

Sekundärrohstoffe zur Betonherstellung - Eigenschaften und Eignungsbewertung

Katrin Rübner, Tristan Herbst, Petra Jakubcová

Fachgruppe Baustoffe, Abteilung Bauwerkssicherheit

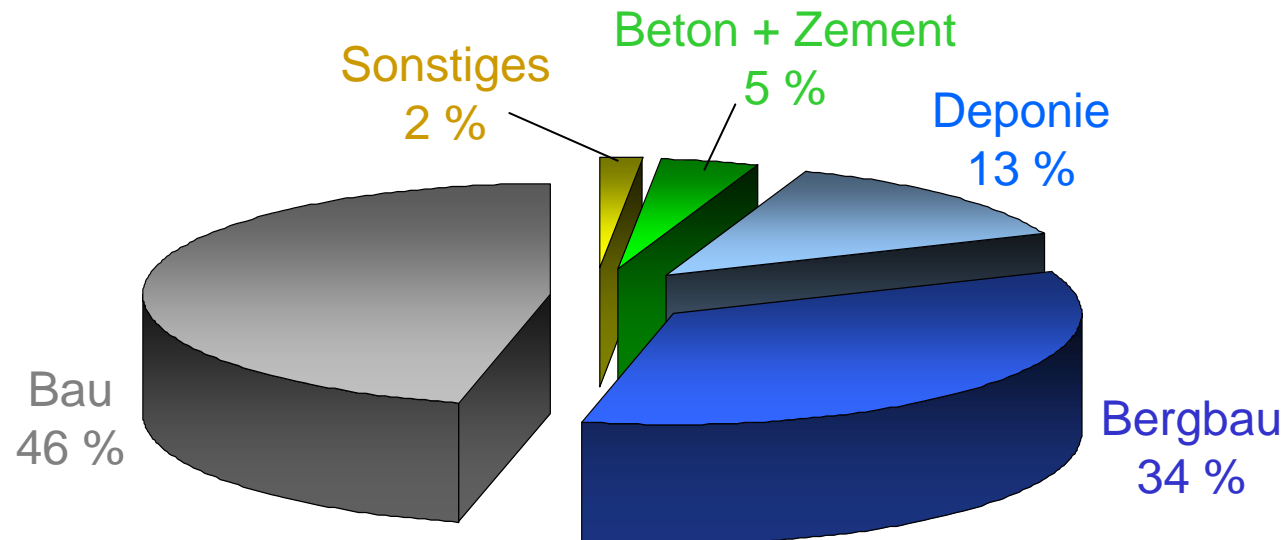
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Sekundärrohstoffe zur Betonherstellung - Eigenschaften und Eignungsbewertung

Katrin Rübner, Tristan Herbst, Petra Jakubcová

- Reststoffe – Anfall und Verwertungswege
- Untersuchungskonzept zur Eignungsbewertung
- Beispiel 1: Blähgranulat als leichte Gesteinskörnung
- Beispiel 2: Filtrerrückstand als Betonzusatzstoff
- Zusammenfassung

↪ 256 Mio. Tonnen pro Jahr mineralische Abfälle in Deutschland



Verbleib der Abfälle

Quelle: G. Dehoust, UFOPLAN-Bericht 204 33 325, Dessau 2007 + Datensammlung BAM, Berlin 2006

Gesteinskörnung

- nach DIN EN 12620 und DIN 4226-100
rezyklierte Gesteinskörnung
ungemahlener Hüttensand
Schmelzkammergranulat
kristalline Hochofenstück-
schlacke
- nach DIN EN 13055-1
Ziegelsplitt
Blähglas
Kesselsand
Hüttenbims
- mit Zulassung
Metallhüttenschlacke
Rostasche

Beton- und Mörtelzusatz Zusatzstoff, Zusatzmittel, Fasern

- nach DIN EN 450-1
Steinkohlenflugasche
- nach DIN EN 13263-1
Silikastaub
- nach DIN EN 15167-1
Hüttensandmehl
- nach DIN EN 12620
Gesteinsmehl
- mit Zulassung
Braunkohlenflugasche

Zement

Haupt- + Nebenbestandteil,
(Zumahlstoff), Spezialbindemittel

- nach DIN EN 15167-1 und
DIN EN 197-1
Hüttensand
- nach DIN EN 13263-1 und
DIN EN 197-1
Silikastaub
- nach DIN EN 197-1 und
DIN EN 450-1
Steinkohlenflugasche
- nach DIN EN 197-1
Gesteinsmehl
REA-Gips

Gesteinskörnung

- nach DIN EN 12620 und DIN 4226-100
rezyklierte Gesteinskörnung
ungemahlener Hüttensand
Schmelzkammergranulat
kristalline Hochofenstück-
schlacke

Beton- und Mörtelzusatz Zusatzstoff, Zusatzmittel, Fasern

- nach DIN EN 450-1
Steinkohlenflugasche
- nach DIN EN 13263-1
Silikastaub
- nach DIN EN 15167-1
Hüttensandmehl
- nach DIN EN 12620

Zement

Haupt- + Nebenbestandteil,
(Zumahlstoff), Spezialbindemittel

- nach DIN EN 15167-1 und
DIN EN 197-1
Hüttensand
- nach DIN EN 13263-1 und
DIN EN 197-1
Silikastaub
- nach DIN EN 197-1 und



Foto: K. Weimann

gemischter Bauschutt, Mauerwerkbruch, Brechsand, Hausmüllverbrennungs-
asche, Biomasseasche, Papierschlamm, Klärschlamm, Rückstände aus
Industrieabwasser, Gießereirestsand, Katalysatorabfall, Braunkohlenflugasche

Grundlagen der Eignungsbewertung

- europäische Produktnormen für Bauprodukte (Baustoffe)
- nationales Regelwerk = Anwendungsnorm
- Bauregelliste BRL
(zusätzliche Anforderungen für Deutschland, z.B. Nachweis der Umweltverträglichkeit in allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung)
- Für RC-Baustoffe, die von keiner europäischen oder nationalen Norm erfasst werden, ist für die Verwendung im Beton generell eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt notwendig.
- Festlegungen zu Prüfungen (Art, Durchführung und Umfang) und Ergebnisbewertung auf Grundlage von Normen, DIBt-Zulassungsgrundsätzen, DAfStb-Richtlinien durch den Sachverständigenausschuss

Anamnese zur Historie, Herkunft und Herstellung
der Sekundärrohstoffe bzw. der damit hergestellten Bauprodukte

Untersuchungen von Umweltverträglichkeit und
gesundheitlicher Unbedenklichkeit

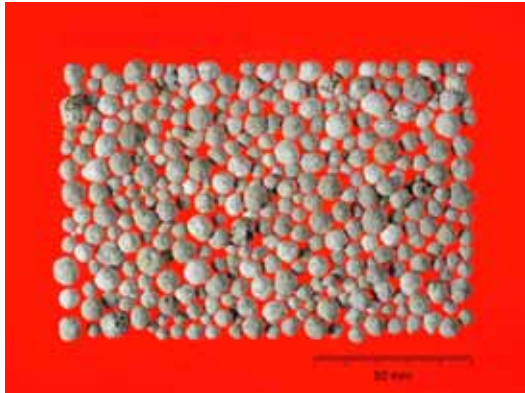
Analyse der Gleichmäßigkeit, Unschädlichkeit und Wirksamkeit der Recyclingstoffe

Betontechnologische Untersuchungen zum Nachweis der bautechnischen Eigenschaften

Einsatz im Beton und Ermittlung der Frisch- und Festbetoneigenschaften
unter Berücksichtigung von Festigkeits- und Expositionsklassen

Nachweis der Dauerhaftigkeit des Betons
(Schwinden, Frostwiderstand, Karbonatisierungswiderstand, Alkaliempfindlichkeitsklasse)

Blähgranulat

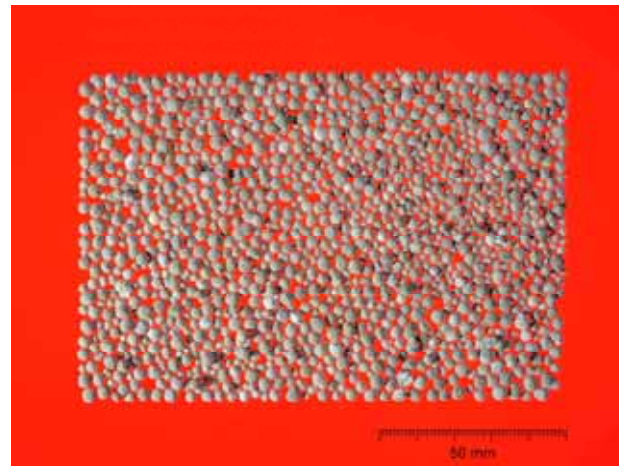
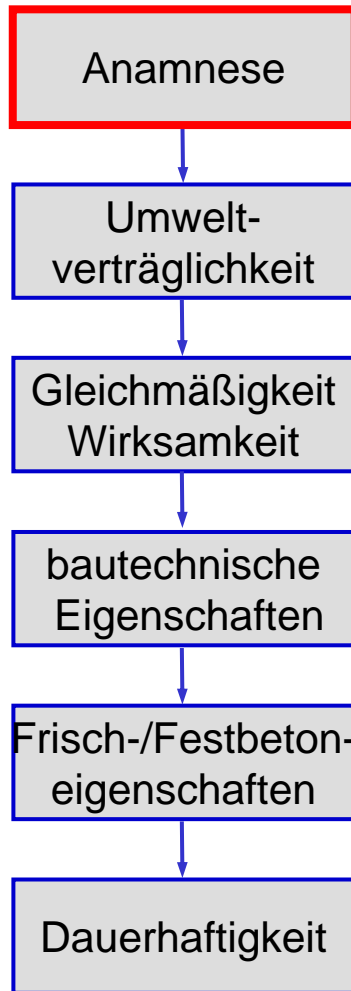


- Herstellung aus Mauerwerkbruch über thermischen Prozess
- Material der Körnung 2-4 und 4-8 mm
- Deponierung (Mauerwerkbruch)
 - leichte Gesteinskörnung nach DIN EN 13055-1 für die Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

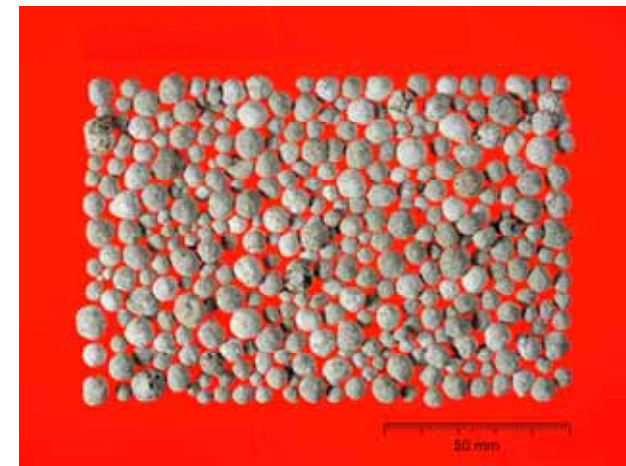
Filterrückstand



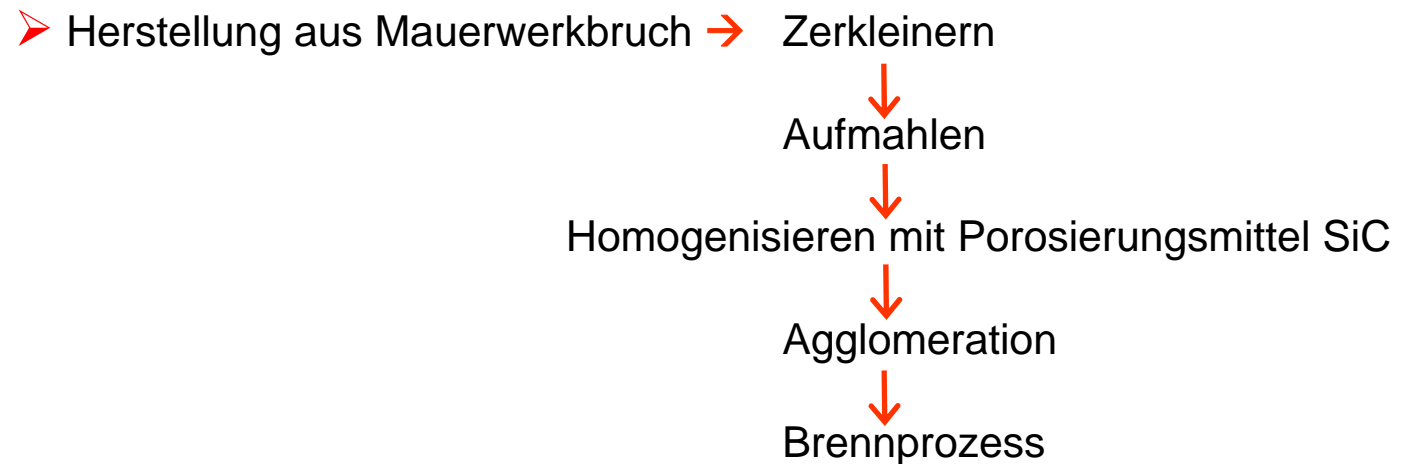
- Rückstand aus Aufbereitung von Abwässern der Kieselsäureproduktion
- Material als feuchter Filterkuchen oder trockenes Granulat < 2 mm
- Deponierung, Tagebauverfüllung
 - Betonzusatzstoff in Anlehnung an DIN EN 13263-1 + DIBt-Zulassungsgrundsätze „Anorganische Betonzusatzstoffe“



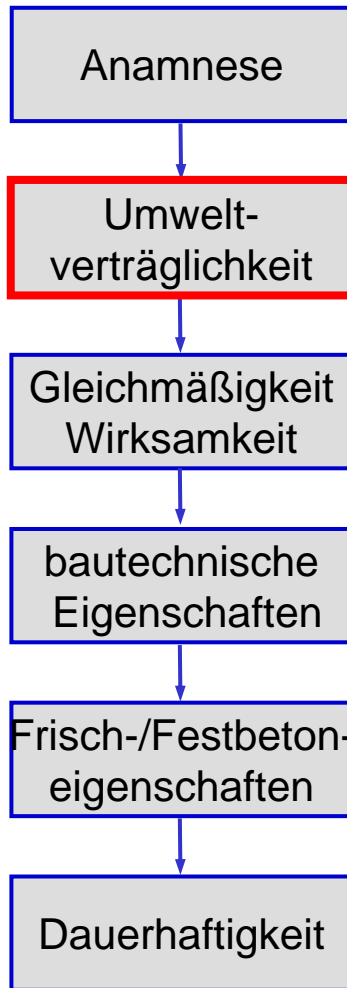
Blähgranulat 2-4 mm



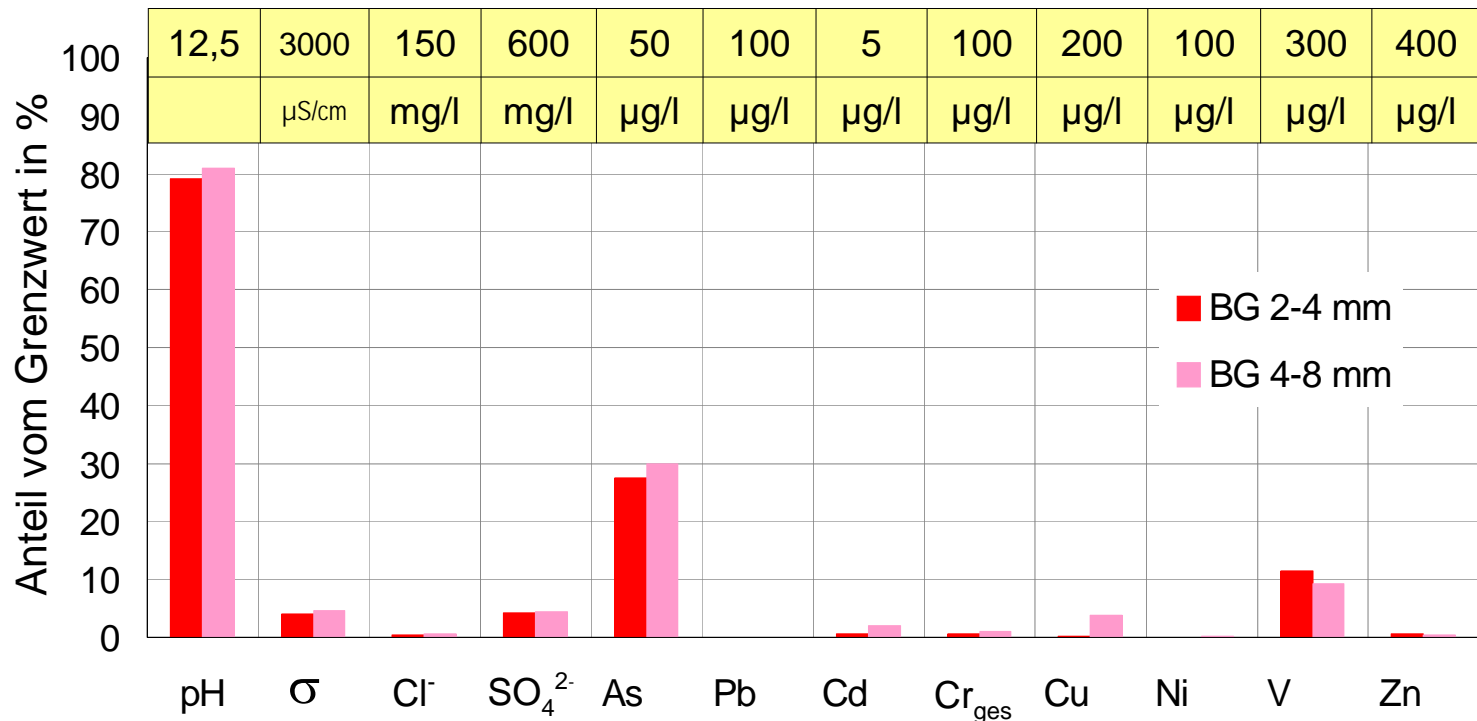
Blähgranulat 4-8 mm



➤ A. Schnell: Aufbaukörnungen aus heterogenem Abbruchmaterial, R'10

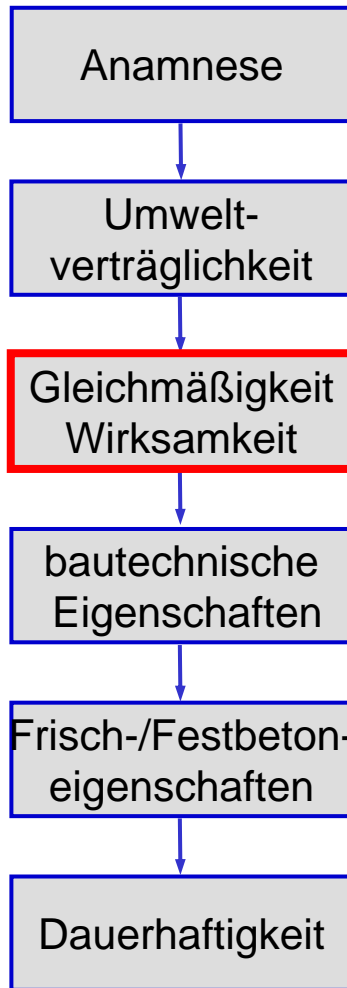


- Zulassungsgrundsätze für die Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser, Teile 1-3, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Mai 2009
- Bewertung:
 - **chemische Zusammensetzung** der Bauprodukte
 - jeweils im vorgesehenen Anwendungsfall **durch** Einwirkung von **Wasser eluierbare Inhaltsstoffe** und deren mögliche Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Boden und Grundwasser

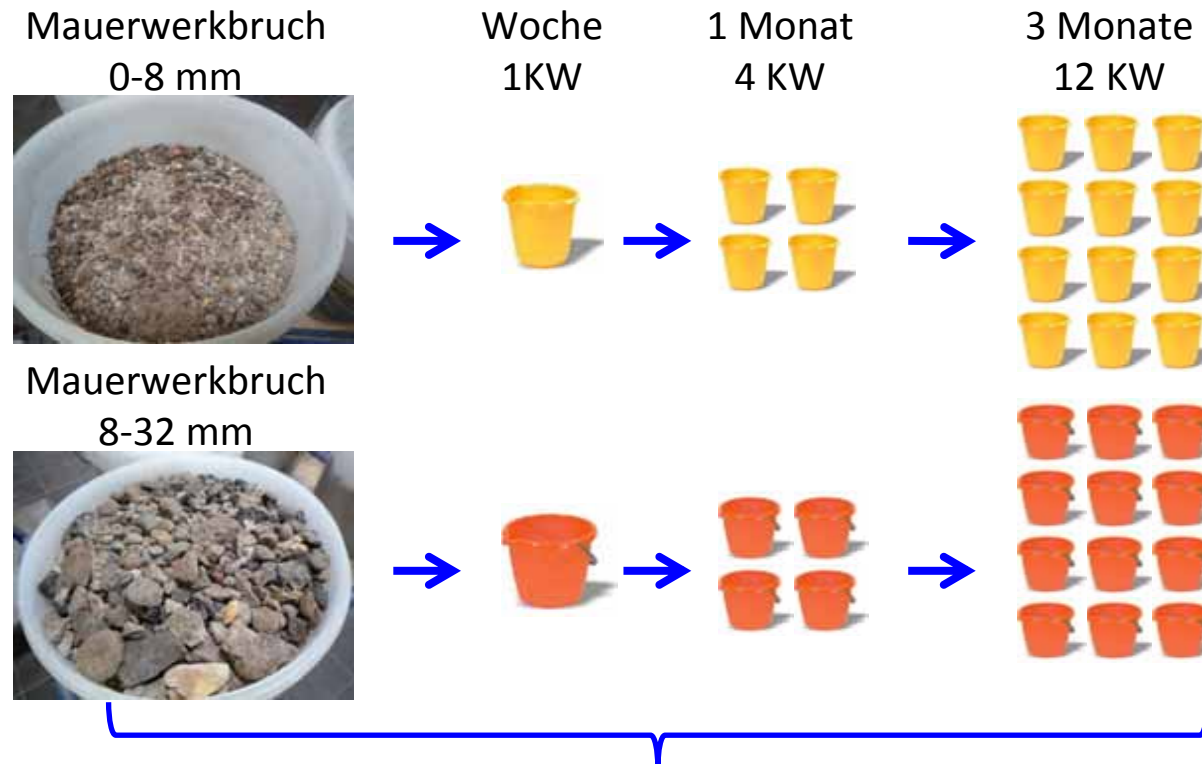


Eluatuntersuchung der Blähgranulate

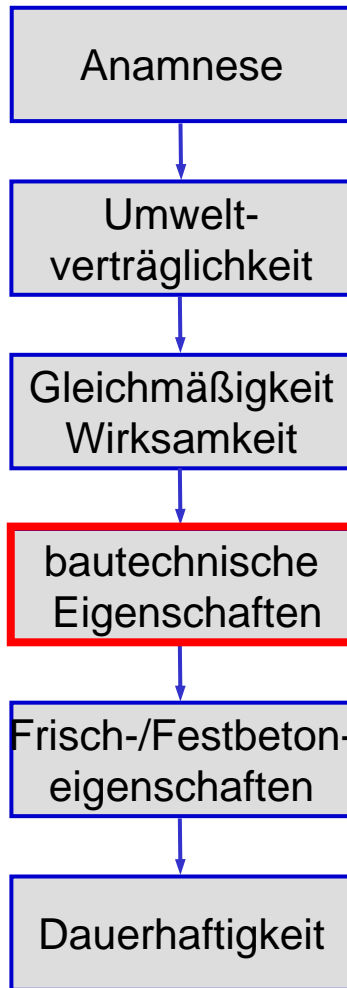
(Grenzwerte nach DIBt-Zulassungsgrundsätzen → LAGA 20 für Z2)



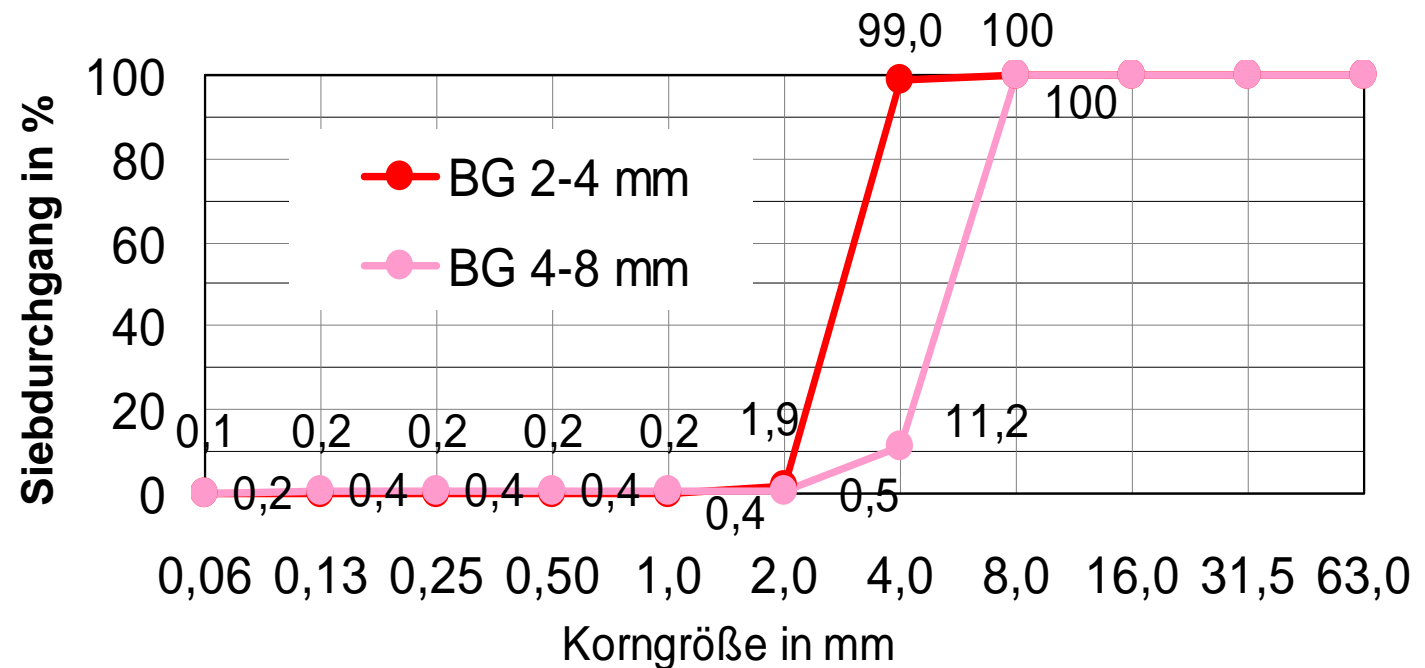
- Gleichmäßigkeit der Produkteigenschaften (Umweltverträglichkeit und bautechnische Eigenschaften)
- Einfluss der Variationsbreite der Ausgangsstoffe auf die Produkteigenschaften



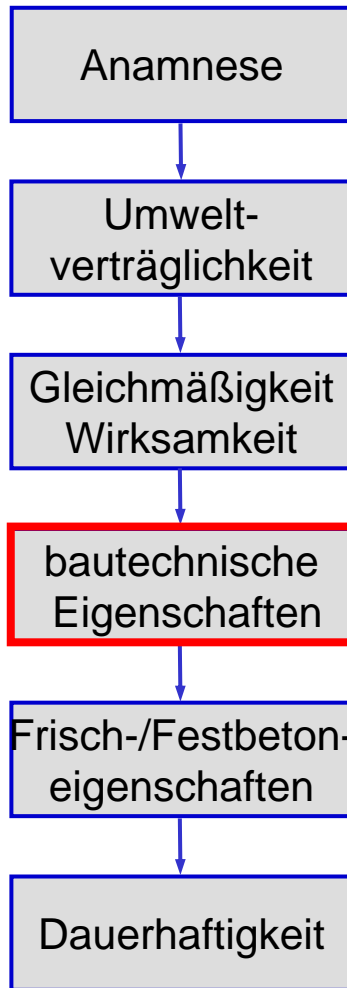
Probenahmeplan Mauerwerkbruch



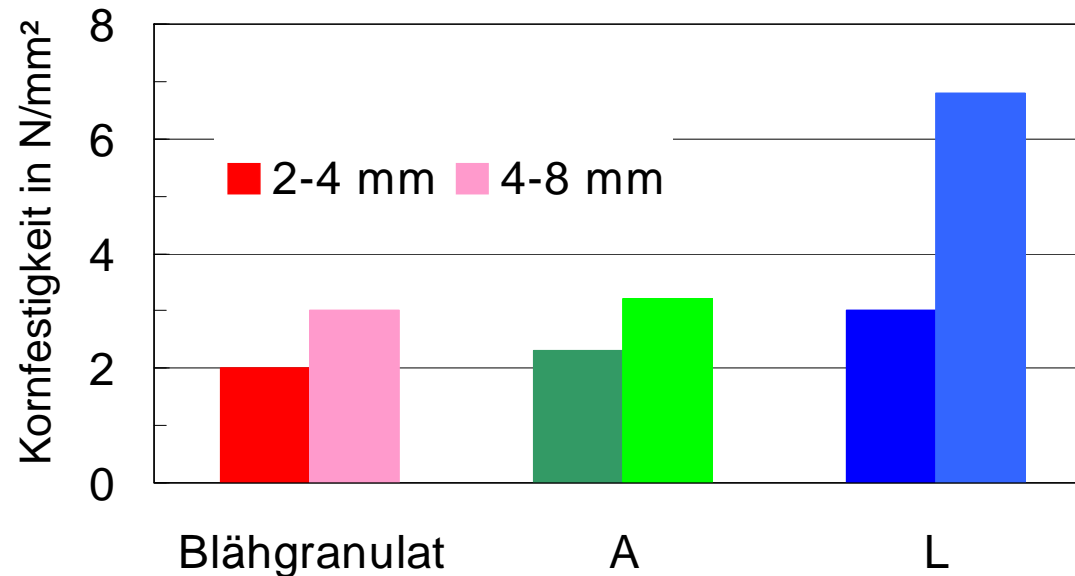
- Korngrößenverteilung + Kornform DIN EN 933
- Kornfestigkeit DIN EN 13055-1
- chemische Eigenschaften DIN EN 1744-1
- Schüttdichte 1097-3, Rohdichte + Wasseraufnahme DIN EN 1097-6, Reindichte + Porosität DIN 66137
- weitere mechanische, physikalische und thermische Eigenschaften DIN EN 1097, DIN EN 1367



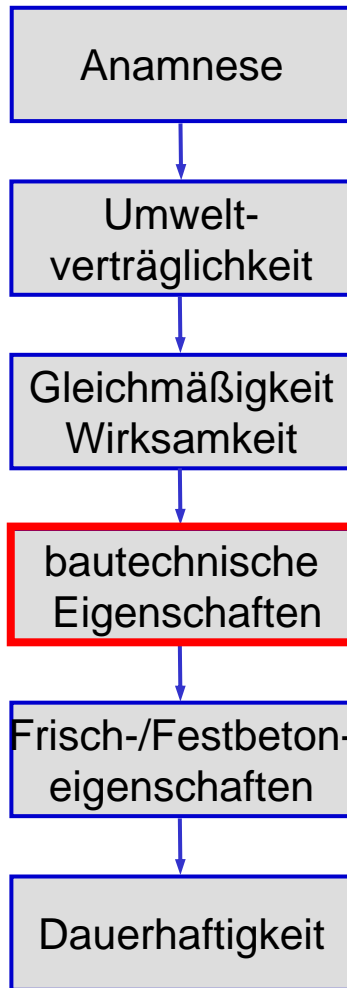
Sieblinie der Blähgranulate



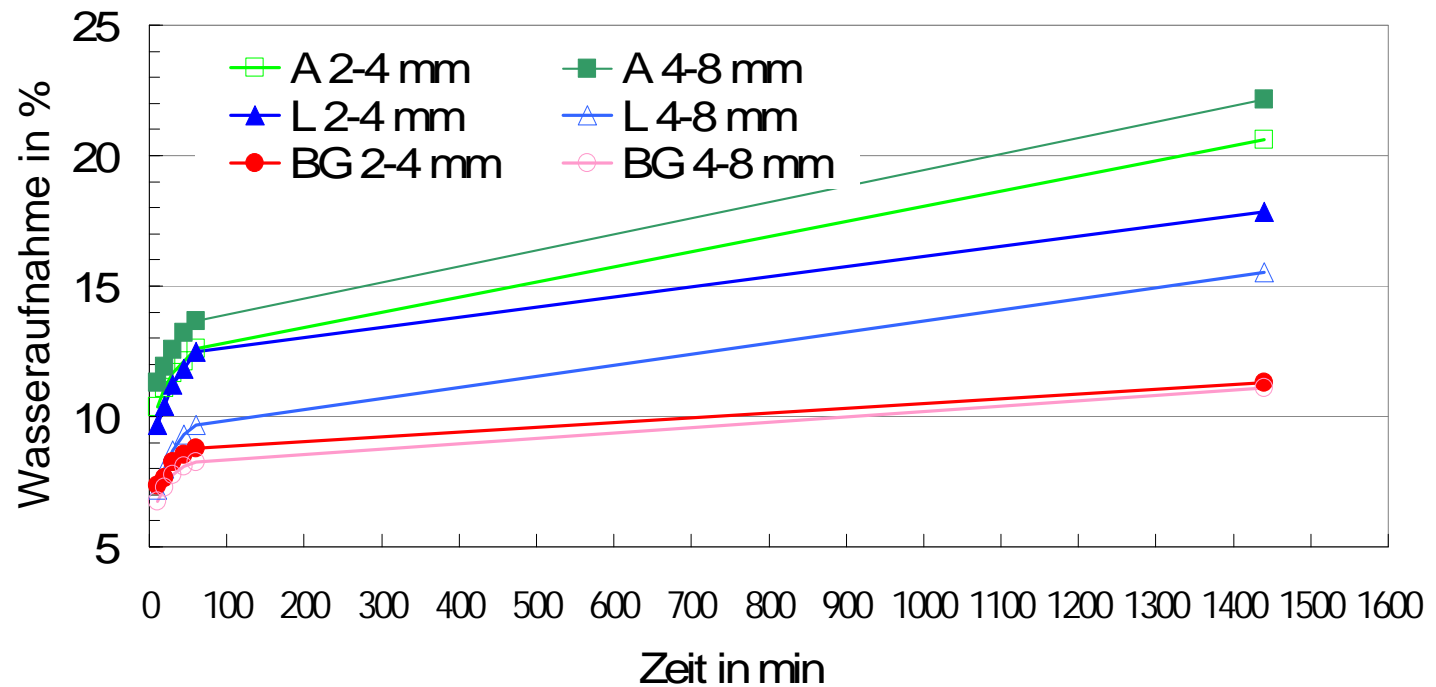
- Korngrößenverteilung + Kornform DIN EN 933
- Kornfestigkeit DIN EN 13055-1
- chemische Eigenschaften DIN EN 1744-1
- Schüttdichte 1097-3, Rohdichte + Wasseraufnahme DIN EN 1097-6, Reindichte + Porosität DIN 66137
- weitere mechanische, physikalische und thermische Eigenschaften DIN EN 1097, DIN EN 1367



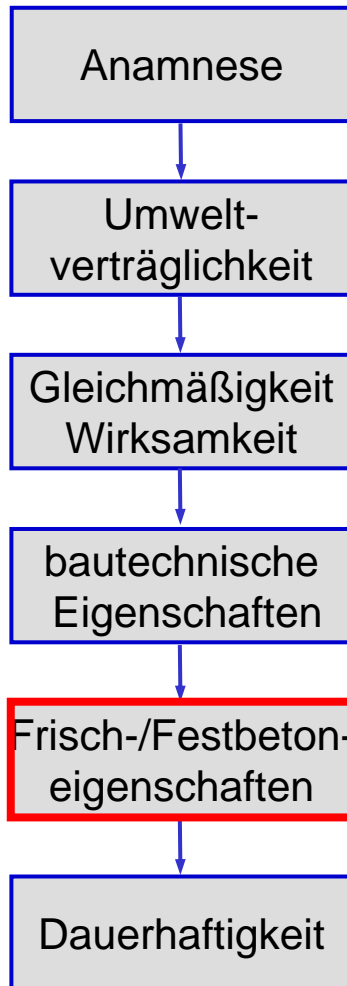
**Kornfestigkeit der Blähgranulate
(Vergleichsmaterial handelsüblicher Blähton)**



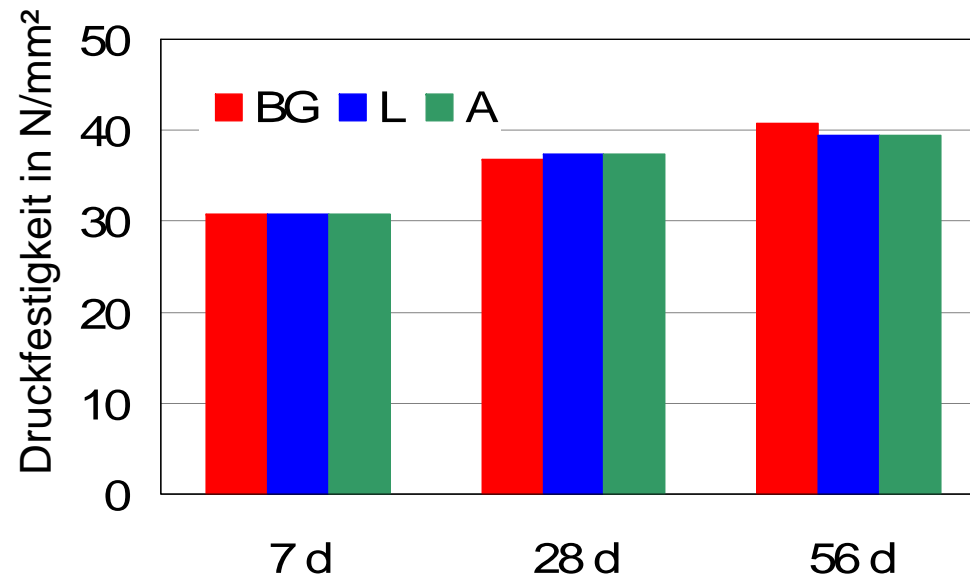
- Korngrößenverteilung + Kornform DIN EN 933
- Kornfestigkeit DIN EN 13055-1
- chemische Eigenschaften DIN EN 1744-1
- Schüttdichte 1097-3, Rohdichte + Wasseraufnahme DIN EN 1097-6, Reindichte + Porosität DIN 66137
- weitere mechanische, physikalische und thermische Eigenschaften DIN EN 1097, DIN EN 1367



**Wasseraufnahme der Blähgranulate
(Vergleichsmaterial handelsüblicher Blähton)**



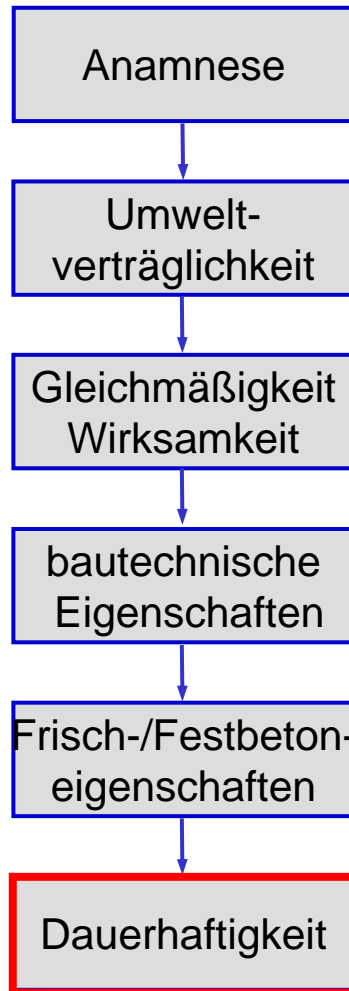
- Konsistenz + Frischbetonrohddichte DIN EN 12350
- Festbetonrohddichte + Porosität DIN EN 12390-7, DIN 66137
- Druckfestigkeit + Biegezugfestigkeit DIN EN 196-1, DIN EN 12390-4
- dynamischer + statischer E-Modul DAfStb Heft 422, DIN EN 12390-2



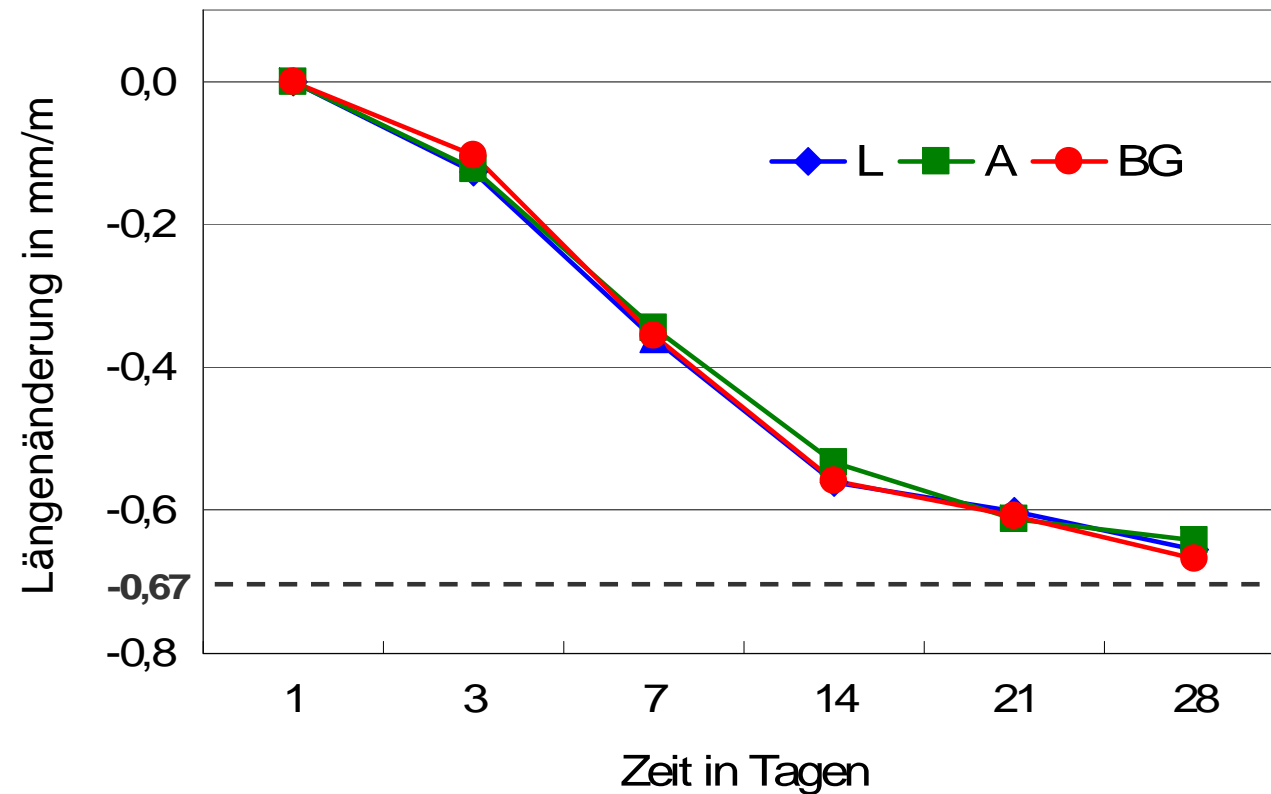
Druckfestigkeit der Betone mit Blähgranulat als Gesteinskörnung



Sieblinie A/B 8 mit 0-2 mm Sand, 2-4 und 4-8 mm leichter Gesteinskörnung
CEM I 32,5 R, 450 kg/m³, Konsistenz F4
w/z = 0,50 und Absorptionswasser 70-80 % der 60 min-Wasseraufnahme

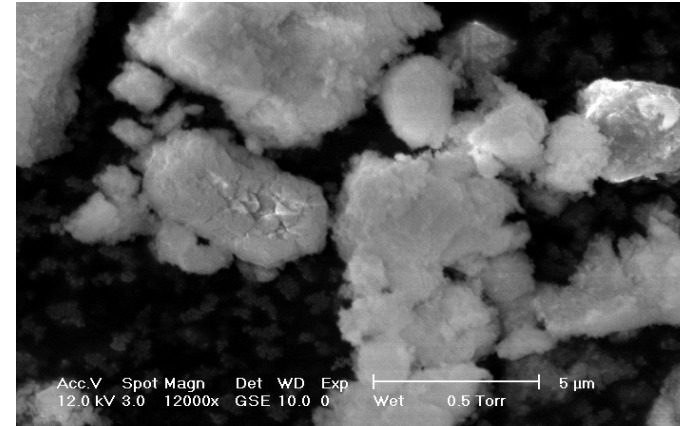
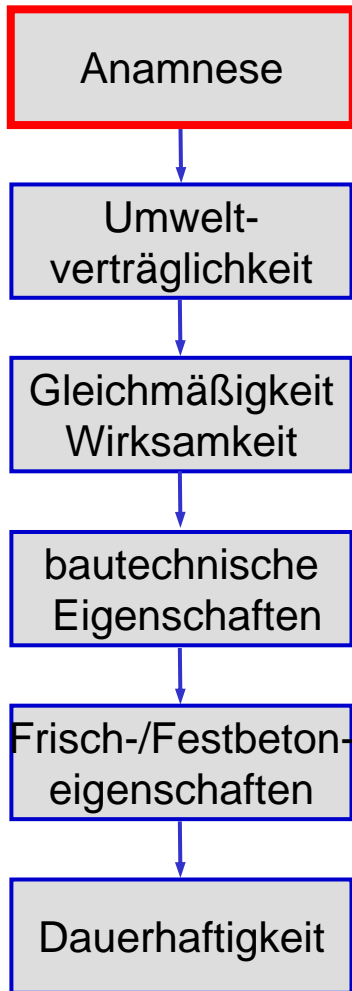


- Frostwiderstand DIN EN 13055-1, DIN CEN/TS 12390-9
- Karbonatisierungswiderstand DIN CEN/TS 12390-10
- Schwindverhalten DIN 52450
- Alkaliempfindlichkeitsklasse DAfStb Alkali-Richtlinie



Schwindverhalten der Betone mit Blähgranulat als Gesteinskörnung

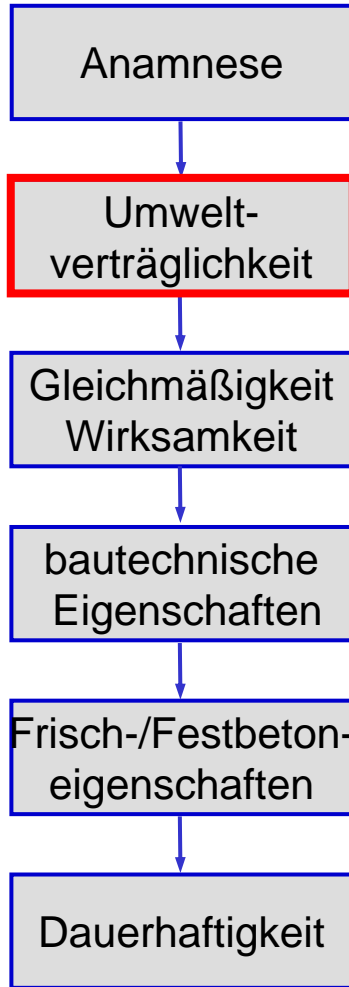
Filterrückstand



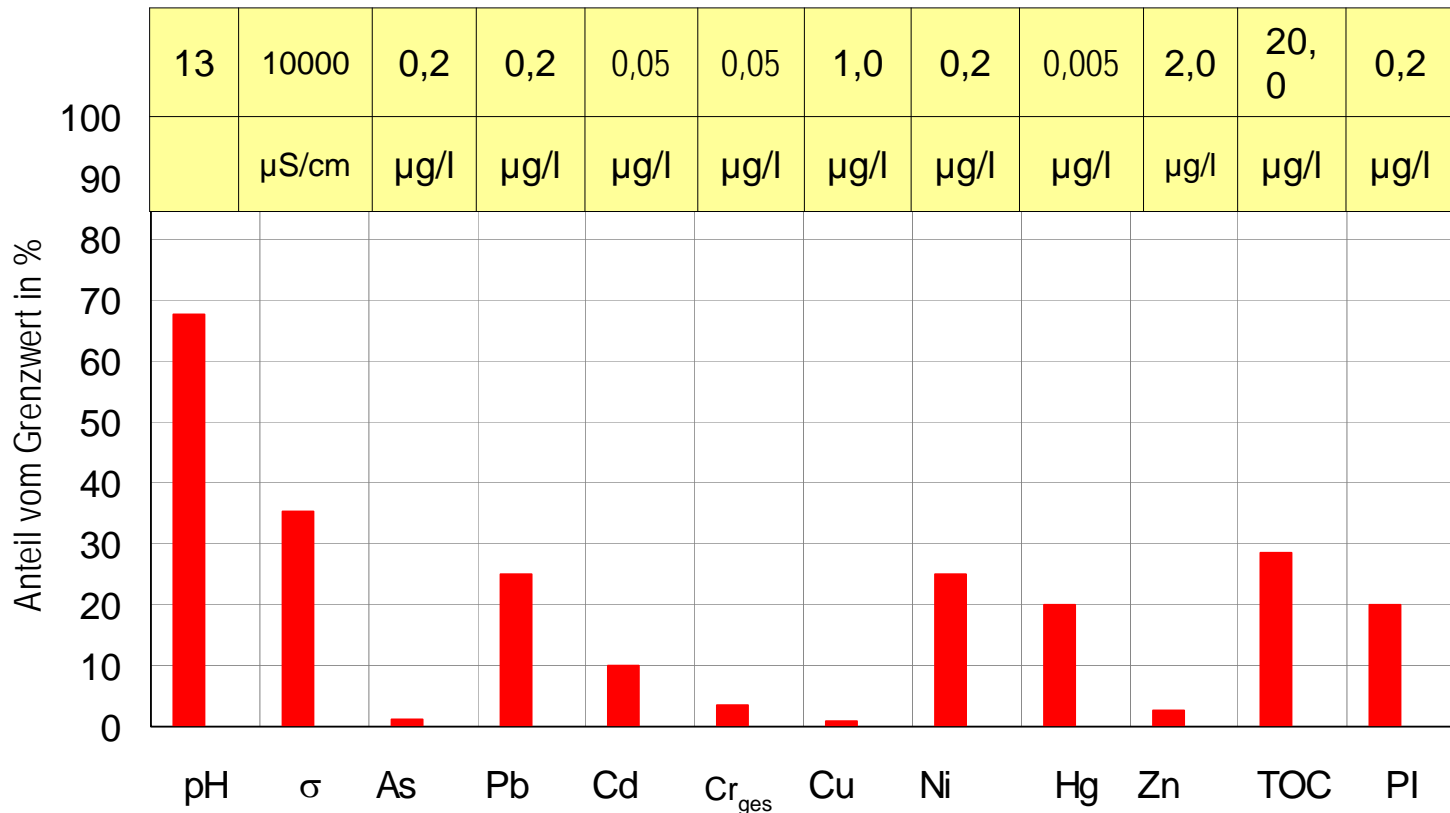
➤ Abwasser aus der Produktion von Kieselsäuren

↓
beim Neutralisieren mit H_2SO_4/MgO fällt Kieselsäure aus

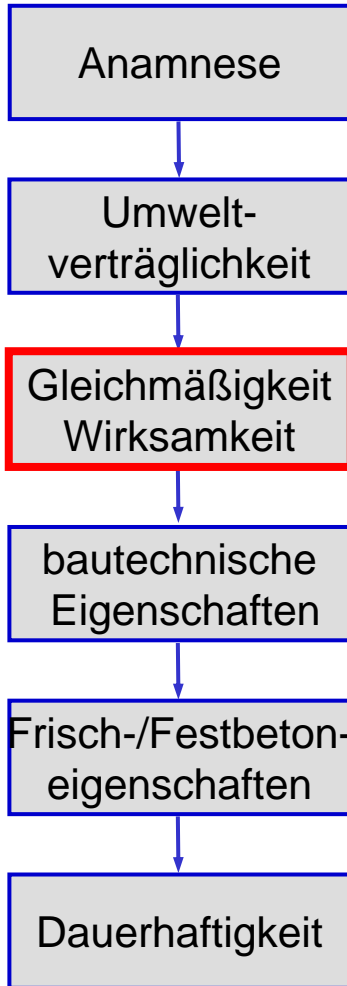
↓
Eindicken und Abpressen des Filterprodukts



➤ Zulassungsgrundsätze für die Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser, Teile 1-3, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Mai 2009



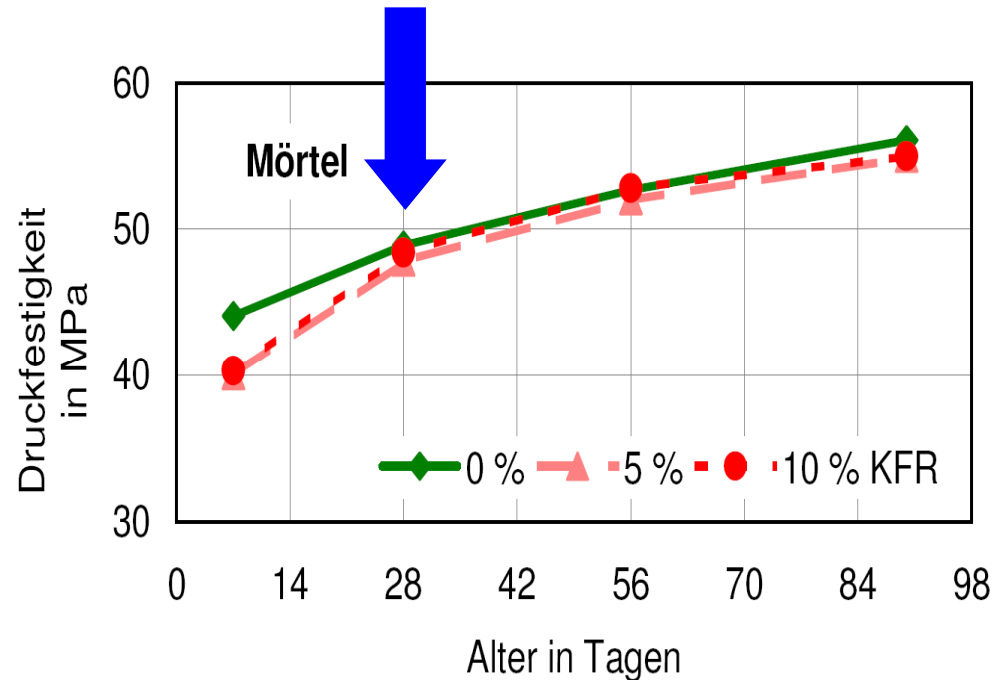
**Eluatuntersuchung des Filterrückstands
(Grenzwerte nach TA Siedlungsabfall)**

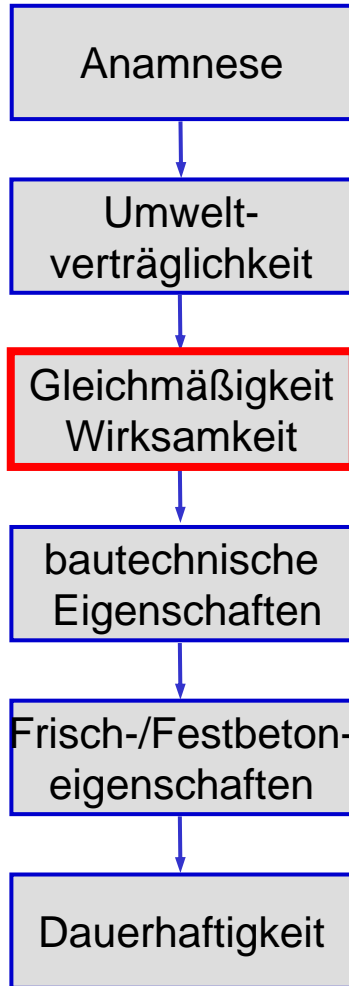


- Gleichmäßigkeit der Produkteigenschaften
- Wirksamkeit als puzzolanischer Zusatzstoff DIBt-Zulassungsgrundsätze, DIN EN 13263-1

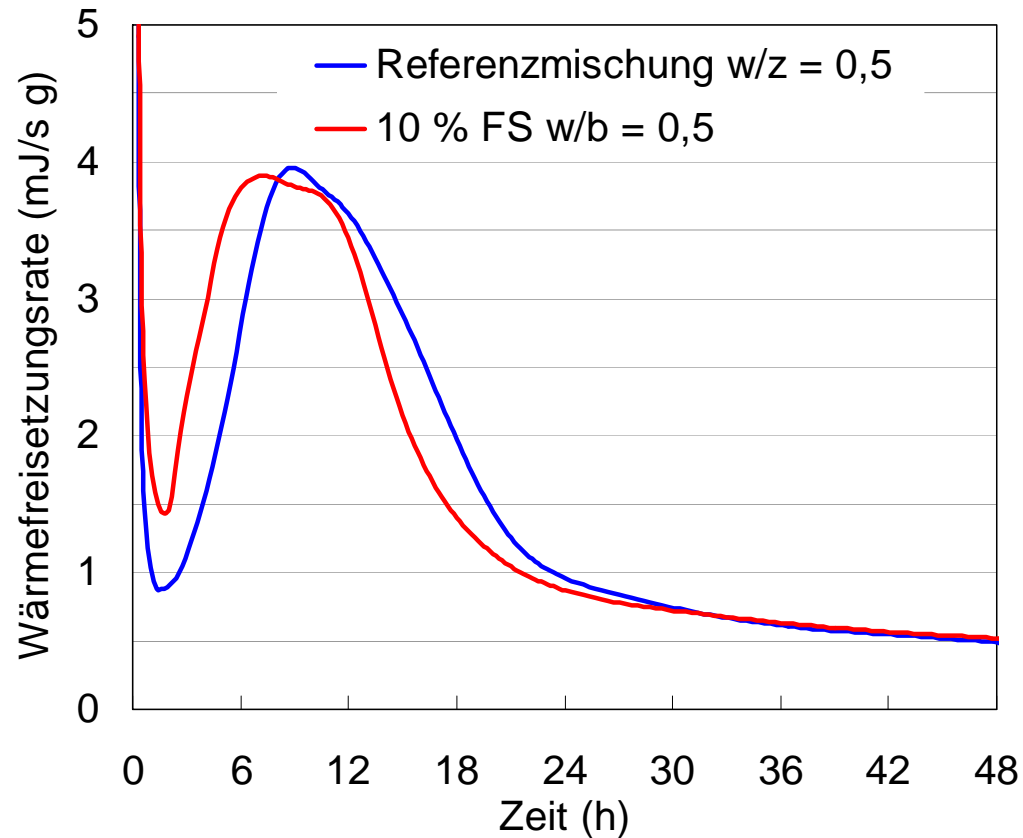
Aktivitätsindex nach DIN EN 13263-1

$$\text{AKTIVITÄTSINDEX} = \frac{f_{\text{Prisma}(90\% \text{ CEM} + 10\% \text{ KFR}), 28d}}{f_{\text{Prisma}(100\% \text{ CEM}), 28d}} \cdot 100\%$$

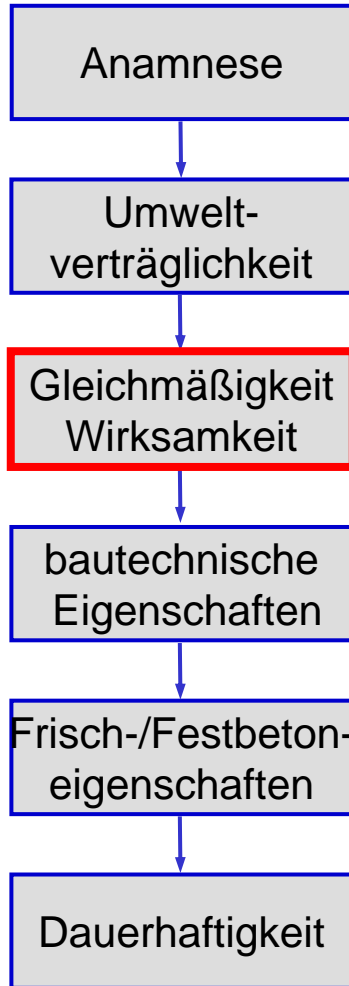




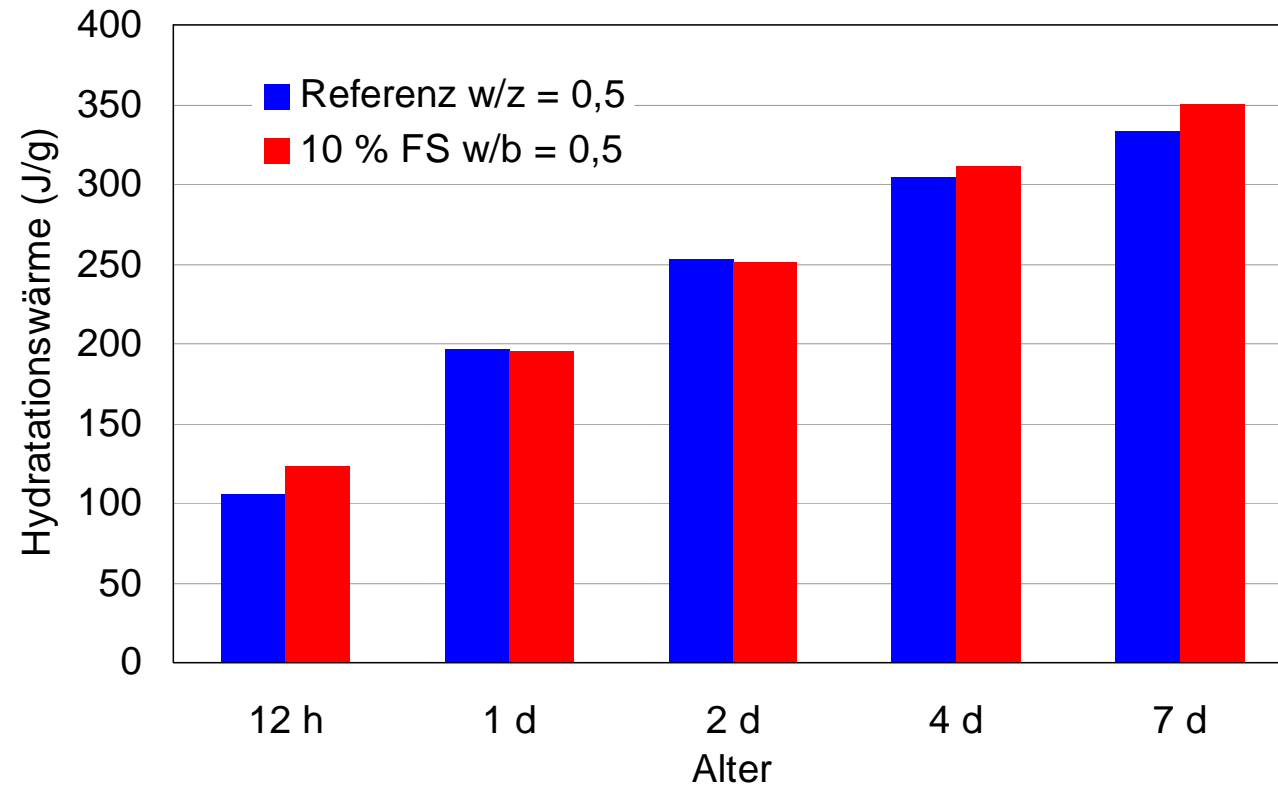
- Gleichmäßigkeit der Produkteigenschaften
- Wirksamkeit als puzzolanischer Zusatzstoff DIBt-Zulassungsgrundsätze, DIN EN 13263-1



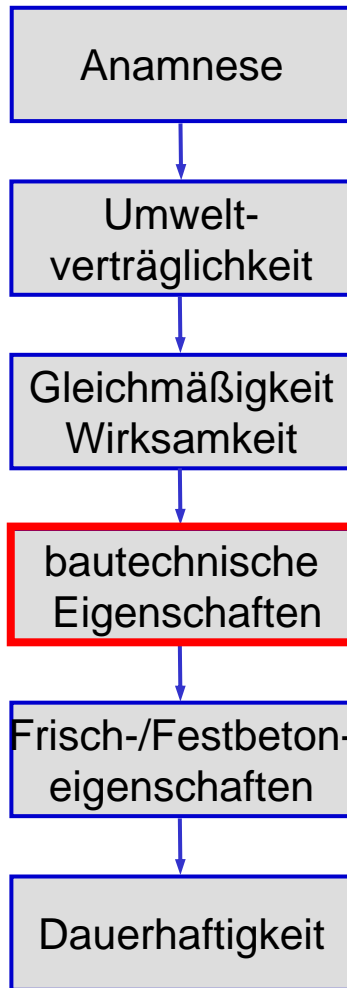
Einfluss des Filterprodukts auf die Wärmefreisetzungsrate von Zementleim (bzgl. Bindemittelgehalt)



- Gleichmäßigkeit der Produkteigenschaften
- Wirksamkeit als puzzolanischer Zusatzstoff DIBt-Zulassungsgrundsätze, DIN EN 13263-1



Einfluss des Filterprodukts auf die Hydrationswärme von Zementleim (bzgl. Zementgehalt)



- chemische Eigenschaften DIBt-Zulassungsgrundsätze, DIN EN 13263-1, DIN 51729, DIN EN 196-2
- Korngrößenverteilung DIN EN 933-10 + Feinheit DIBt-Zulassungsgrundsätze
- spezifische Oberfläche DIN ISO 9277, DIN EN 196-6 + Wasseraufnahme
- Erstarren + Raumbeständigkeit DIN EN 196-3

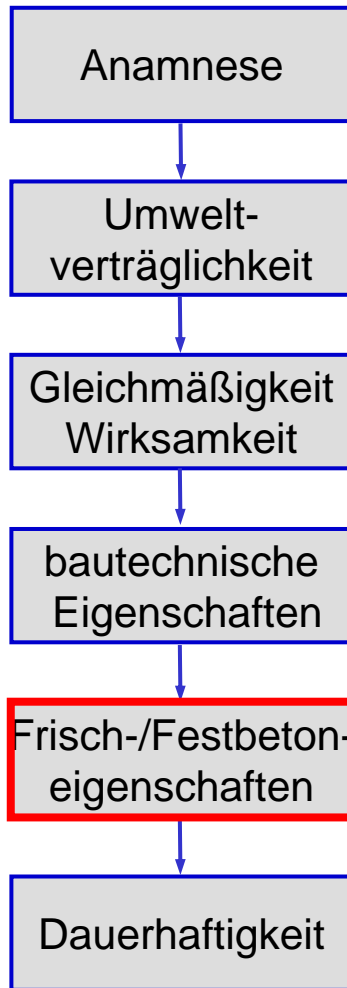
Bestandteil in M.-%	SiO ₂	MgO _{ges}	CaO _{ges}	SO ₃	K ₂ O/Na ₂ O	Cl ⁻
Filterprodukt	72,46	4,68	1,45	5,60	1,66	0,44
Filterprodukt aufbereitet	80,20	4,53	1,78	0,17	0,35	0,03
Grenzwert*	--	7,0	20,0	1,5-3,5	4,5	0,1-0,3

Eigenschaft	Dichte in g/cm ³	Spez. Oberfläche in m ² /g	Mesoporenvolumen in cm ³ /g	Häufigster Porenradius in nm
Filterprodukt	2,35	196	0,77	16
Filterprodukt aufbereitet	2,26	289	0,90	15
Grenzwert*	--	> 18 < 25	--	--

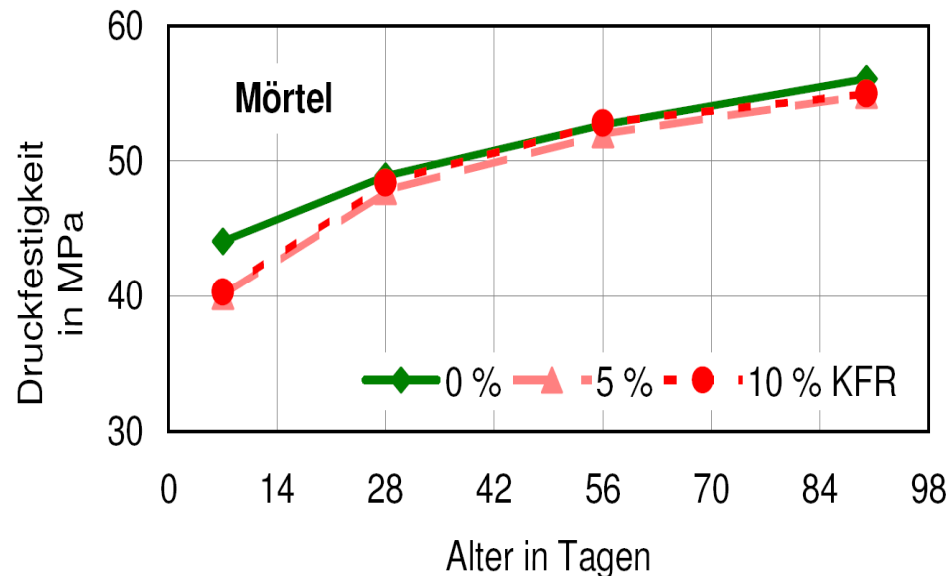
* DIBt-Zulassungsgrundsätze

Chemische und physikalische Eigenschaften des Filterrückstands

Filterrückstand



- Konsistenz + Frischbetonrohddichte DIN EN 12350-5 und 6
- Festbetonrohddichte + Porosität DIN EN 12390-7, DIN 66137
- Druckfestigkeit + Biegezugfestigkeit DIN EN 196-1, DIN EN 12390-4
- dynamischer + statischer E-Modul DAfStb Heft 422, DIN EN 12390-2

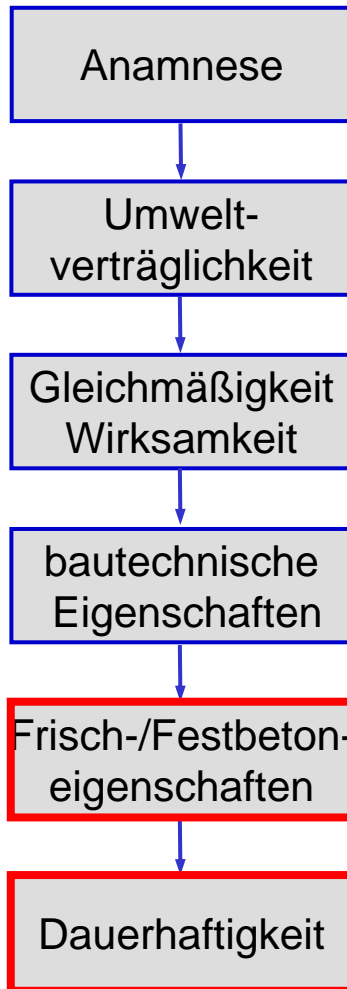


Druckfestigkeit der Mörtel mit Filterrückstand als Betonzusatzstoff

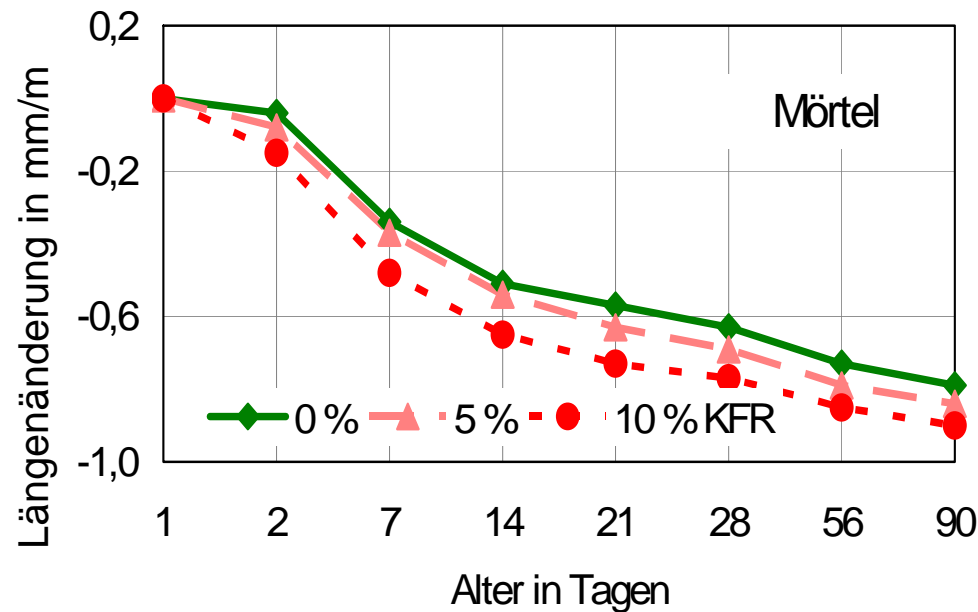


Normsand, CEM I 32,5 R, 5 -10 % FR, Bindemittel 450 kg/m³,
w/b = 0,50, FM 21

Filterrückstand



- Konsistenz + Frischbetonrohddichte DIN EN 12350-5 und 6
- Festbetonrohddichte + Porosität DIN EN 12390-7, DIN 66137
- Druckfestigkeit + Biegezugfestigkeit DIN EN 196-1, DIN EN 12390-4
- dynamischer + statischer E-Modul DAfStb Heft 422, DIN EN 12390-2
- Frostwiderstand DIN EN 13055-1, DIN CEN/TS 12390-9
- Karbonatisierungswiderstand DIN CEN/TS 12390-10
- Schwindverhalten DIN 52450
- Alkaliempfindlichkeitsklasse DAfStb Alkali-Richtlinie



Schwindverhalten der Mörtel mit Filterrückstand als Betonzusatzstoff

Fazit

- Einsatz von Sekundärrohstoffen im Beton leistet Beitrag zum nachhaltigen Bauen
 - Schonung natürlicher Ressourcen
 - Reduzierung Deponiefläche und -kosten
- für Einsatz von RC-Baustoffen Eignungsprüfung notwendig (Umweltverträglichkeit, bautechnische Eignung, Verhalten im Beton)
- vorgestelltes Untersuchungskonzept zur Eignungsbewertung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projekt „Aufbaukörnungen“

2009-2012, Förderkennzeichen 033R015D

Projekt „NanoKiesel“

2010-2012, Förderkennzeichen 03X0081J

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!