

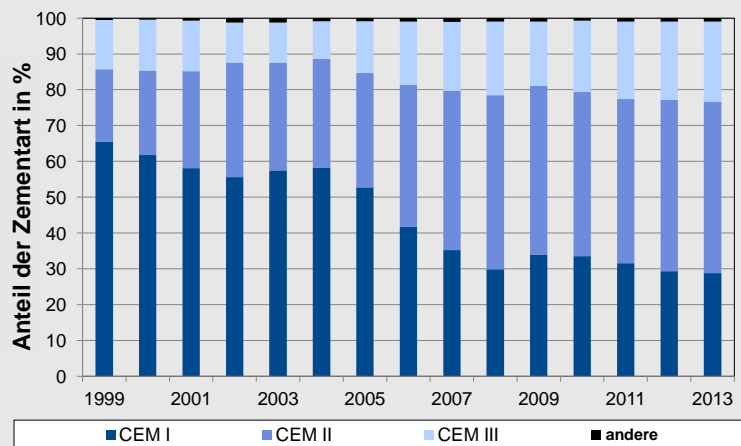
# Leistungsmerkmale von Zement - heute und morgen -

Christoph Müller, Düsseldorf

2. Jahrestagung und 55. Forschungskolloquium des DAfStb  
Düsseldorf, 26./27. November 2014

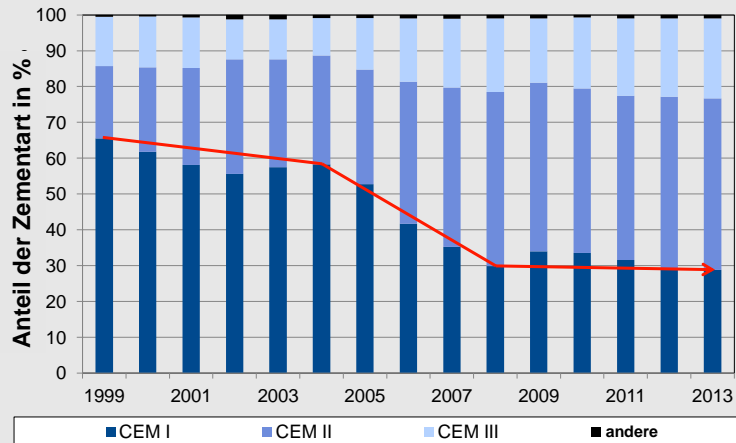
vdz.

## Entwicklung der Zementarten in Deutschland (Inlandversand)



Quelle: VDZ vdz.

## Entwicklung der Zementarten in Deutschland (Inlandversand)



Quelle: VDZ **vdz.**

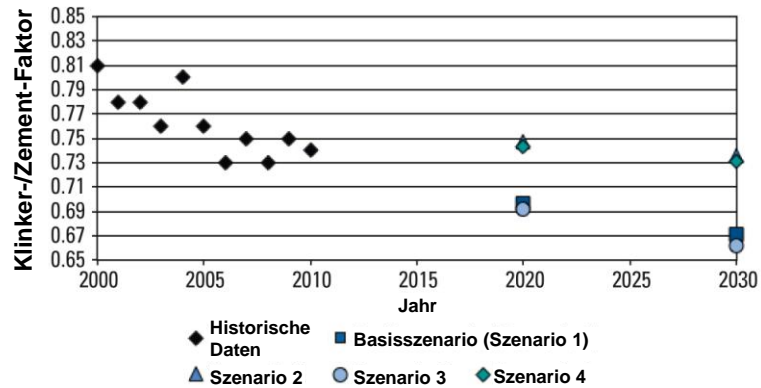
## Entwicklung der Zementarten

- Selbstverpflichtung zum Klimaschutz / CO<sub>2</sub>-Emissionshandel
- Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe
- Akzeptanz in der Baupraxis
  - Sondereigenschaften: NA, SR, LH akzeptiert
  - Im üblichen Hochbau akzeptiert
  
- Estriche
- Industriebetonböden bzw. vergleichbare Bauteile
- Brückenkappen
- Betonstraßenbau

4

**vdz.**

## Prognose des Klinker-/Zement-Faktors



5

vdz.

## Normung neuer Zemente in der EN 197-1

Main types	Notation of the <b>35 products</b> (types of common cement)	Composition (percentage by mass <sup>a</sup> )										Minor additional constituents				
		Main constituents														
		Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone						
K	S	D <sup>b</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL							
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM II	Portland-composite cement <sup>c</sup>	CEM II/A-M	80-88	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM II/B-M	65-79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM II/C-M (S-L)	50-64	19-44	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	0-5	
		CEM II/C-M (S-LL)	50-64	19-44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5	
		CEM II/C-M (F-LL)	50-64	–	–	16-44	–	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5	
		CEM II/C-M (F-LL)	50-64	–	–	16-44	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5
		CEM II/C-M (V-LL)	50-64	–	–	–	–	16-44	–	–	–	–	–	6-20	0-5	
CEM II/C-M (V-LL)	50-64	–	–	–	–	16-44	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5		
CEM III	Blast furnace cement	CEM III/A	35-64	36-65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM III/C	6-19	81-95	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM IV	Pozzolanic cement <sup>c</sup>	CEM IV/A	65-89	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM IV/B	45-64	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM V	Slag-pozzolanic cement <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-49	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM VI	Composite cement <sup>c</sup>	CEM VI (S-L)	35-49	31-59	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	0-5	
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5	

<sup>a</sup> The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

<sup>b</sup> The proportion of silica fume is limited to 10 %.

<sup>c</sup> In Portland-composite cements CEM II/A-M, CEM II/B-M and CEM II/C-M, in Pozzolanic cements CEM IV/A and CEM IV/B, in Slag-pozzolanic cements CEM V/A and CEM V/B and in Composite cements CEM VI the main constituents other than clinker shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 8).

6

vdz.

## Kategorisierung und Bewertung neuer Zemente

<b>Kategorie 1</b> Zement mit einer neuen Kombination traditioneller Bestandteile	<b>Kategorie 2</b> Zement enthält einen geringen Anteil eines oder mehrerer neuer Bestandteile	<b>Kategorie 3</b> Zement unterscheidet sich deutlich von bisher genormten Zementen
<b>Bewertung der mechanischen, physikalischen und chemischen Leistung</b>		
Bewertung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit		
		Bewertung des Einflusses auf die Umweltverträglichkeit
		Bewertung möglicher Gesundheitsgefahren
		Vor einer Normung: Relevante praktische Erfahrung unter anerkannten Bedingungen

8

vdz.

## Interne Überwachungsprüfungen an Zementen

<b>Eigenschaft</b>	<b>zu prüfende Zemente</b>	<b>Prüfverfahren</b>
Anfangsfestigkeit, Normfestigkeit	alle	EN 196-1
Erstarrungsbeginn	alle	EN 196-3
Raumbeständigkeit	alle	EN 196-3
Glühverlust	CEM I, CEM III	EN 196-2
Unlöslicher Rückstand	CEM I, CEM III	EN 196-2
Sulfatgehalt	alle	EN 196-2
Chloridgehalt	alle	EN 196-2
C <sub>3</sub> A im Klinker	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	196-2 für CEM I, ansonsten über WPK
Puzzolanität		EN 196-5
Hydratationswärme		EN 196-8 / -9
Zusammensetzung	alle	-

## India vs. Europe: Cement properties (examples)

Cement/Standard	Grade in MPa	Typical cement fineness in cm <sup>2</sup> /g (Blaine) <sup>1)</sup>	
		India	Europe
OPC / CEM I	43 /42.5 53 /52.5	3.000	3,600 4,880
PSC / CEM III	33 / 32,5 43 / 42,5	3,600 n.a. <sup>2)</sup>	3,920 4,440
PPC / CEM II/B-V (W)	33 / 32,5	3,400	4,470

1) acc. to VDZ Database



2) not included in BIS (Bureau of Indian Standard)

source: Technical Report TR-ECRA-120/2012

vdz.

10

## India vs. Europe: Cement testing (examples)

Standard	Temperature in °C	Test conditions
BIS 	27	standard (constant) <b>consistency</b>
EN 	20	standard (constant) <b>water/cement ratio</b>

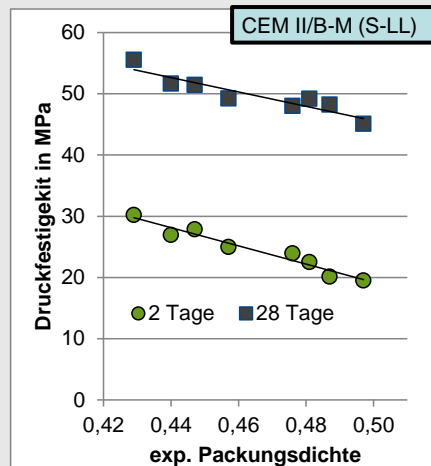
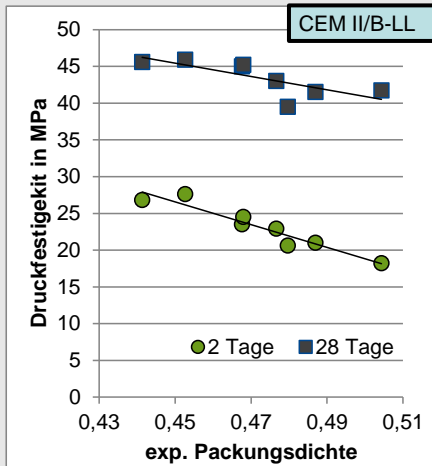
- Indian cement standard is adapted to **local conditions** with respect to market, **available materials** and **ambient conditions**
- Indian cement producers can grind their **cements much more coarsely** compared to other world regions and to **minimise their electrical power consumption** in cement grinding

source: Technical Report TR-ECRA-120/2012

vdz.

11

## Packungsdichte und Zementeigenschaften



z	w/z	g
450 g/Mischung	0,50	1350 g/Mischung

13

vdz.

## Kategorisierung und Bewertung neuer Zemente

<b>Kategorie 1</b> Zement mit einer neuen Kombination traditioneller Bestandteile	<b>Kategorie 2</b> Zement enthält einen geringen Anteil eines oder mehrerer neuer Bestandteile	<b>Kategorie 3</b> Zement unterscheidet sich deutlich von bisher genormten Zementen
Bewertung der mechanischen, physikalischen und chemischen Leistung		
<b>Bewertung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit</b>		
Bewertung des Einflusses auf die Umweltverträglichkeit		Vor einer Normung: Relevante praktische Erfahrung unter anerkannten Bedingungen
Bewertung möglicher Gesundheitsgefahren		

14

vdz.

## Comparison of cement application in Europe: Example "Concrete for exterior building elements (XF1)"

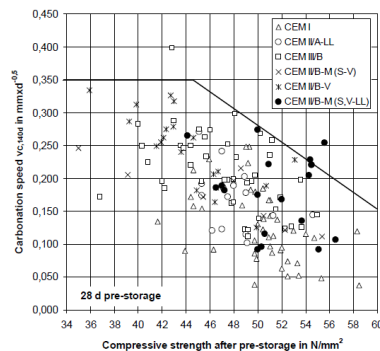
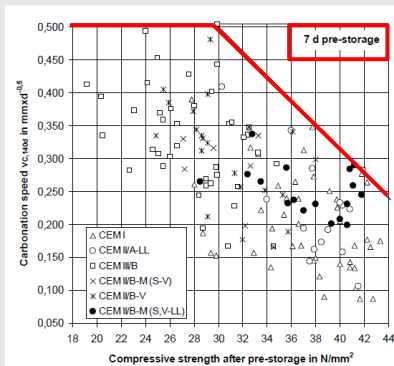
State	max. $w/c_{eq}$	min. $c$ kg/m <sup>3</sup>	CEM I	CEM II						CEM III		CEM IV		CEM V	
				S		L/LL		M		A	B	A	B	A	B
				A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Austria	0.55	300	x	x	x	x	(x)	x	(x)	x	(x)				
Belgium	0.55	300	x	x	x	x	x	x	x	x	x			(x)	
Denmark	0.55	150	(x)			(x)									
Finland	0.60	270	x	x	x	x		x		x	x				
France	0.60	280 *	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Germany	0.60	280	x	x	x	x	●	(x)	(x)	x	x	●	(x)	(x)	(x)
Ireland	0.60	300	x			x									
Italy	0.50	320	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Netherlands	0.55	300	x	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)
Norway	0.60	250	x	x		x									
United Kingdom	0.60	280	x	x	x	x				x	x	(x)	(x)		

not mentioned   
 x use allowed   
 (x) with limitations   
 ● use not allowed

\* and (x) Indicates that there are qualifications, e.g. types of main constituents.

vdz.

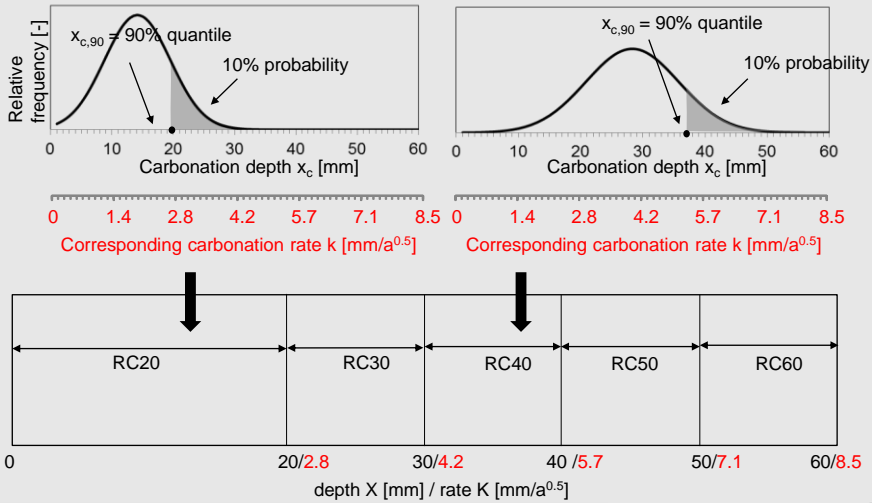
## Bewertungshintergrund Carbonatisierung Deutschland



z	w/z	g
450 g/Mischung	0,50	1350 g/Mischung

Bauaufsichtlich eingeführter  
Bewertungshintergrund

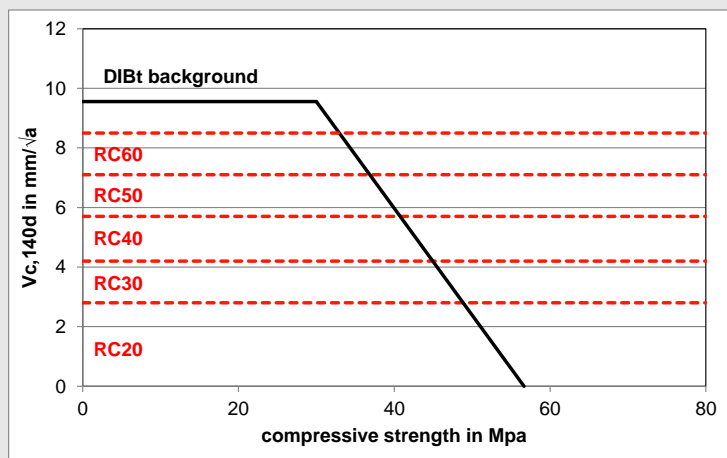
## Vergleich mit Widerstandsklassen Karbonatisierung



TU München, Gehlen, Greve-Dierfeld (Präsentation Brüssel 22.10.2014)

vdz.

## Widerstandsklassen vs. Praxis Deutschland

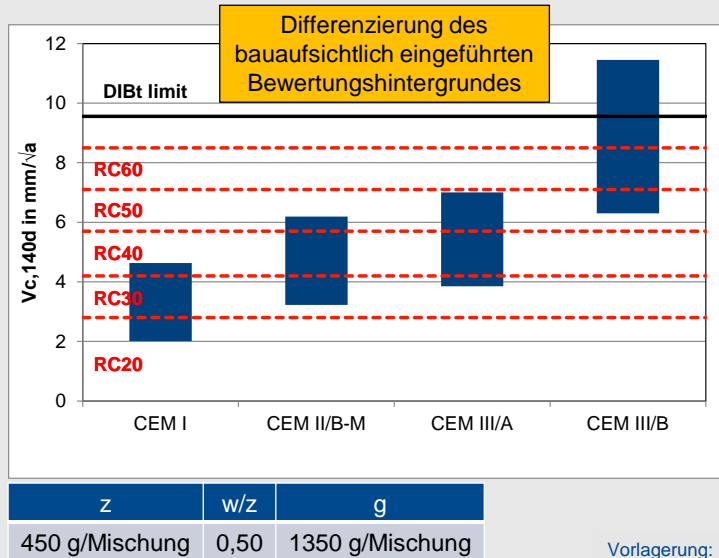


19

Vorlagerung: 7d vdz.

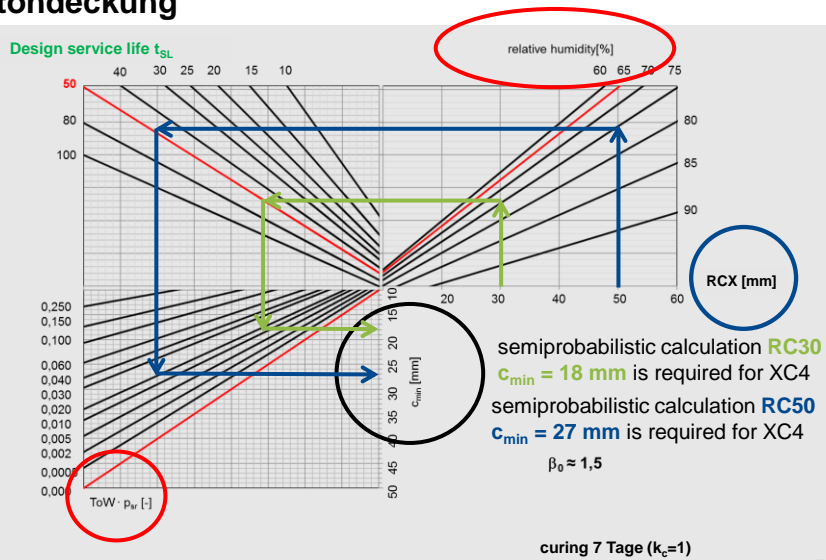


## Widerstandsklassen vs. Praxis Deutschland



22

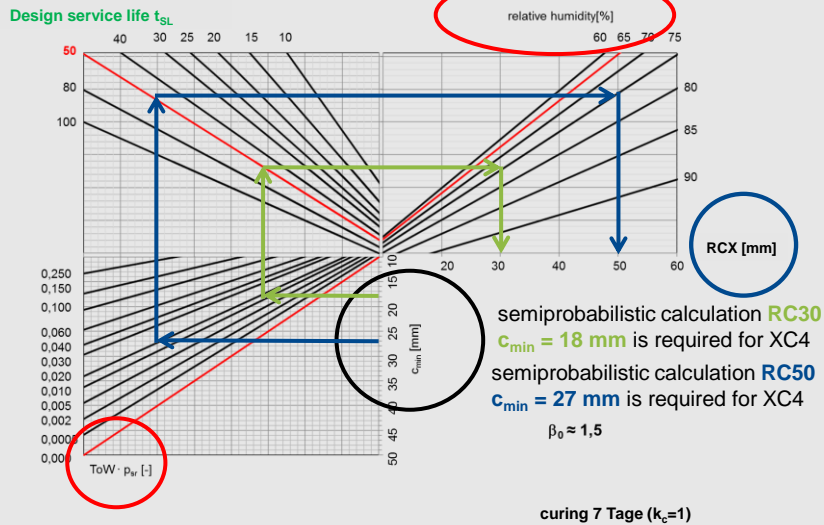
## Zusammenhang zwischen Widerstandsklasse und Betondeckung



TU München, Gehlen, Greve-Dierfeld (Präsentation Brüssel 22.10.2014)

**vdz.**

## Zusammenhang zwischen Widerstandsklasse und Betondeckung



TU München, Gehlen, Greve-Dierfeld (Präsentation Brüssel 22.10.2014)

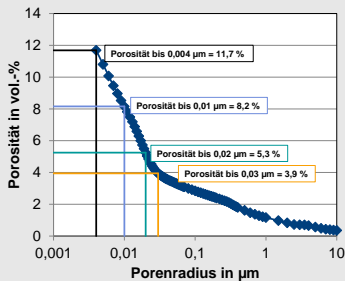
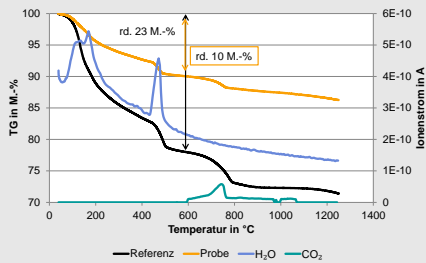
vdz.

## Einführung von Widerstandsklassen in EN 206?

- Weitere Harmonisierung erscheint möglich
- Differenzierung des bauaufsichtlich eingeführten Bewertungshintergrundes
- Verantwortung des Planers: „Vorentscheidung“ bzgl. Baustoffauswahl
- Bei einem echten „Trade-Off“ müsste die Qualitätssicherung entlang der Wertschöpfungskette auf eine neue Basis gestellt werden
- Dauerhaftigkeitsrelevante Leistungsmerkmale neuer Betonausgangsstoffe (z. B. Zemente) und Betoneigenschaften ließen sich stärker in Korrelation bringen

vdz.

## Dauerhaftigkeitsrelevante Leistungsmerkmale

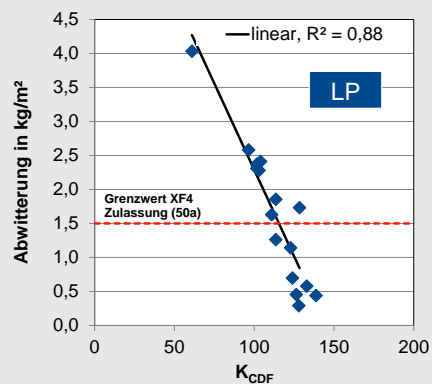
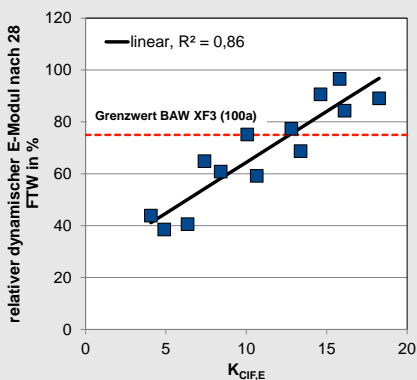


- Simultanthermoanalyse mit Massenspektrometer
- Auswertung des auf Wasser zurückzuführenden Massenverlustes
- Relation zu einer vollständig hydratisierten Portlandzementprobe bzw. zum Literaturwert
- Auswertung
  - der Gesamtporosität
  - definierter Porenradienbereiche

27

vdz.

## Ergebnisse - Kennwerte CIF-Test und CDF-Test



z	w/z
320 kg/m <sup>3</sup>	0,50

$$K_{CIF,E} = \frac{HG_{28d}}{P_{57\mu m} - 0,02\mu m}$$

$$K_{CDF} = HG_{2d} \times L \times \frac{P_{57\mu m} - 0,01\mu m}{P_{ges}}$$

29

vdz.

## Zusammenfassung

- Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen sind ein Kernelement nachhaltiger Zementproduktion in Deutschland.
- Randbedingungen für die weitere Entwicklung:
  - Verfügbarkeit geeigneter Ausgangsstoffe
  - Umweltpolitische Randbedingungen (z. B. Klimaschutz vs. Energieeffizienz)
  - Qualitativ hochwertige, dauerhafte Betonbauwerke im Fokus
- Zementnorm der Zukunft
  - Aspekte der Dauerhaftigkeit von Beton angemessen berücksichtigen
- Einführung von Widerstandsklassen in EN 206?
  - Chancen und Risiken sorgfältig ausloten

vdz.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Dr. Christoph Müller  
VDZ gGmbH  
[christoph.mueller@vdz-online.de](mailto:christoph.mueller@vdz-online.de)

vdz.

