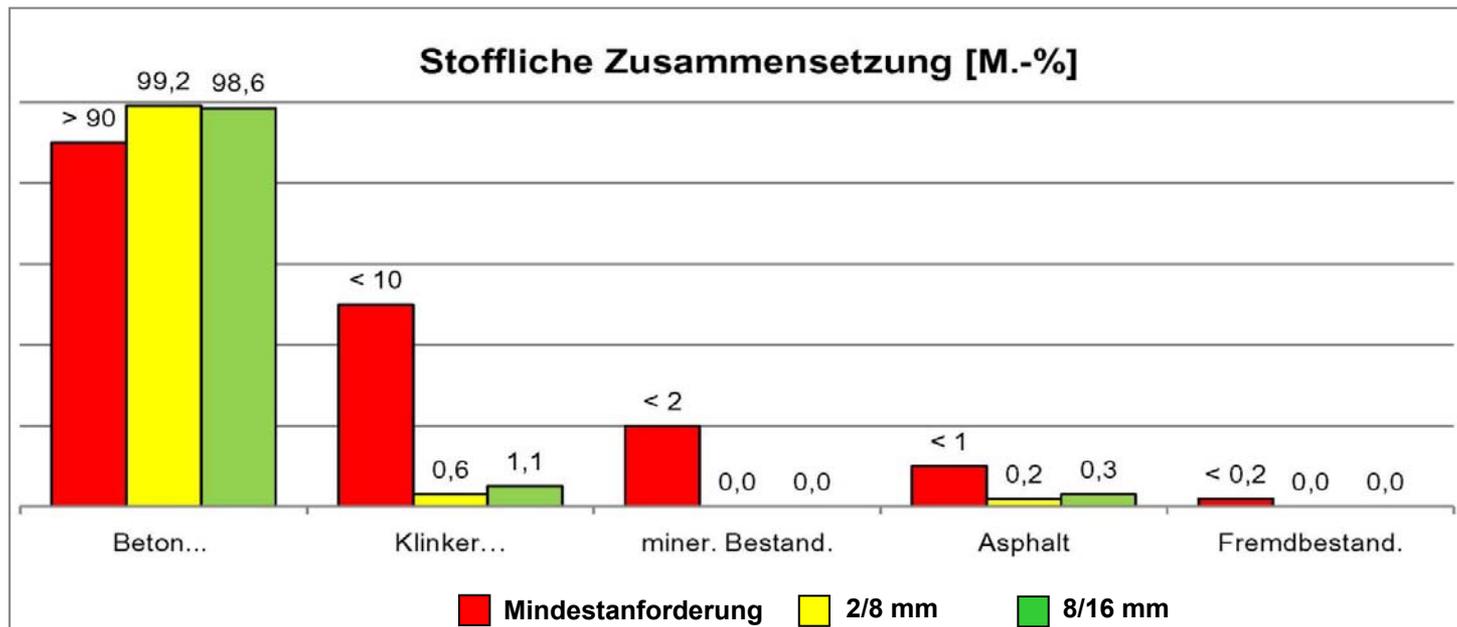
### Stoffliche Zusammensetzung der Liefertypen nach DIN 4226-100:2002-02

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

### Ergebnis:

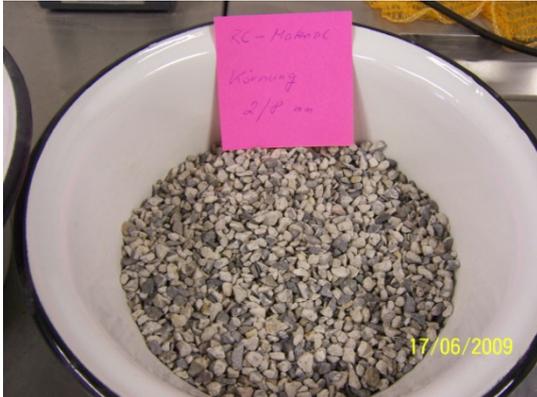
Die verwendeten RC-Materialien entsprechen

**Liefertyp 1**

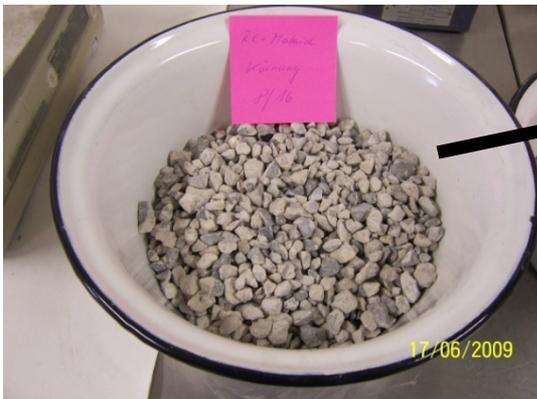


# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

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



RC-Material Körnung 2/8 mm



RC-Material Körnung 8/16 mm

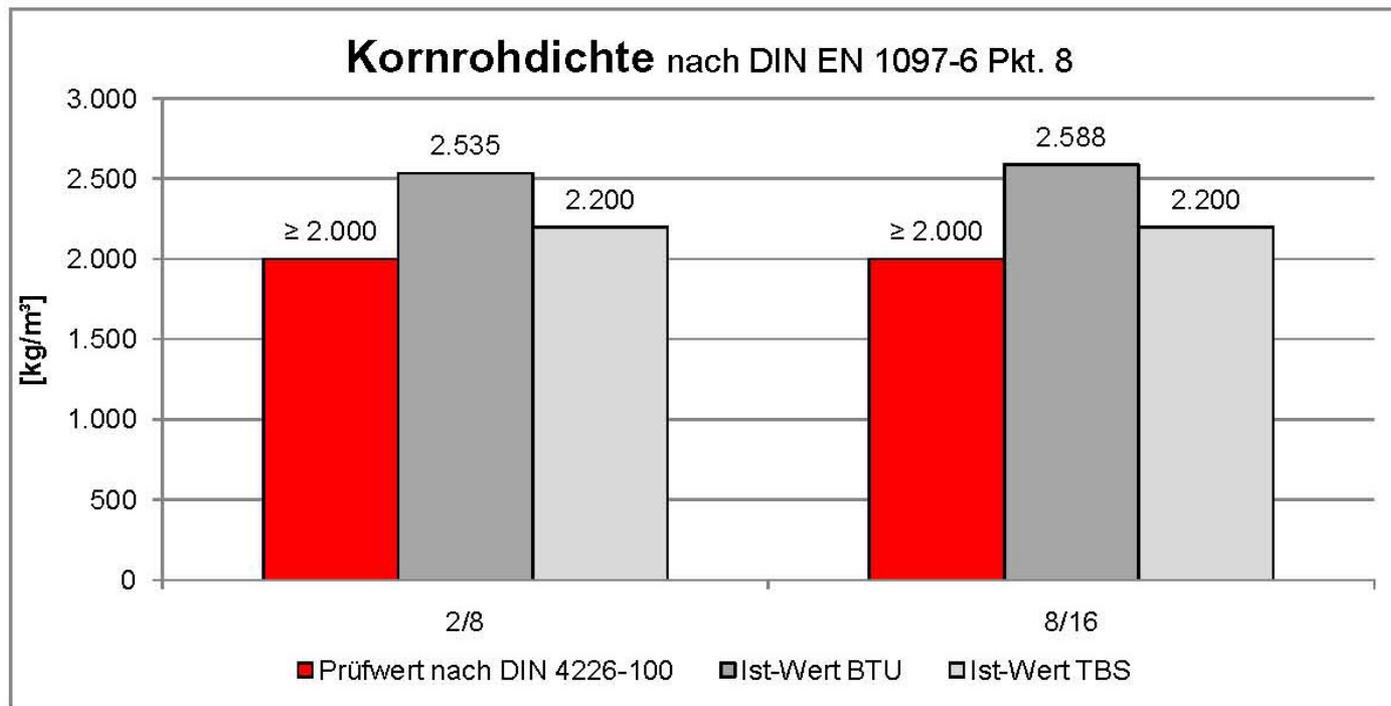


Beton und Gesteinskörnung  
98,6 M.-%

# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

- **Kornrohichte** nach DIN EN 1097-6 Pkt. 8

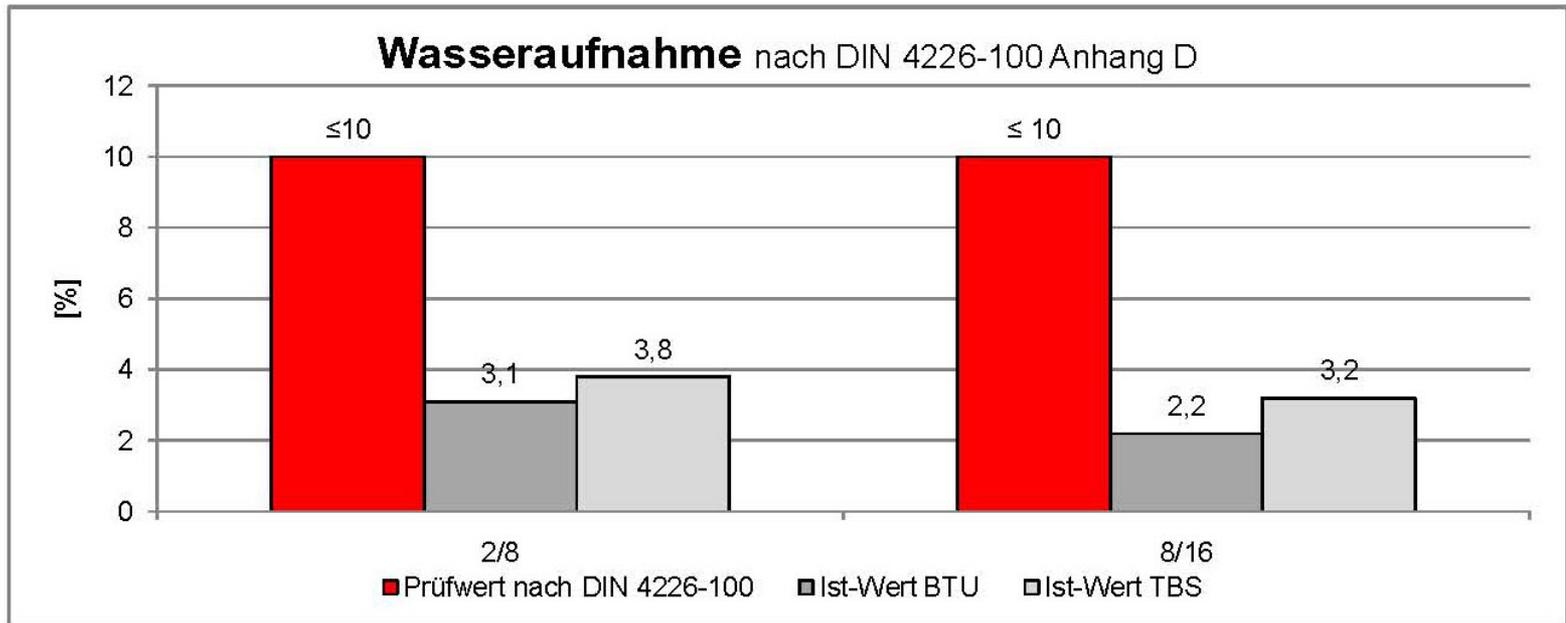
| Prüfkörnung in mm | Prüfwert nach        | Ist-Wert             |                      |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                   | DIN 4226-100, Tab. 2 | TBS                  | BTU Cottbus          |
|                   | [kg/m <sup>3</sup> ] | [kg/m <sup>3</sup> ] | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| 2/8               | ≥ 2.000              | 2.200                | 2.535                |
| 8/16              | ≥ 2.000              | 2.200                | 2.588                |



# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

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

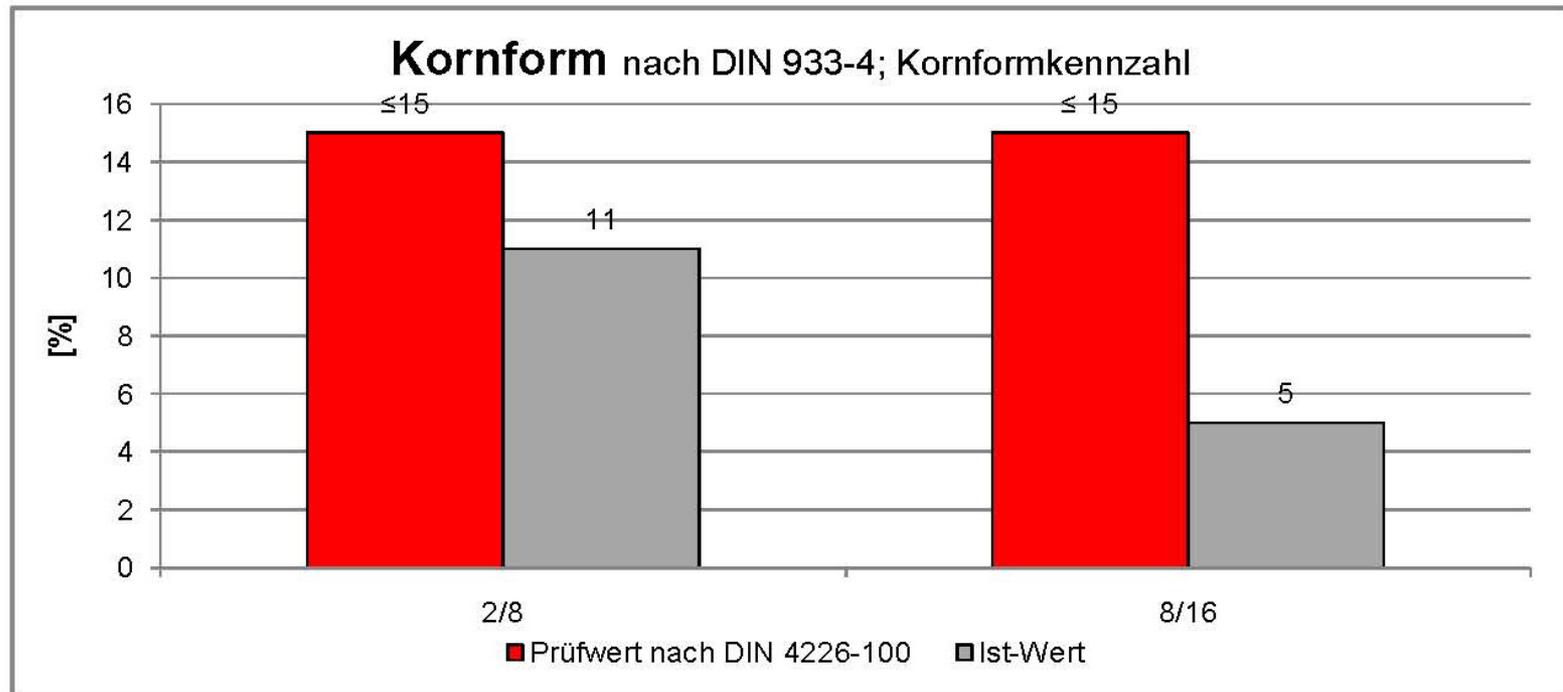
| Korngruppe d/D in mm | Prüfwert nach               |  | Ist-Wert |             |
|----------------------|-----------------------------|--|----------|-------------|
|                      | DIN 4226-100, Typ 1, Tab. 2 |  | TBS      | BTU Cottbus |
|                      | [%]                       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



# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

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

| Korngruppe d/D in mm | Kornformkennzahl <i>SI</i> |           |                         |
|----------------------|----------------------------|-----------|-------------------------|
|                      | Ist-Anteil                 | Kornform- | Kategorie nach          |
|                      | [M-%]                      | kennzahl  | DIN EN 12620, Tab.9     |
| 2/8                  | 11                         | ≤ 15      | <i>SI</i> <sub>15</sub> |
| 8/16                 | 5                          | ≤ 15      | <i>SI</i> <sub>15</sub> |



# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

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



# RC-Gesteinskörnung – Gemischspezifische Eigenschaften

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

| Prüfsieb [mm]                      | Siebdurchgang [M.-%]         |                  |                      |                       |                              |                  |                      |                       |
|------------------------------------|------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
|                                    | Körnung 2/8 mm               |                  |                      |                       | Körnung 2/8 mm               |                  |                      |                       |
|                                    | Anforderungen nach DIN 12620 |                  | Ist                  | Anforderungen erfüllt | Anforderungen nach DIN 12620 |                  | Ist                  | Anforderungen erfüllt |
|                                    | min                          | max              |                      |                       | min                          | max              |                      |                       |
| 22,4                               |                              |                  | 100,0                |                       | 98                           | 100              | 100,0                |                       |
| 16                                 |                              | 100              | 100,0                | ja                    | 85                           | 99               | 98,2                 | ja                    |
| 11,2                               | 98                           | 100              | 100,0                | ja                    |                              |                  | 68,9                 |                       |
| 8                                  | 85                           | 99               | 99,0                 | ja                    | 0                            | 20               | 15,8                 | ja                    |
| 5,6                                |                              |                  | 82,7                 |                       |                              |                  | 3,0                  |                       |
| 4                                  |                              |                  | 55,8                 |                       | 0                            | 5                | 2,2                  | ja                    |
| 2                                  | 0                            | 20               | 5,3                  | ja                    |                              |                  | 1,9                  |                       |
| 1                                  | 0                            | 5                | 1,0                  | ja                    |                              |                  | 1,6                  |                       |
| 0,063 <sup>1</sup>                 | 0                            | 4                | 0,1                  | ja                    |                              | 4                | 0,8                  | ja                    |
| Kategorie nach DIN EN 12620 Tab. 2 |                              |                  | G <sub>C</sub> 85/20 |                       |                              |                  | G <sub>C</sub> 85/20 |                       |
| Kategorie nach DIN 4226-100        |                              | G <sub>D85</sub> | G <sub>D85</sub>     | ja                    |                              | G <sub>D85</sub> | G <sub>D85</sub>     | ja                    |

<sup>1</sup> Einstufung des Gehaltes an Feinanteilen gemäß DIN 4226-100 in Kategorie f<sub>4</sub> (Siebdurchgang 0,063 mm ≤ 4 M.-%)



# Zusätzliche Untersuchungen: RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

am ungewaschenen RC-Material der Körnung 0/16 mm

(Ausgangsmaterial der Fa. Scherer + Kohl GmbH & Co. KG, Ludwigshafen)

Die Körnungen 2/8 mm und 8/16 mm wurden durch Aussiebung im Labor gewonnen.



Anteil 8-16 mm = 27,9 M.-%

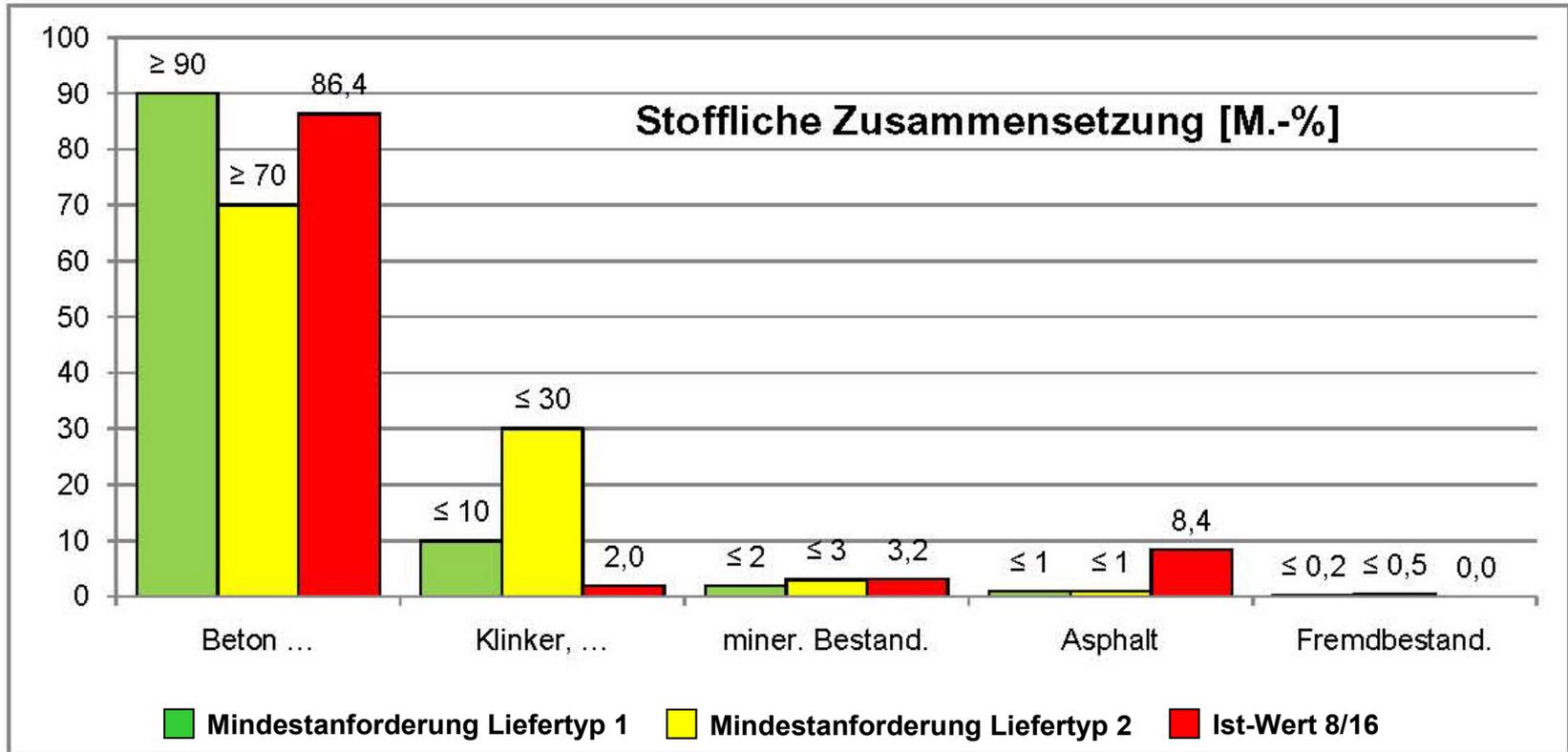
Anteil 2-8 ;mm = 32,0 M.-%

Anteil 0-2 mm = 39,7 M.-%

gemäß Untersuchung der Korngrößenverteilung nach DIN EN 933-1

# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

- **Stoffliche Zusammensetzung** des ungewaschenen Materials

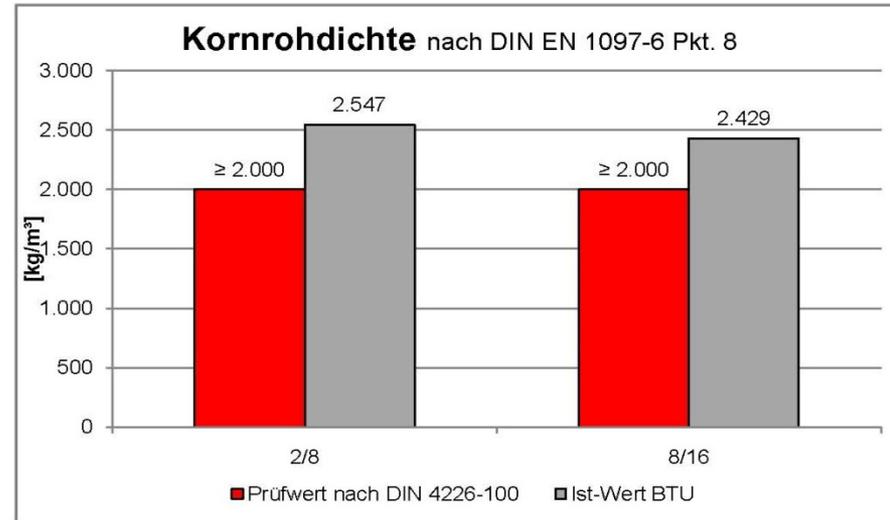


**Ergebnis:** Liefertyp 1 wird durch Nasssichtung erzielt

# RC-Gesteinskörnung – Gesteinsspezifische Eigenschaften

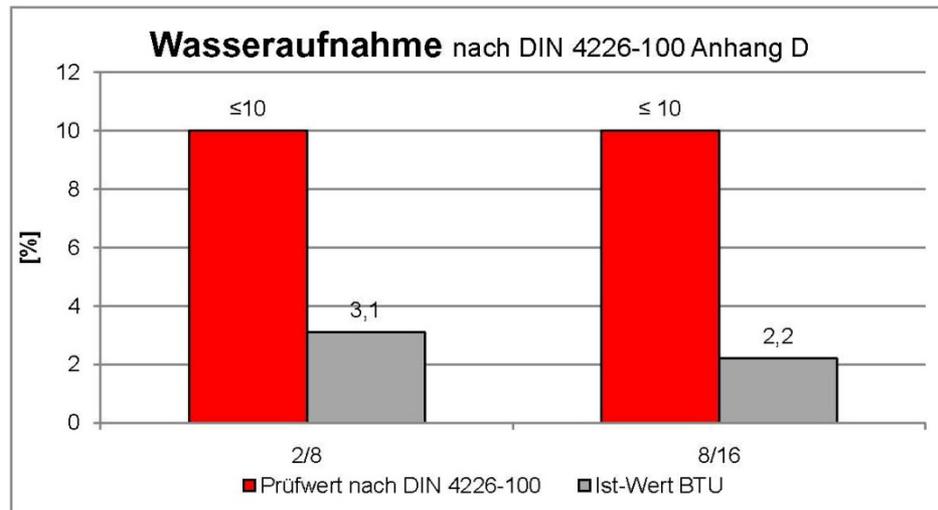
## ▪ Kornrohichte des ungewaschenen Materials

| Prüfkörnung in mm | Prüfwert nach        |                      |
|-------------------|----------------------|----------------------|
|                   | DIN 4226-100, Tab. 2 | BTU Cottbus          |
|                   | [kg/m <sup>3</sup> ] | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| 2/8               | ≥ 2.000              | 2.547                |
| 8/16              | ≥ 2.000              | 2.429                |



## ▪ Wasseraufnahme des ungewaschenen Materials

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



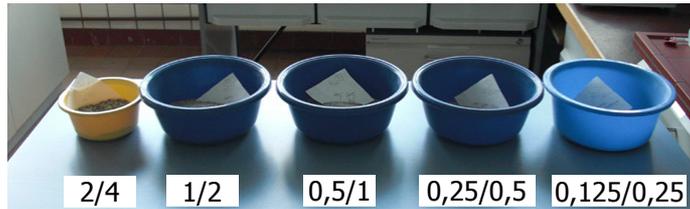
# RC-Gesteinskörnung – Untersuchungen zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion

## ▪ Mörtelschnelltest (Referenzverfahren)

Die Untersuchungen wurden an gewaschenem RC-Material der **Körnung 2/8 mm und 8/16 mm** der Fa. Scherer + Kohl GmbH & Co. KG, Ludwigshafen gemäß der **DAfStb-Rili „Alkali-Reaktion“** Teil 3 (Ausg. Febr. 2007) durchgeführt.

Je Körnung wurden 3 Mörtelprismen (40 x 40 x 100 mm) hergestellt.

Die Untersuchungen werden am 08.07.2009 abgeschlossen.



# RC-Gesteinskörnung – Untersuchungen zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion

## ▪ Mörtelschnelltest



## ▪ Bisherige Ergebnisse

| Dehnung $\epsilon$ [mm/m] |            | Körnung 2/8 mm |              |              |                            | Körnung 8/16 mm |              |              |                            |
|---------------------------|------------|----------------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------------------|
| Tage                      | Datum      | $\epsilon_1$   | $\epsilon_2$ | $\epsilon_3$ | $\epsilon_{\text{mittel}}$ | $\epsilon_1$    | $\epsilon_2$ | $\epsilon_3$ | $\epsilon_{\text{mittel}}$ |
| 0                         | 25.06.2009 | -              | -            | -            | -                          | -               | -            | -            | -                          |
| 1                         | 26.06.2009 | 0,050          | 0,063        | 0,069        | 0,061                      | 0,100           | 0,106        | 0,100        | 0,102                      |
| 5                         | 30.06.2009 |                |              |              |                            |                 |              |              |                            |
| 8                         | 03.07.2009 |                |              |              |                            |                 |              |              |                            |
| 13                        | 08.07.2009 |                |              |              |                            |                 |              |              |                            |
| Grenzwert                 |            | 1,0 mm/m       |              |              |                            |                 |              |              |                            |

Eine Aussage kann erst nach Ablauf der Versuchsphase (Ende der Lagerung im Laugebad nach 13 Tagen) getroffen werden.

Bei einem negativen Ergebnis ist Durchführung der Betonversuche mit Nebelkammerlagerung (40°C, 9 Monate) erforderlich.

# Untersuchungen zu RC-Beton-Rezepturen

Die bisherigen Untersuchungen erfolg(t)en an den durch die Fa. TBS entwickelten Rezepturen.

|  | <b><u>Bearbeitungsstand</u></b> |
|--|---------------------------------|
| <b>▪ Frischbetonuntersuchungen</b> (durch Fa. TBS)             |                                 |
| ➤ Konsistenz   | abgeschlossen                   |
| ➤ Frischbetonrohddichte  | abgeschlossen                   |
| <b>▪ Festbetonuntersuchungen</b>                               |                                 |
| ➤ Druckfestigkeitsprüfungen nach 1, 2, 7, 28 und 56 Tagen      | in Arbeit                       |
| ➤ Festbetonrohddichte entspr. Druckfestigkeitsprüfungen        | in Arbeit                       |
| ➤ Untersuchung zur Biegezugfestigkeit                          | in Arbeit                       |
| ➤ Elastizitätsmodul  | abgeschlossen                   |
| ➤ Wasserundurchlässigkeit                                      | abgeschlossen                   |
| ➤ Untersuchung des Schwindverhaltens                           | in Arbeit                       |
| ➤ Untersuchungen eines Referenzbetons (Änderung der Zementart) | in Arbeit                       |
| ➤ Karbonatisierung   | in Arbeit                       |
| <b>▪ Untersuchungen zu RC<sup>2</sup>-Beton</b>                | in Vorbereitung                 |

# Überblick zu den entwickelten 8 RC-Beton-Rezepturen

[TBS]

## Teil (1)

| Festigkeitsklasse                      | C 8/10         | C 12/15      | C 12/15      | C 20/25      |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Konsistenz                             | C1             | C1           | F3           | F3           |
| Expositionsklasse                      | X0             | X0           | X0           | XC1/XC2      |
| <b>Rezepturzusammensetzung [kg]</b>    |                |              |              |              |
| Zement*                                | 155 + 25 Asche | 210          | 260          | 310          |
| Wasser                                 | 139,5          | 168          | 195          | 192,2        |
| 0-2 mm Natursand                       | 650,94         | 622,81       | 590,88       | 576,59       |
| 2-8 mm Naturkies                       |                |              |              | 270,28       |
| Betongranulat                          | 512,43         | 490,28       | 465,15       | 226,95       |
| 8-16 mm Naturkies                      |                |              |              | 144,15       |
| Betongranulat                          | 649,08         | 621,02       | 589,19       | 453,9        |
| <b>Massenanteil RC-Gesteinskörnung</b> | <b>68,0%</b>   | <b>68,0%</b> | <b>68,0%</b> | <b>45,0%</b> |

\*CEM II/B-V42,5R und CEM IV/B-V 32,5R

C1 Verdichtungsmaßklasse (= alt DIN 1045 KS-steif ( $\leq 340$  mm Ausbreitmaß))

F3 Ausbreitmaß 420 – 480 mm; Konsistenzbereich weich

CEM II/B-V Portlandflugaschezement; (21 – 35 M.-% Flugasche kieselsäurereich)

CEM IV/B-V Puzzolanzement

## Teil (2)

| Festigkeitsklasse                      | C 25/30              | C 25/30 wu           | C 30/37          | C 35/45              |
|--|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| Konsistenz                             | F3                   | F3                   | F3               | F3                   |
| Expositionsklasse                      | XC4/XF1, XA1 bei Ü2) | XC4/XF1, XA1 bei Ü2) | XC4/XA1/XD1, XM1 | XC4/XF2/XA2/XD2, XM2 |
| <b>Rezepturzusammensetzung [kg]</b>    |                      |                      |                  |                      |
| Zement*                                | 330                  | 340                  | 360              | 360                  |
| Wasser                                 | 191,4                | 180,2                | 187,2            | 172,8                |
| 0-2 mm Natursand                       | 574,18               | 579,32               | 566,02           | 575,62               |
| 2-8 mm Naturkies                       | 358,86               | 362,08               | 353,76           | 359,77               |
| Betongranulat                          | 150,67               | 152,02               | 148,53           | 151,05               |
| 8-16 mm Naturkies                      | 233,26               | 235,35               | 318,38           | 413,73               |
| Betongranulat                          | 376,67               | 380,04               | 297,05           | 226,57               |
| <b>Massenanteil RC-Gesteinskörnung</b> | <b>35,0%</b>         | <b>35,0%</b>         | <b>30,0%</b>     | <b>25,0%</b>         |

\*CEM II/B-V42,5R und CEM IV/B-V32,5R; CEM II/B-V52,5R

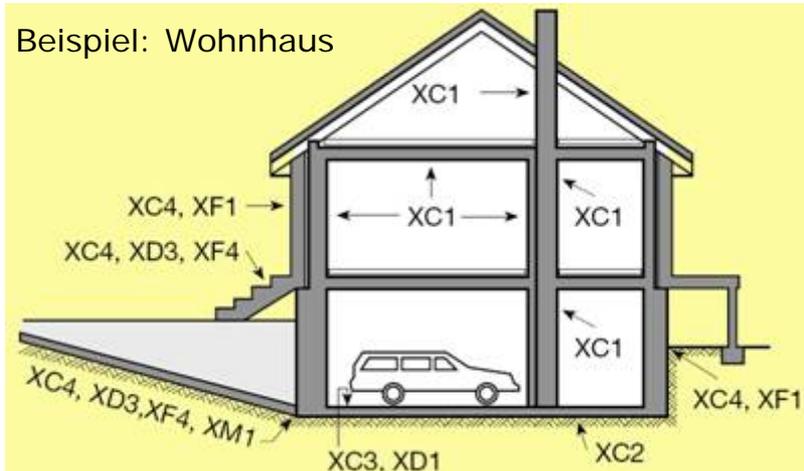
F3            Ausbreitmaß 420 – 480 mm; Konsistenzbereich weich  
 CEM II/B-V    Portlandflugaschezement; (21 – 35 M.-% Flugasche kieselsäurereich)  
 CEM IV/B-V    Puzzolanzement

# Expositionsklassen

Erfassung möglicher Einwirkungen

- auf Bewehrung im Beton:
  - XC** (Carbonation), **XD** (Deicing),
  - XS** (S seawater)
- auf Beton: **XF** (Freezing), **XA** (Chemical **A**ttack), **XM** (Mechanical Abrasion)

Beispiel: Wohnhaus



| Maßgebende Expositionsklassen | Beschreibung der Umgebung             | Beispiele für die Zuordnung   | Mindestdruckfestigkeitsklassen min $f_{ck}$ | Mindestbetondeckung $c_{min}$ [mm] Betonstahl |
|-------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| XC 1                          | Trocken od. ständig nass              | Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte                            | C 16/20                                     | 10  |
| XC 2                          | Nass, selten trocken                  | Fundamentplatte   | C 16/20                                     | 20  |
| XC 3                          | Mäßige Feuchte                        | Bauteile, zu denen die Außenluft häufig Zugang hat                          | C 20/25                                     | 20  |
| XC 4                          | Wechselnd nass u. trocken             | Außenbauteile-direkte Beregnung   | C 25/30                                     | 25  |
| XD 1                          | Mäßige Feuchte                        | Betonoberfl., die chloridhaltigen Sprühnebeln ausgesetzt sind, z.B. Garagen | C 30/37                                     | 40  |
| XF 1                          | Wechselnd nass und trocken            | Außenwände, die Regen und Frost ausgesetzt sind                             | C 25/30                                     |   |
| XD 3                          | Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel | Fahrbahndecken  | C 35/45                                     | 40  |
| XF 4                          | Mäßige Wassersättigung mit Taumitteln | Taumittelbehandelte Verkehrsflächen   | C 30/37                                     |   |
| XM 1                          | Mäßige Verschleißbeansprg.            |   | C 30/37                                     |   |

# RC-Beton – Betondruckfestigkeiten nach DIN EN 12390-3:2002-04

- **Bisherige Ergebnisse** nach 1, 2, 7, 28 und 56 Tagen

|  |                                   | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6          | 7       | 8       |
|--|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|
| Festigkeitsklasse  |                                   | C 8/10  | C 12/15 | C 12/15 | C 20/25 | C 25/30 | C 25/30 wu | C 30/37 | C 35/45 |
| Konsistenzklasse   |                                   | C1      | C1      | F3      | F3      | F3      | F3         | F3      | F3      |
| Druckfestigkeit $f_{ci,cube}$ nach 1 Tag                             | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 0,8     | 8,8     | 3,5     | 6,6     | 5,7     | 7,1        | 6,2     | 7,1     |
| Druckfestigkeit $f_{ci,cube}$ nach 2 Tagen                           | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 3,7     | 18,6    | 7,5     | 13,3    | 13,7    | 15,5       | 15,4    | 16,4    |
| Druckfestigkeit $f_{ci,cube}$ nach 7 Tagen                           | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 8       | 33,3    | 19,1    | 24,9    | 26,1    | 24,4       | 28,9    | 32,9    |
| Druckfestigkeit $f_{ci,cube}$ nach 28 Tagen                          | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 15,0    | 39,5    | 20,5    | 35,0    | 40,5    | 42,0       | 51,0    | 61,0    |
|  | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 16,0    | 42,0    | 19,5    | 36,5    | 40,0    | 41,0       | 52,5    | 61,5    |
| Druckfestigkeit $f_{ci,cube}$ nach 56 Tagen                          | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 19,5    | 48,0    | 22,5    | 38,0    | 42,5    | 47,5       |         |         |
|  | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 18,0    | 48,5    | 22,5    | 39,0    | 43,0    | 45,5       |         |         |
| Mittelwert $f_{cm}$ nach 28 und 56 Tagen                             | [N/mm <sup>2</sup> ]              | 17,1    | 44,5    | 21,3    | 37,1    | 41,5    | 44,0       | 51,8    | 61,3    |
| <b>Konformitätsnachweis Druckfestigkeit Erstprüfung<sup>1)</sup></b> |                                   |         |         |         |         |         |            |         |         |
| Kriterium 1: $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$                                |                                   |         |         |         |         |         |            |         |         |
|  | $f_{ck} + 4$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 14      | 19      | 19      | 29      | 34      | 34         | 41      | 49      |
| Anforderungen Kriterium 1  |                                   | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt    | erfüllt | erfüllt |
| Kriterium 2: $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$                                |                                   |         |         |         |         |         |            |         |         |
|  | $f_{ck} - 4$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 6       | 11      | 11      | 21      | 26      | 26         | 33      | 41      |
| Anforderungen Kriterium 2  |                                   | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt    | erfüllt | erfüllt |
| Maximal erfüllte Festigkeitsklasse                                   |                                   | C 8/10  | C 30/37 | C 12/15 | C 25/30 | C 30/37 | C 30/37    | C 35/40 | C 45/55 |

<sup>1)</sup> Eilert, H.; Belthge, W.: Beton - Prüfen nach Norm, Schriftenreihe Bauberatung Zement, Hrsg. BDZ, 2005.

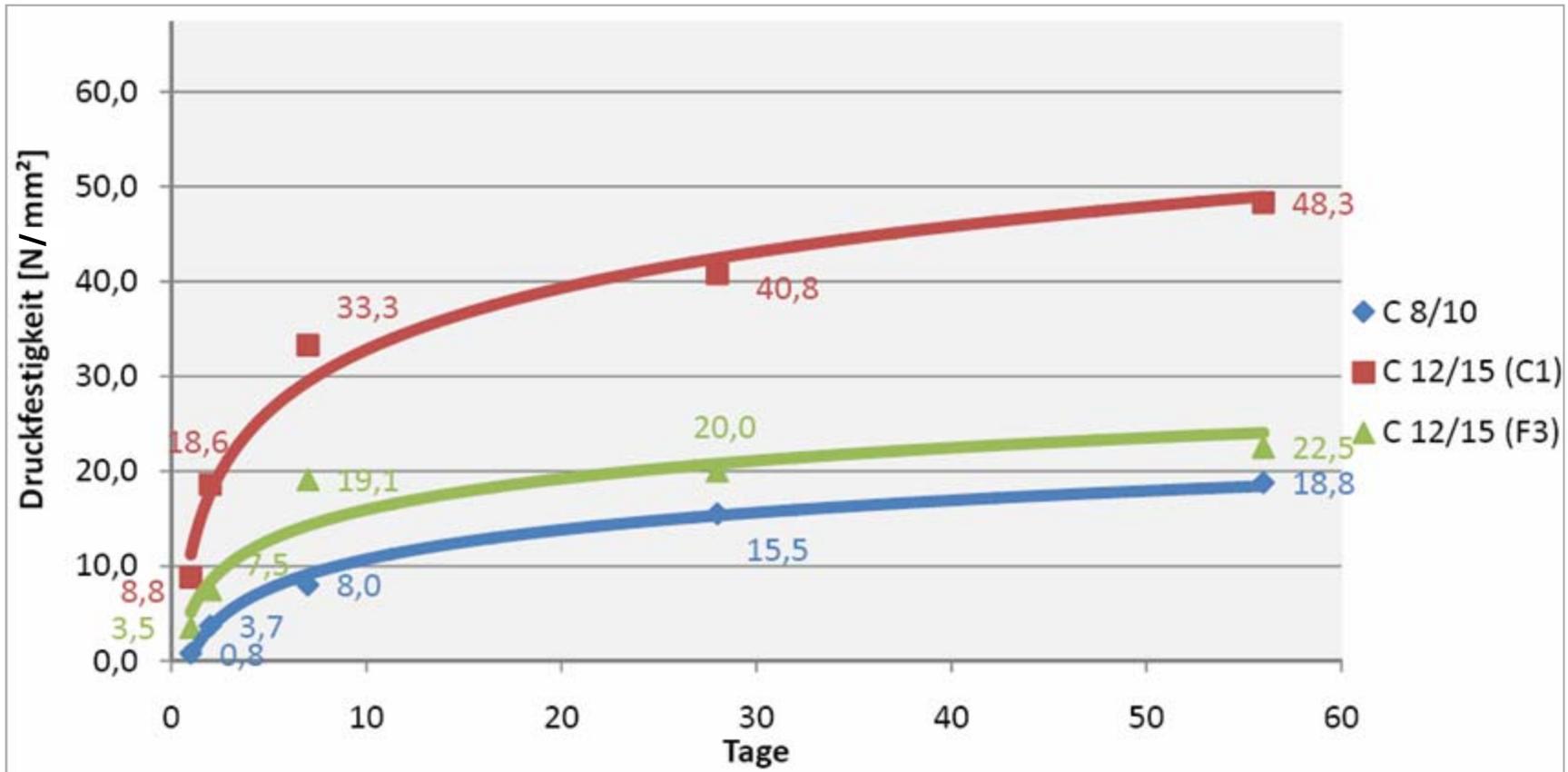
$f_{ci}$  - Druckfestigkeitsmesswert  
 $f_{cm}$  - Mittelwert der Druckfestigkeitsmesswerte  
 $f_{ck}$  - Nennfestigkeit

**Alle Anforderungen der jeweiligen Festigkeitsklasse wurden erfüllt.**



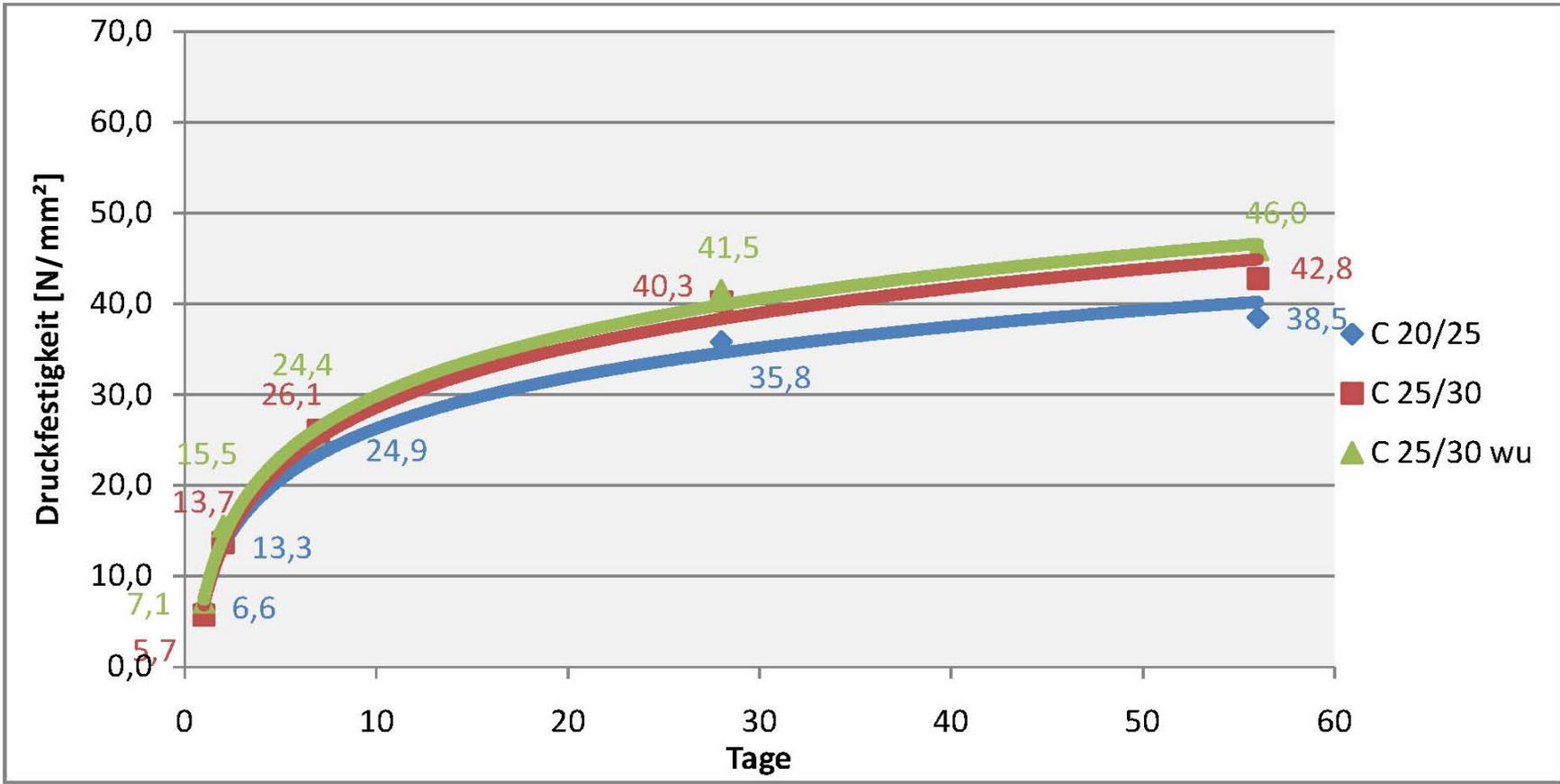
# RC-Beton – Betondruckfestigkeiten Entwicklung

Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009



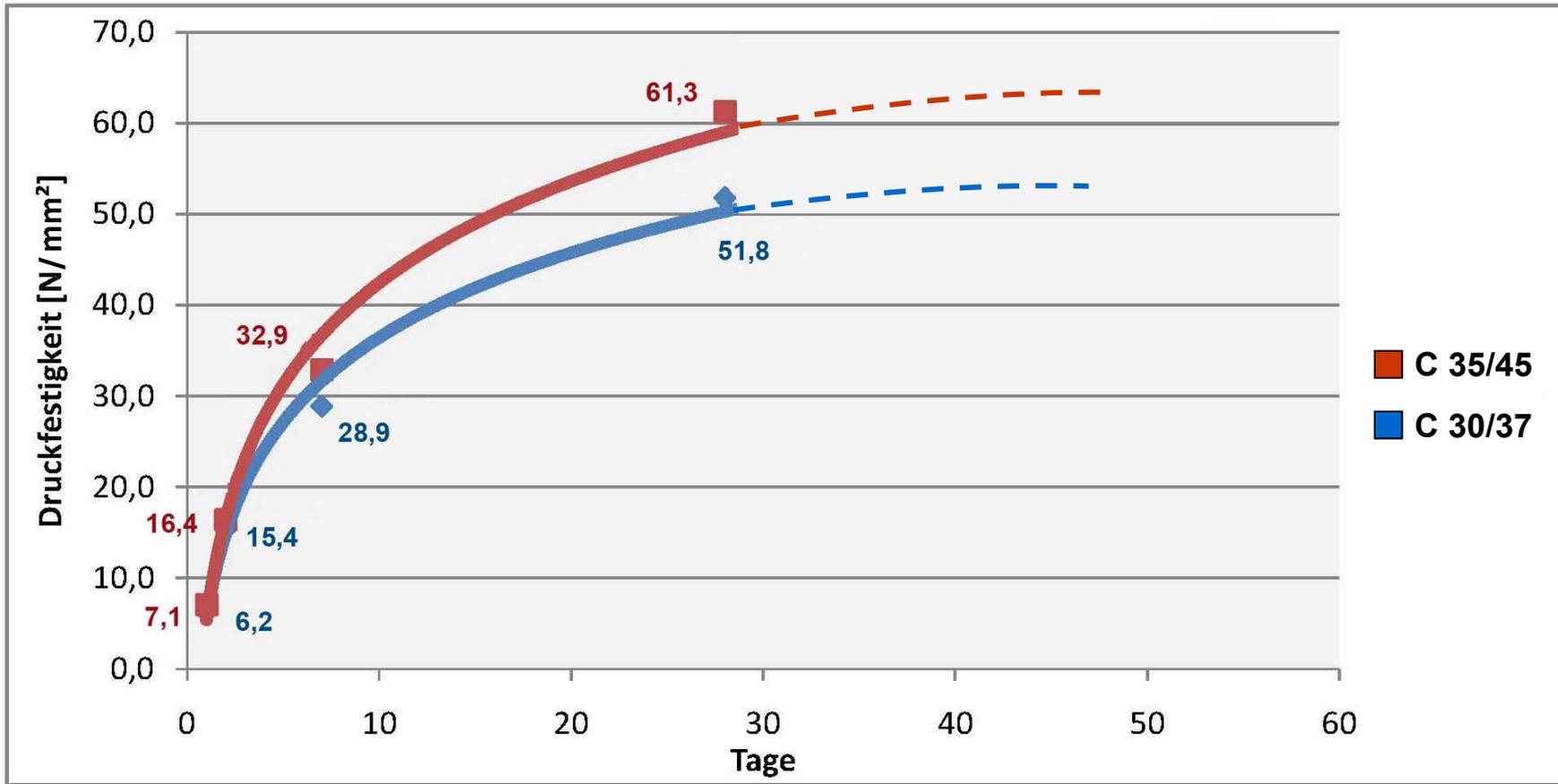
# RC-Beton – Betondruckfestigkeiten Entwicklung

Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009



# RC-Beton – Betondruckfestigkeiten Entwicklung

Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009



# RC-Beton – Biegezugfestigkeiten

Untersuchung erfolgte an Prismen 700 x 150 x 150 mm nach **DIN EN 12390-5:2001-02** an den Betonrezepturen:

**C 20/25, C 25/30 wu, C 30/37, C 35/45**



Es erfolgte keine Wasserlagerung der Probekörper (nicht DIN gerecht).

# RC-Beton – Elastizitätsmodul (E-Modul)

Untersuchung an zylindrischen Prüfkörpern  $\varnothing 99,5 / 140$  mm

in Anlehnung an **DIN 1048-5:1991-06** an entwickelten RC-Betonen:

**C 20/25, C 25/30, C 25/30 wu, C 30/37, C 35/45**



**Lagerung nach DIN EN 12390-2:2001-06, Anhang NA**

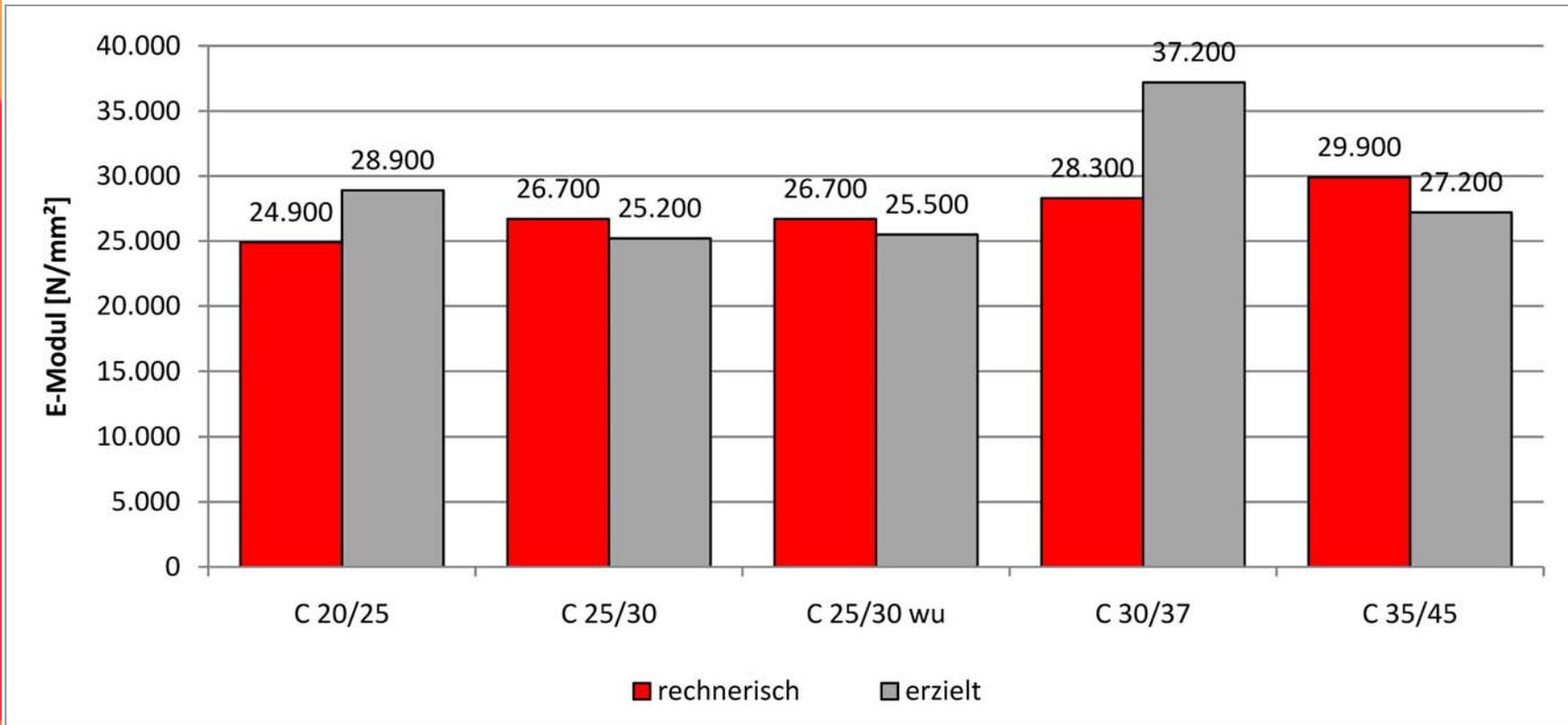
**Messstrecke: 80 mm**

# RC-Beton – Elastizitätsmodul (E-Modul)

## Ergebnisse:

| E-Modul $E_{cm}$                          |                      | C 20/25 | C 25/30 | C 25/30 wu | C 30/37 | C 35/45 |
|---|----------------------|---------|---------|------------|---------|---------|
| rechnerisch für Normalbeton <sup>1)</sup> | [N/mm <sup>2</sup> ] | 24.900  | 26.700  | 26.700     | 28.300  | 29.900  |
| erzielter E-Modul                         | [N/mm <sup>2</sup> ] | 28.900  | 25.200  | 25.500     | 37.200  | 27.200  |
| maximale Differenz                        | [N/mm <sup>2</sup> ] | 4.000   | -1.500  | -1.200     | 8.900   | -2.700  |

<sup>1)</sup> gemäß Korrektur des E-Moduls in DIN 1045-1 und DIN Fachbericht 102



## RC-Beton – Wasserundurchlässigkeit

Untersuchung an Prüfkörpern 200 x 200 x 120 mm nach LOHMEYER

an den RC-Betonen: **C 25/30 wu**, **C 30/37**

### Verfahren nach LOHMEYER:

Probekörper in Prüfrichtung einspannen und 72 h lang einem konstanten Wasserdruck von 5 bar aussetzen,

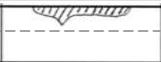
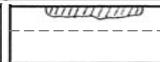
Probekörper 7 Tage drucklos unter Wasser lagern,

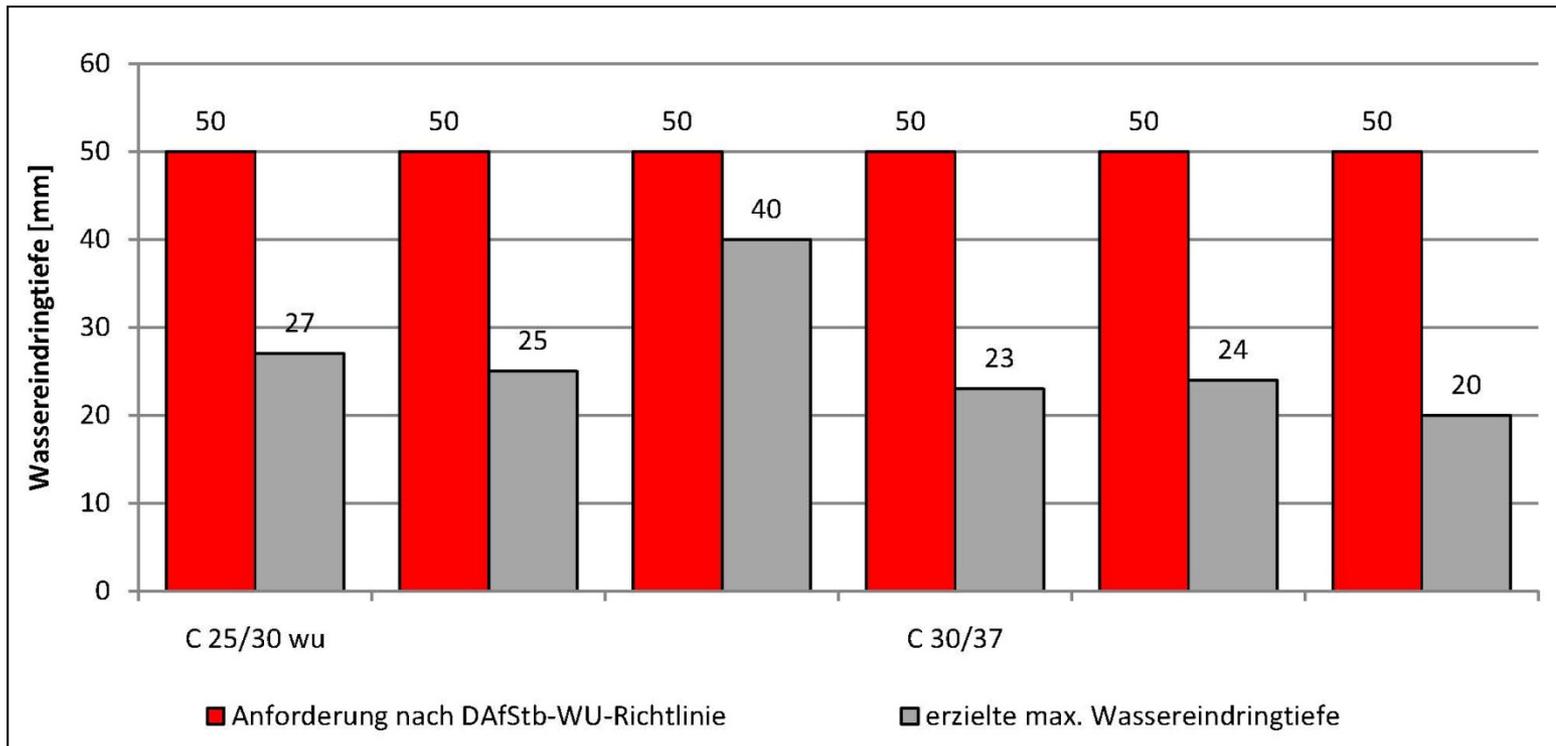
Probekörper nach DIN 1048-5:1991-06, Abschn. 7.6 prüfen (72 h bei 5 bar).



# RC-Beton – Wasserundurchlässigkeit

## Ergebnisse:

| Wassereindringtiefe [mm]              |      | C 25/30 wu  |  |   | C 30/37   |   |   |
|---------------------------------------|------|---|--|---|---|---|---|
| Anforderung nach DAfStb-WU-Richtlinie | [mm] | 50  | 50   | 50  | 50  | 50  | 50  |
| erzielte max. Wassereindringtiefe     | [mm] | 27  | 25   | 40  | 23  | 24  | 20  |
| Verteilung                            |      | gleichmäßig   | gleichmäßig  | ungleichmäßig   | gleichmäßig   | gleichmäßig   | gleichmäßig   |
| <b>Anforderungen erfüllt</b>          |      | <b>ja</b>   | <b>ja</b>  | <b>ja</b>   | <b>ja</b>   | <b>ja</b>   | <b>ja</b>   |
| Verlauf der Wassereindringtiefe       |      |  |  |  |  |  |  |

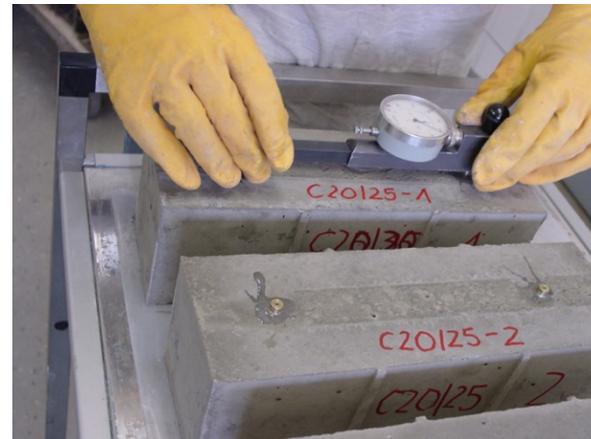


# RC-Beton – Schwindversuch

Untersuchung an Prüfkörpern 300 x 100 x 100 mm an den RC-Betonen:

**C 20/25, C 25/30, C 25/30 wu, C 35/45**

Lagerung Prüfkörper: Normalklima

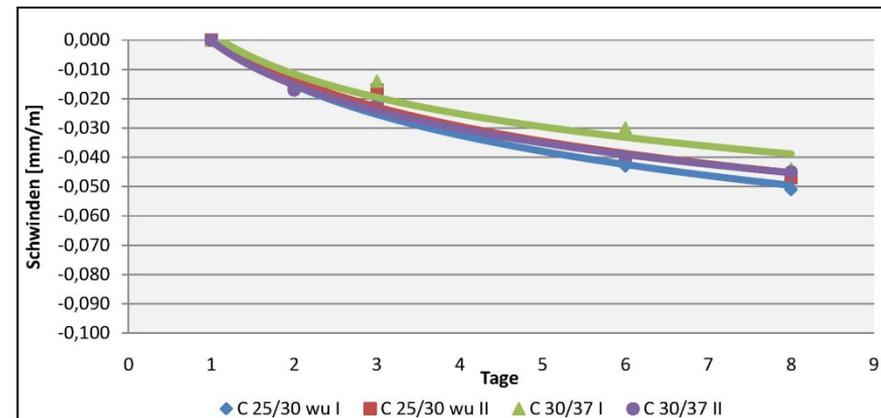
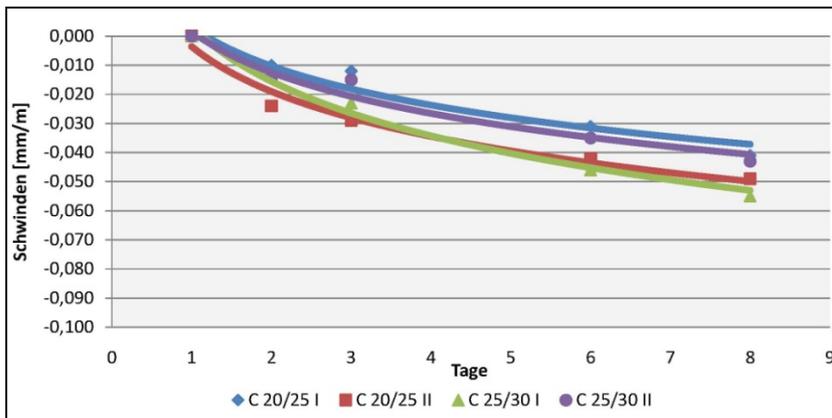


# RC-Beton – Schwindversuch

## Ergebnisse:

| Schwinden $\Delta l$ [mm/m]                | C 20/25        |        | C 25/30 |        | C 25/30 wu |        | C 30/37 |        |
|--|----------------|--------|---------|--------|------------|--------|---------|--------|
|  | I              | II     | I       | II     | I          | II     | I       | II     |
| nach 1 Tag                                 | 0              | 0      | 0       | 0      | 0          | 0      | 0       | 0      |
| nach 2 Tagen                               | -0,010         | -0,024 | -0,013  | -0,014 | -0,015     | -0,014 | -0,013  | -0,017 |
| nach 3 Tagen                               | -0,012         | -0,029 | -0,023  | -0,015 | -0,022     | -0,017 | -0,014  | -0,022 |
| nach 6 Tagen                               | -0,031         | -0,042 | -0,046  | -0,035 | -0,043     | -0,040 | -0,030  | -0,040 |
| nach 8 Tagen                               | -0,041         | -0,049 | -0,055  | -0,043 | -0,051     | -0,047 | -0,044  | -0,045 |
| nach 28 Tagen                              |                |        |         |        |            |        |         |        |
| nach 56 Tagen                              |                |        |         |        |            |        |         |        |
| Anhaltswert <sup>1</sup> für Endschwindmaß | 0,1 - 0,5 mm/m |        |         |        |            |        |         |        |

<sup>2)</sup> nach: Betontechnischen Daten, Ausgabe 2009, HeidelbergCement, S. 141, Tab. 9.6.3.a, genaue Berechnung nach DIN 1045-1, Abschn. 9.1.4.



# RC-Beton – Referenzbeton – Zusatzprüfung

Herstellung der Prüfkörper gemäß RC-Betonrezepturen: **C 20/25, C 25/30 wu**

Austausch des verwendeten Zementes CEM II/B 42,4 R durch **CEM I 42,5R**

Untersuchungen: Festbetonrohichte und Druckfestigkeit nach 7 und 28 Tagen

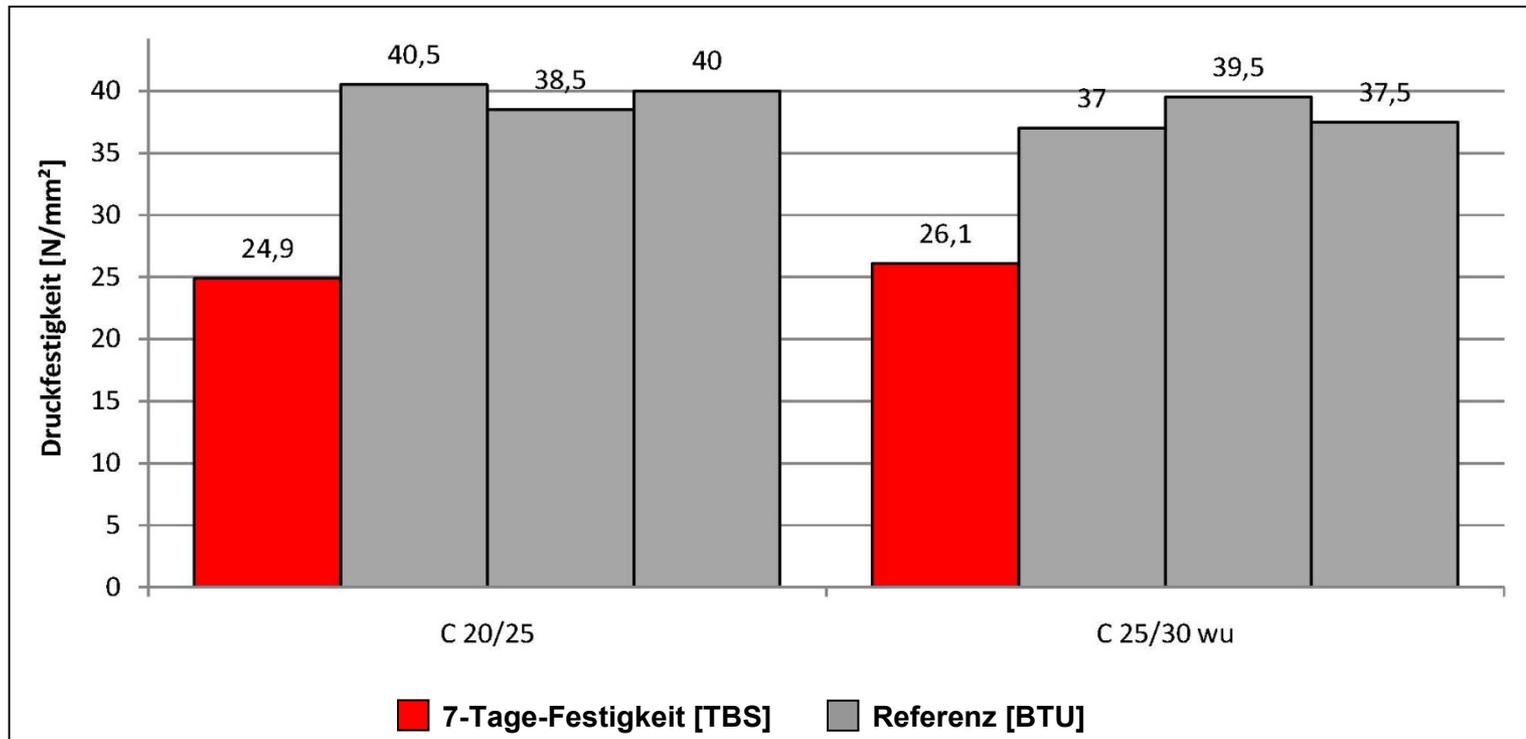
Lagerung Prüfkörper: nach DIN EN 12390-2:2001-6, Anhang NA

Pilotprojekt Recycling-Beton, Ludwigshafen 30.06.2009



# RC-Beton – Referenzbeton

| Druckfestigkeit nach 7 Tagen |                   | C 20/25 |      |      | C 25/30 |      |      |
|------------------------------|-------------------|---------|------|------|---------|------|------|
| Ausgangsbeton (TBS, CEM II)  | N/mm <sup>2</sup> | 24,9    |      |      | 26,1    |      |      |
| Referenzbeton (BTU, CEM I)   | Prüfkörper Nr.    | I       | II   | III  | I       | II   | III  |
| Einzelwerte $f_{ci, cube}$   | N/mm <sup>2</sup> | 40,5    | 38,5 | 40,0 | 37,0    | 39,5 | 37,5 |
| Mittelwert $f_{cm}$          | N/mm <sup>2</sup> | 40,0    |      |      | 38,0    |      |      |



# RC-Gesteinskörnung - Umweltverträglichkeitsprüfung

## Bewertungsverfahren:

nach DIN 4226-100:2002-02, Anhang G

## Ergebnis:

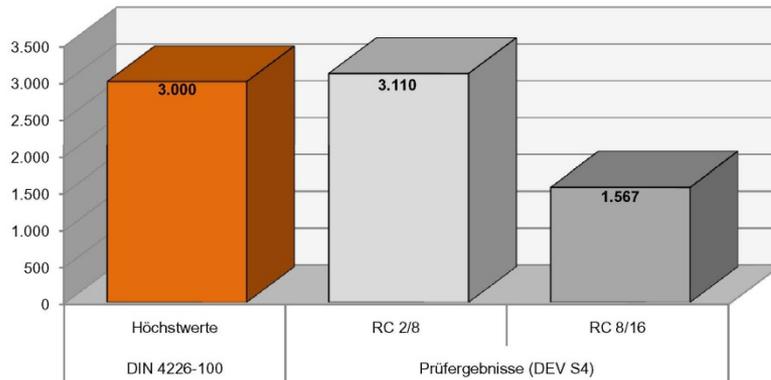
Alle erforderlichen Parameter werden eingehalten.

Die erhöhte elektrische Leitfähigkeit wie auch der pH-Wert stellen kein Ausschlusskriterium dar.

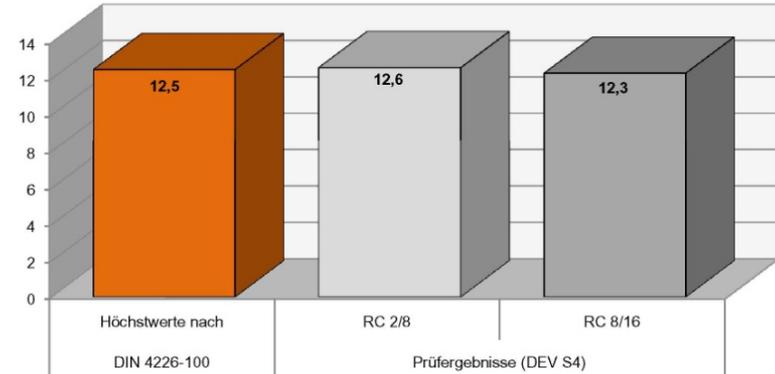
| Parameter                          |       | DIN 4226-100 | Prüfergebnisse (DEV S4) |                    |
|------------------------------------|-------|--------------|-------------------------|--------------------|
| Eluat                              |       | Höchstwerte  | RC 2/8                  | RC 8/16            |
| Färbung                            | ---   | ---          | farblos                 | farblos            |
| Trübung                            | TE    | ---          | 2 TE (F)                | 5 TE (F)           |
| Geruch                             | ---   | ---          | ohne                    | ohne               |
| pH-Wert <sup>1</sup>               | ---   | 12,5         | 12,6                    | 12,3               |
| elektr. Leitfähigkeit <sup>1</sup> | 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               |
| <b>Höchstwerte</b>                 |       |              | <b>eingehalten</b>      | <b>eingehalten</b> |

<sup>1</sup> kein Ausschlusskriterium

elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]



pH-Wert



# RC-Gesteinskörnung – Umweltverträglichkeitsprüfung – Synopse / Zusatzuntersuchung

**Untersuchungsverfahren:** Schüttelverfahren S4 im W/F-Verhältnis 10:1 nach DIN 38414-4:1984-10

**Bewertungsverfahren:** nach LAGA Merkblatt M20 und

Erlass des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

**Ergebnis:** **RC 2/8** entspricht **> Z 2**; **RC 8/16** entspricht **Z 1.2**

| Parameter             |       | Zuordnungswerte nach LAGA (Auszug) / Erlass Min. U. u. V. BaWü <sup>1)</sup> |            |       |          |       |            |       | Prüfergebnisse (DEV S4) |                      |      |
|-----------------------|-------|--|------------|-------|----------|-------|------------|-------|-------------------------|----------------------|------|
|                       |       | Z 0  | Z 1.1      |       | Z 1.2    |       | Z 2        |       | RC 2/8                  | RC 8/16              |      |
| Färbung               |       |  |            |       |          |       |            |       | farblos                 | farblos              |      |
| Trübung               | TE    |  |            |       |          |       |            |       | 2 TE (F)                | 5 TE (F)             |      |
| Geruch                |       |  |            |       |          |       |            |       | ohne                    | ohne                 |      |
| pH-Wert               |       |  | 7,5 – 12,5 |       |          |       |            |       |                         | 12,6                 | 12,3 |
|                       |       |  | 6,5 – 12,5 |       | 6 – 12,5 |       | 5,5 – 12,5 |       |                         |                      |      |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 500  | 1.500      | 2.500 | 3.000    | 3.000 | 3.000      | 5.000 | 3.110                   | 1.567                |      |
| Phenolindex           | µg/l  | 10   | 10         | 20    | 50       | 50    | 100        | 100   | 18                      | 17                   |      |
| Chlorid               | mg/l  | 10   | 20         | 100   | 40       | 200   | 150        | 300   | 21,3                    | 14,2                 |      |
| Sulfat                | mg/l  | 50   | 150        | 250   | 300      | 400   | 600        | 600   | 28                      | 17                   |      |
| Arsen                 | µg/l  | 10   | 10         | 15    | 40       | 30    | 60         | 60    | 0,26                    | < 0,2                |      |
| Blei                  | µg/l  | 20   | 40         | 40    | 100      | 100   | 200        | 200   | < 20                    | < 20                 |      |
| Cadmium               | µg/l  | 2  | 2          | 2     | 5        | 5     | 10         | 6     | < 2                     | < 2                  |      |
| Chrom                 | µg/l  | 15   | 30         | 30    | 75       | 75    | 150        | 100   | < 10                    | < 10                 |      |
| Kupfer                | µg/l  | 50   | 50         | 50    | 150      | 150   | 300        | 200   | < 10                    | < 10                 |      |
| Nickel                | µg/l  | 40   | 50         | 50    | 150      | 100   | 200        | 100   | < 10                    | < 10                 |      |
| Quecksilber           | µg/l  | 0,2  | 0,2        | 0,5   | 1        | 1     | 2          | 2     | 0,17                    | 0,11                 |      |
| Zink                  | µg/l  | 100  | 100        | 150   | 300      | 300   | 600        | 400   | < 10                    | < 10                 |      |
| <b>Einstufung:</b>    |       |  |            |       |          |       |            |       | <b>&gt; Z 2 / Z 2</b>   | <b>Z 1.2 / Z 1.2</b> |      |

<sup>1)</sup> Auszug

Überschreitung des Zuordnungswertes Z 2 nach LAGA "rot" gekennzeichnet

TE(F) Trübungseinheit/Formazin

# RC-Gesteinskörnung – Umweltverträglichkeitsprüfung – Synopse / Zusatzuntersuchung

**Bewertungsverfahren:** nach Ersatzbaustoffverordnung (Arbeitsentwurf; Stand 13.11.2007)

**Untersuchungsverfahren:** Schüttelverfahren im W/F-Verhältnis 2:1 nach DIN 19529:2009-01

**Ergebnis:** **RC 2/8** entspricht **RC-3**; **RC 8/16** entspricht **RC-2**

| Parameter             |       | Zuordnungswerte nach ErsatzbaustoffV |       |        | Prüfergebnisse (W/F 2:1) |         |
|-----------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------|--------------------------|---------|
|                       |       | RC-1                                 | RC-2  | RC-3   | RC 2/8                   | RC 8/16 |
| pH-Wert               | ---   | 7 - 12,5                             |       |        | 12,6                     | 12,4    |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 2.000                                | 2.500 | 10.000 | 3.330                    | 2.230   |
| Sulfat                | mg/l  | 350                                  | 700   | 1.400  | 25                       | 38      |
| PAK nach EPA          | µg/l  | 3                                    | 4,5   | 15     | 0,37                     | 0,16    |
| Chrom                 | µg/l  | 50                                   | 60    | 100    | < 10                     | < 10    |
| Kupfer                | µg/l  | 40                                   | 70    | 100    | < 10                     | < 10    |
| Vanadium              | µg/l  | 30                                   | 50    | 100    | < 5                      | < 5     |
| Einstufung:           |       |                                      |       |        | RC-3                     | RC-2    |

# Natürliche Gesteinskörnung – Umweltverträglichkeitsprüfung – Synopse / Zusatzuntersuchung

**Bewertungsverfahren:** - nach LAGA Merkblatt M20 und  
- Ersatzbaustoffverordnung (Arbeitsentwurf; Stand 13.11.2007)

**Untersuchungsverfahren:** Schüttelverfahren S4 im W/F-Verhältnis 10:1 nach DIN 38414-4:1984-10 und W/F-Verhältnis 2:1 nach DIN 19529:2009-01

## Ergebnis:

Alle natürlichen Gesteinskörnungen entsprechen

- **Z 0** nach LAGA;
- **RC-1** nach ErsatzbaustoffV

| Parameter             |       | Zuordnungswerte nach ErsatzbaustoffV |       |        | Prüfergebnisse (W/F 2:1) |             |             |
|-----------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------|--------------------------|-------------|-------------|
|                       |       | RC-1                                 | RC-2  | RC-3   | Sand 0/2                 | Kies 2/8    | Kies 8/16   |
| pH-Wert               | ---   | 7 - 12,5                             |       |        | 9,49                     | 9,51        | 9,42        |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 2.000                                | 2.500 | 10.000 | 111                      | 93,8        | 58,2        |
| Sulfat                | mg/l  | 350                                  | 700   | 1.400  | 19                       | 11          | 12          |
| PAK nach EPA          | µg/l  | 3                                    | 4,5   | 15     | 0,44                     | 0,27        | 0,71        |
| Chrom                 | mg/l  | 50                                   | 60    | 100    | < 10                     | < 10        | < 10        |
| Kupfer                | mg/l  | 40                                   | 70    | 100    | < 10                     | < 10        | < 10        |
| Vanadium              | mg/l  | 30                                   | 50    | 100    | < 5                      | < 5         | < 5         |
| <b>Einstufung:</b>    |       |                                      |       |        | <b>RC-1</b>              | <b>RC-1</b> | <b>RC-1</b> |

| Parameter             |       | Zuordnungswerte nach LAGA |       |       |       | Prüfergebnisse (DEV S4) |            |            |
|-----------------------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|------------|------------|
|                       |       | Z 0                       | Z 1.1 | Z 1.2 | Z 2   | Sand 0/2                | Kies 2/8   | Kies 8/16  |
| Färbung               | ---   | ---                       | ---   | ---   | ---   | farblos                 | farblos    | farblos    |
| Trübung               | TE    | ---                       | ---   | ---   | ---   | < BG                    | < BG       | 2 TE (F)   |
| Geruch                | ---   | ---                       | ---   | ---   | ---   | ohne                    | ohne       | ohne       |
| pH-Wert               | ---   | 7,5 – 12,5                |       |       |       | 9,58                    | 9,78       | 9,39       |
| elektr. Leitfähigkeit | µS/cm | 500                       | 1.500 | 2.500 | 3.000 | 61,4                    | 56,6       | 58,2       |
| Phenolindex           | µg/l  | < 10                      | 10    | 50    | 100   | < 10                    | < 10       | < 10       |
| Chlorid               | mg/l  | 10                        | 20    | 40    | 150   | 1,42                    | 2,13       | 1,77       |
| Sulfat                | mg/l  | 50                        | 150   | 300   | 600   | 21                      | 10         | 12         |
| Arsen                 | µg/l  | 10                        | 10    | 40    | 60    | < 0,2                   | < 0,2      | < 0,2      |
| Blei                  | µg/l  | 20                        | 40    | 100   | 200   | < 20                    | < 20       | < 20       |
| Cadmium               | µg/l  | 2                         | 2     | 5     | 10    | < 2                     | < 2        | < 2        |
| Chrom                 | µg/l  | 15                        | 30    | 75    | 150   | < 10                    | < 10       | < 10       |
| Kupfer                | µg/l  | 50                        | 50    | 150   | 300   | < 10                    | < 10       | < 10       |
| Nickel                | µg/l  | 40                        | 50    | 150   | 200   | < 10                    | < 10       | < 10       |
| Quecksilber           | µg/l  | 0,2                       | 0,2   | 1     | 2     | 0,1                     | < 0,1      | < 0,1      |
| Zink                  | µg/l  | 100                       | 100   | 300   | 600   | < 10                    | < 10       | < 10       |
| <b>Einstufung:</b>    |       |                           |       |       |       | <b>Z 0</b>              | <b>Z 0</b> | <b>Z 0</b> |



# Weiterführende Arbeiten

