Betontechnik
Aktuelle Trends und Entwicklungen

Christoph Müller, VDZ gGmbH, Düsseldorf

1. DAfStb Jahrestagung

7./8. November 2013

vdz.

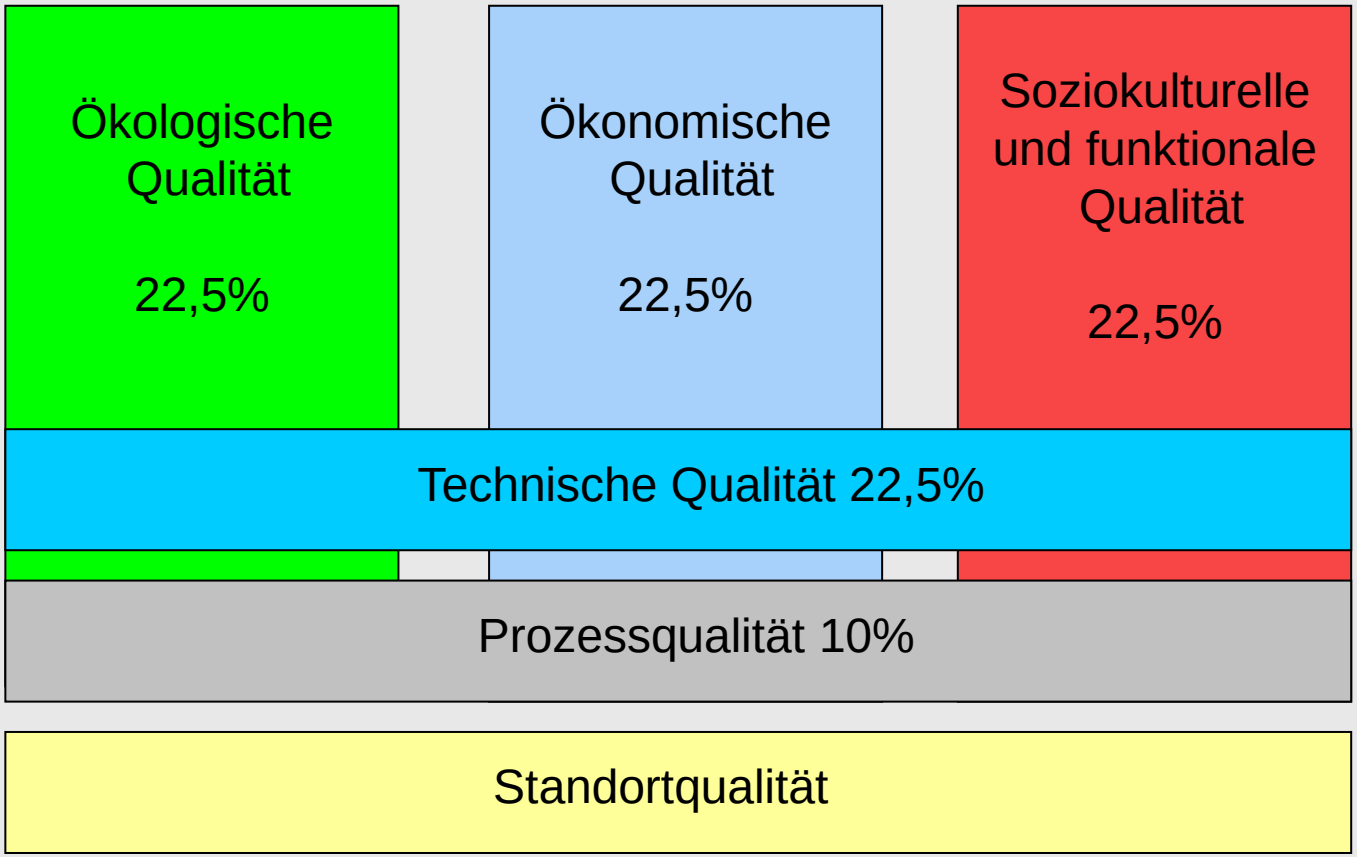
AGENDA

1	Nachhaltigkeit
2	Dauerhaftigkeit
3	Innovationen
4	Weiterbildung, Qualifikation, Wissensmanagement

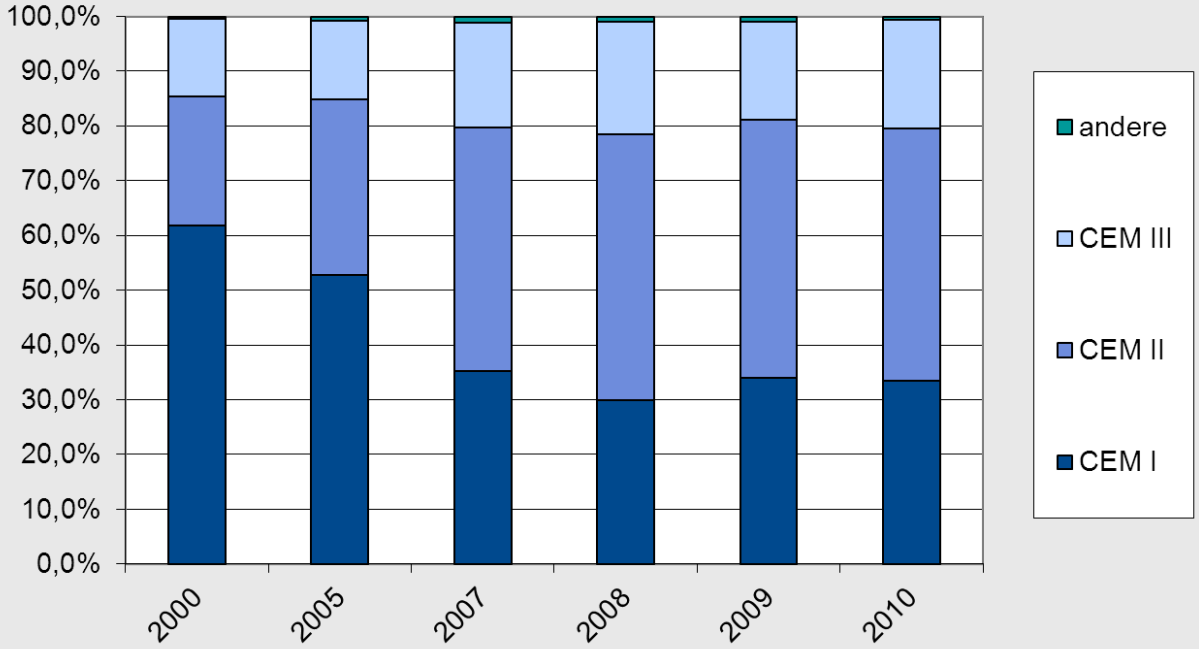
AGENDA

1	**Nachhaltigkeit**
2	Dauerhaftigkeit
3	Innovationen
4	Weiterbildung, Qualifikation, Wissensmanagement

Nachhaltigkeitsbewertung im DGNB-System



Kommunikation von Umweltdaten: 1 t Zement



	1996	2010		Änderung
Treibhauseffekt (GWP)	872	**692**	kg CO_2-Äq	- 21 %
Primärenergie (n.ern.)	4355	**2451** 1)	MJ	- 44%

1) 2010 größerer Anteil an Sekundärbrennstoffen und veränderter Strommix → geringerer Primärenergiebedarf

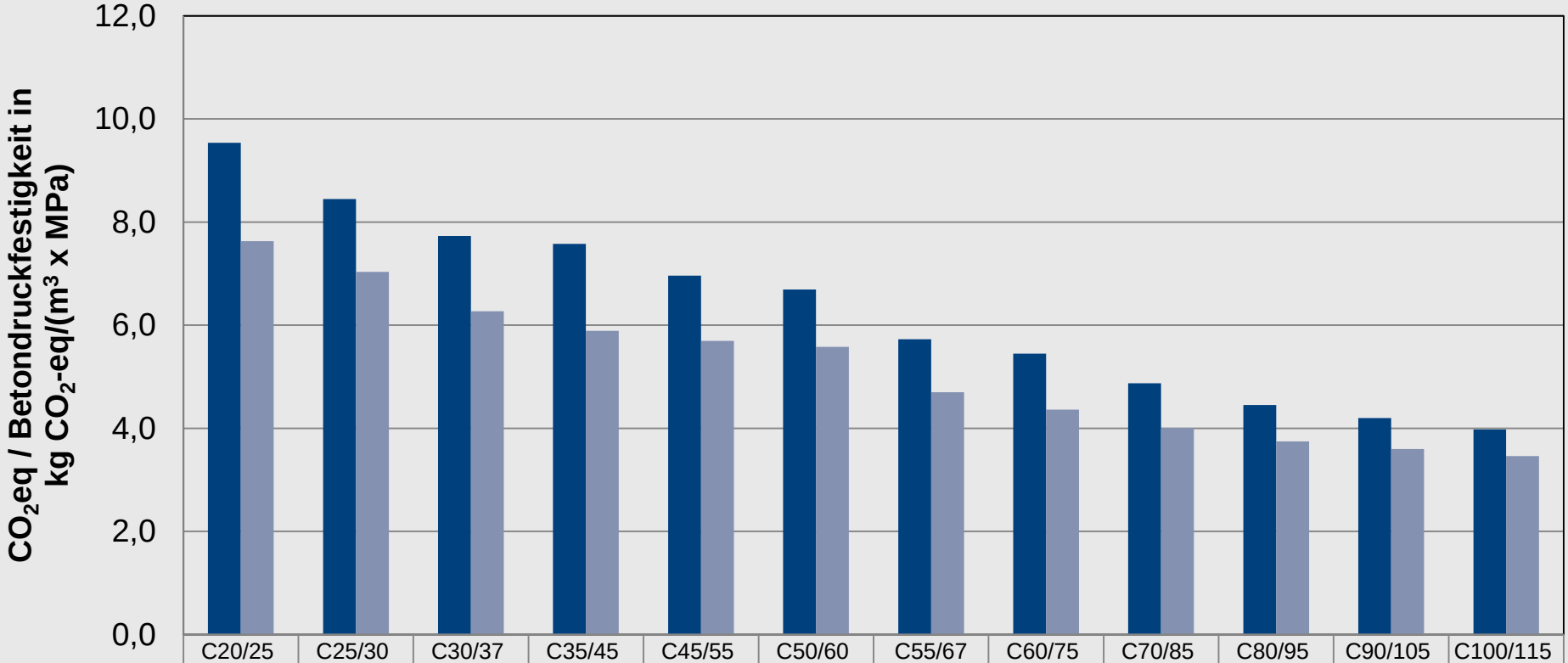
vdz.

Kommunikation von Umweltdaten: 1 m³ Beton (2010)

	C20/25	C50/60	
Treibhauseffekt (GWP)	191	335	kg CO_2-Äq
Primärenergie (n.ern.)	846	1418	MJ

vdz.

Spezifisches GWP_{fck} eines m^3 Konstruktionsbeton

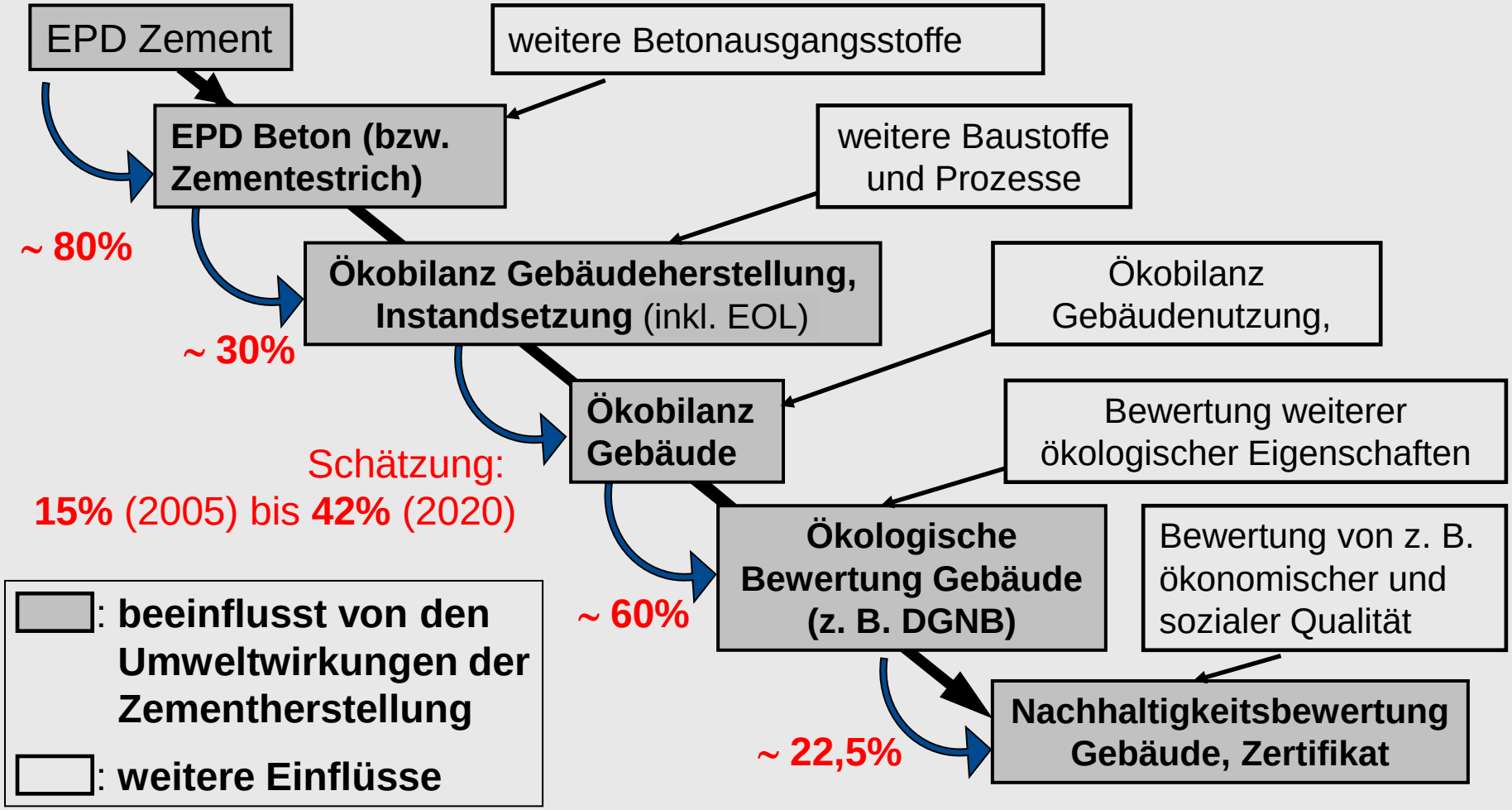


	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115
GWP/fck,cyl	9,5	8,4	7,7	7,6	7,0	6,7	5,7	5,5	4,9	4,5	4,2	4,0
GWP/fck,c	7,6	7,0	6,3	5,9	5,7	5,6	4,7	4,4	4,0	3,7	3,6	3,5

Quellen: IZB EPD Beton 2013, DAfStb Heft 584

vdz.

Auswirkung der Produkt-EPD für Zement auf eine Gebäudebewertung



Quelle: Reiners, VDZ

vdz.

Dauerhaftigkeit mineralischer Baustoffe angemessen berücksichtigen

Zoobogen Berlin

Baujahr 1955 – 1957

Studie von Dipl.-Ing. Architekt Holger König
Sensitivitätsanalyse Betrachtungszeitraum

bbs die baustoffindustrie vdz.

Dauerhaftigkeit mineralischer Baustoffe angemessen berücksichtigen

Die Primärkonstruktion ist 55 Jahre alt und bleibt erhalten.

Studie von Dipl.-Ing. Architekt Holger König
Sensitivitätsanalyse Betrachtungszeitraum

bbs die baustoffindustrie vdz.

Ressourceneffizienz

Fehlende Definition erschwert Diskussionen

Nachhaltigkeitsbetrachtung

		ProgRess	***EREP***
Enger Ressourcen-begriff	Materialeffizienz	X	X
	Energieeffizienz		X
Weitergehender Ressourcen-begriff	Landnutzung		X
	Wassernutzung		X
	CO_2-Emissionen		X
	Arbeitskraft		
	Kapital		
	Soziale Aspekte		
	Prozess-Aspekte		

bbs die baustoffindustrie vdz.

Ressourceneffizienz

Fehlende Definition erschwert Diskussionen

Nachhaltigkeitsbetrachtung

		ProgRess	EREP
Enger Ressourcen-begriff	Materialeffizienz	X	X
	Energieeffizienz		X
Weitergehender Ressourcen-begriff	Landnutzung		X
	Wassernutzung		X
	CO_2-Emissionen		X
	Arbeitskraft		
	Kapital		
	Soziale Aspekte		
	Prozess-Aspekte		

Volkswirtschaftliche Ebene

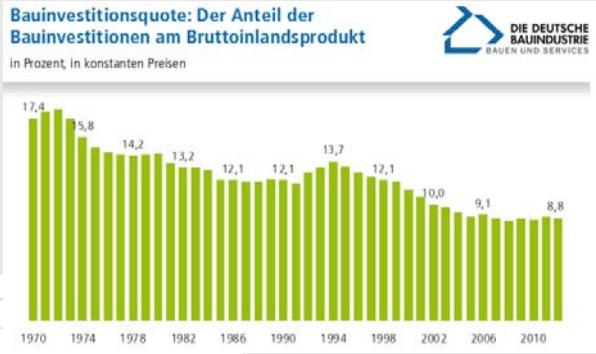
$$Rohstoffproduktiviät_{Volkswirtschaft} = \frac{BIP \quad [€]}{m_{DMI} \quad [t]}$$

bbs die baustoffindustrie vdz.

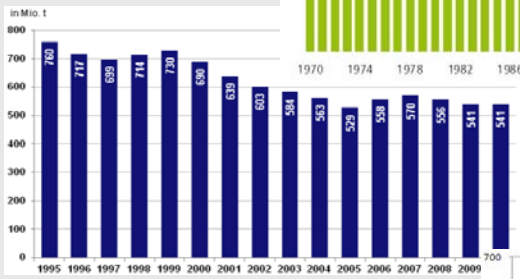
Ressourceneffizienz - hier: Rohstoffproduktivität

Branchen-Ebene: Beispiel Baubranche

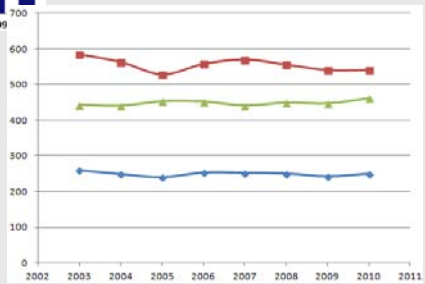
$$Rohstoffproduktiviät_{Baubranche} = \frac{Bauinvestitionsvolumen}{Masseeinsatz_{Baubranche}}$$



Bauinvestitionen in Deutschland
derzeit 260 Mrd. €
Anteil am BIP: 9 bis 10 %.



Masseeinsatz im Bausektor
derzeit 650 Mio. t
(550 Mio. primär, 100 Mio. sekundär)



Rohstoffproduktivität der Baubranche ist damit über die Jahre praktisch konstant.

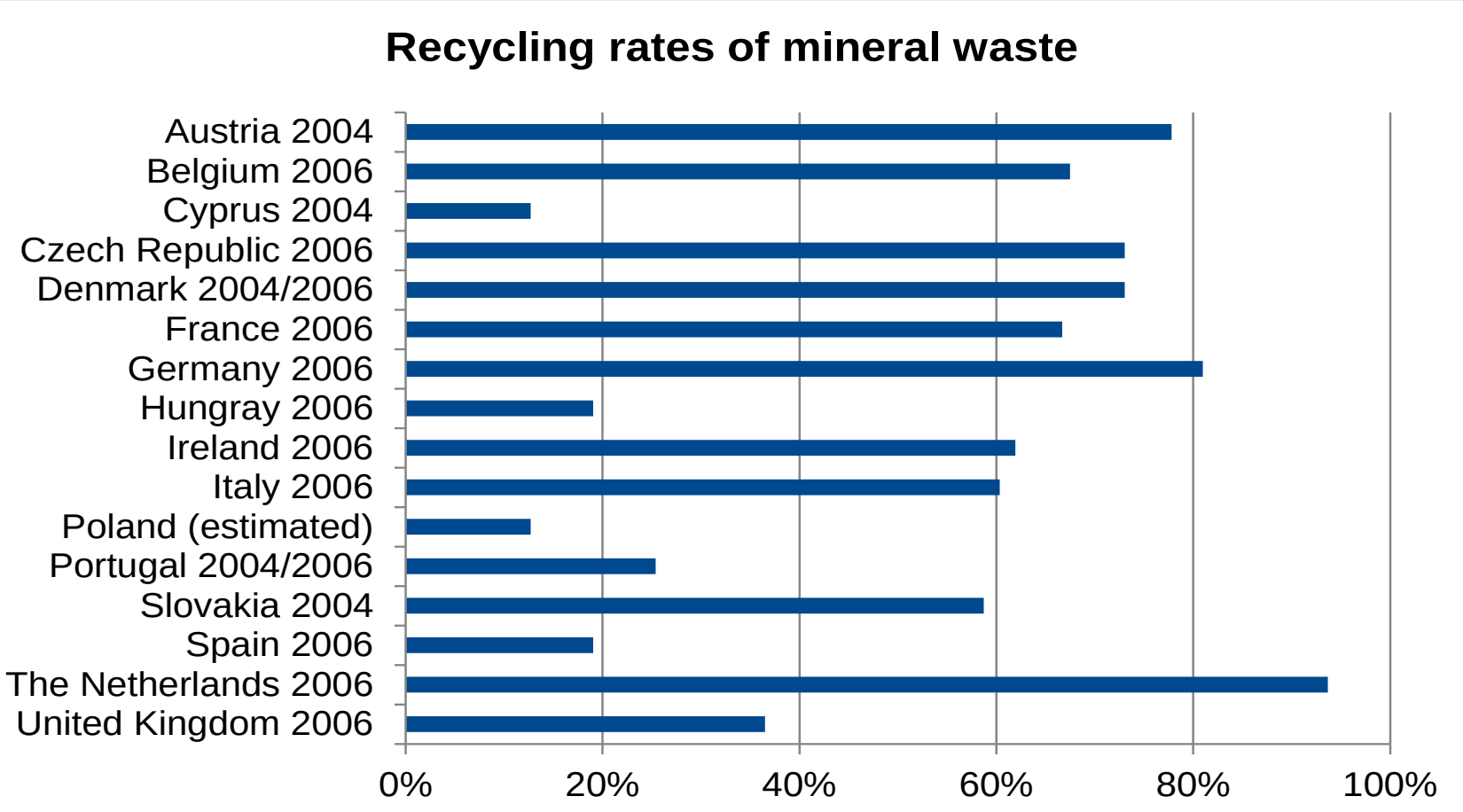
Eignung als Indikator und zur Zielableitung fraglich

Nutzen des Bauens unberücksichtigt

bbs die baustoffindustrie

vdz.

Recycling rates in Europe, data of EQAR - European Quality Association for Recycling e.V.



vdz.

DAfStb-Richtlinie - Anwendungsbereich

Normal- und Schwerbeton

Normalfest

C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C30/37

Nicht anwend-bar in den Expositions-klassen

XS1, XS2, XS3
XD1, XD2, XD3
XF2, XF4
XA2, XA3
XM1, XM2, XM3

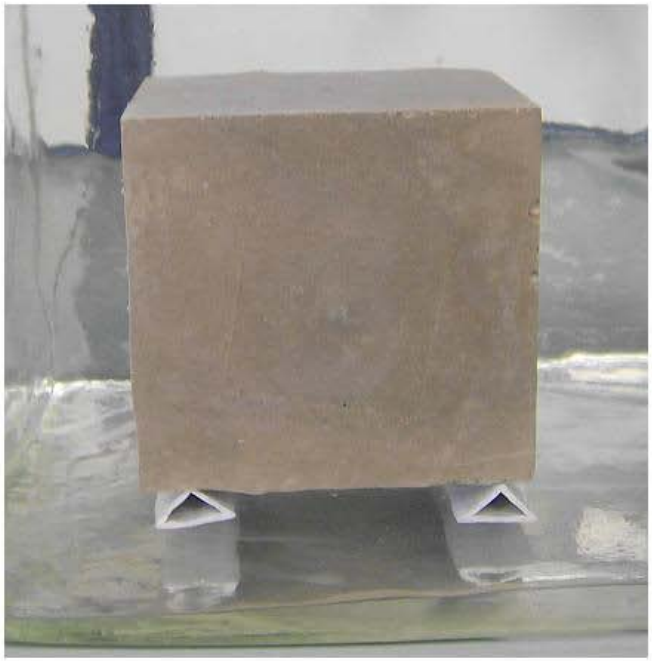
Tabelle 6:
Zulässige Anteile rezyklierter GK > 2 mm, bezogen auf die gesamte GK (Vol.-%)

DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (DAfStb-Alkalirichtlinie)		DIN EN 12620	
Betonkorrosion infolge AKR	Expositionsklasse	TYP 1	TYP 2
WO (trocken)	XC1 Carbonatisierung	≤ 45	≤ 35
WF[1)] (feucht)	X0 kein Korrosionsrisiko		
	XC1 bis XC4 Carbonatisierung		
	XF1[1)] und XF3[1)] Frost ohne Taumittel	≤ 35	≤ 25
	Beton mit hohem Wassereindringwiderstand		
	XA1 Chem. Widerstand	≤ 25	≤ 25

1) Zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 1, (3) und (4)

Umweltverträglichkeit

Tanktest



Säulentest

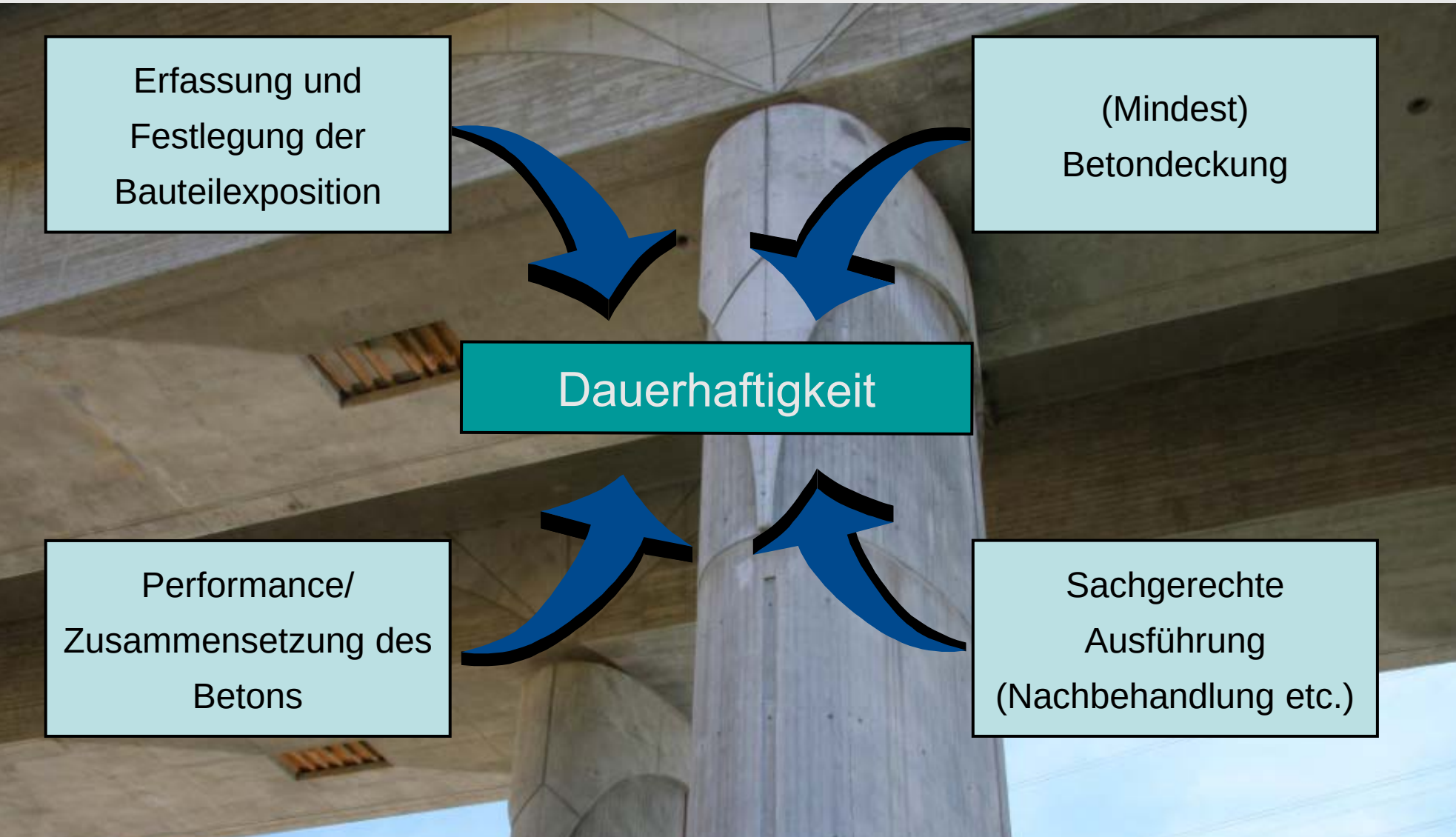
Quelle:
Draeger et al.,
DIN-Mitteilungen 02/12

vdz.

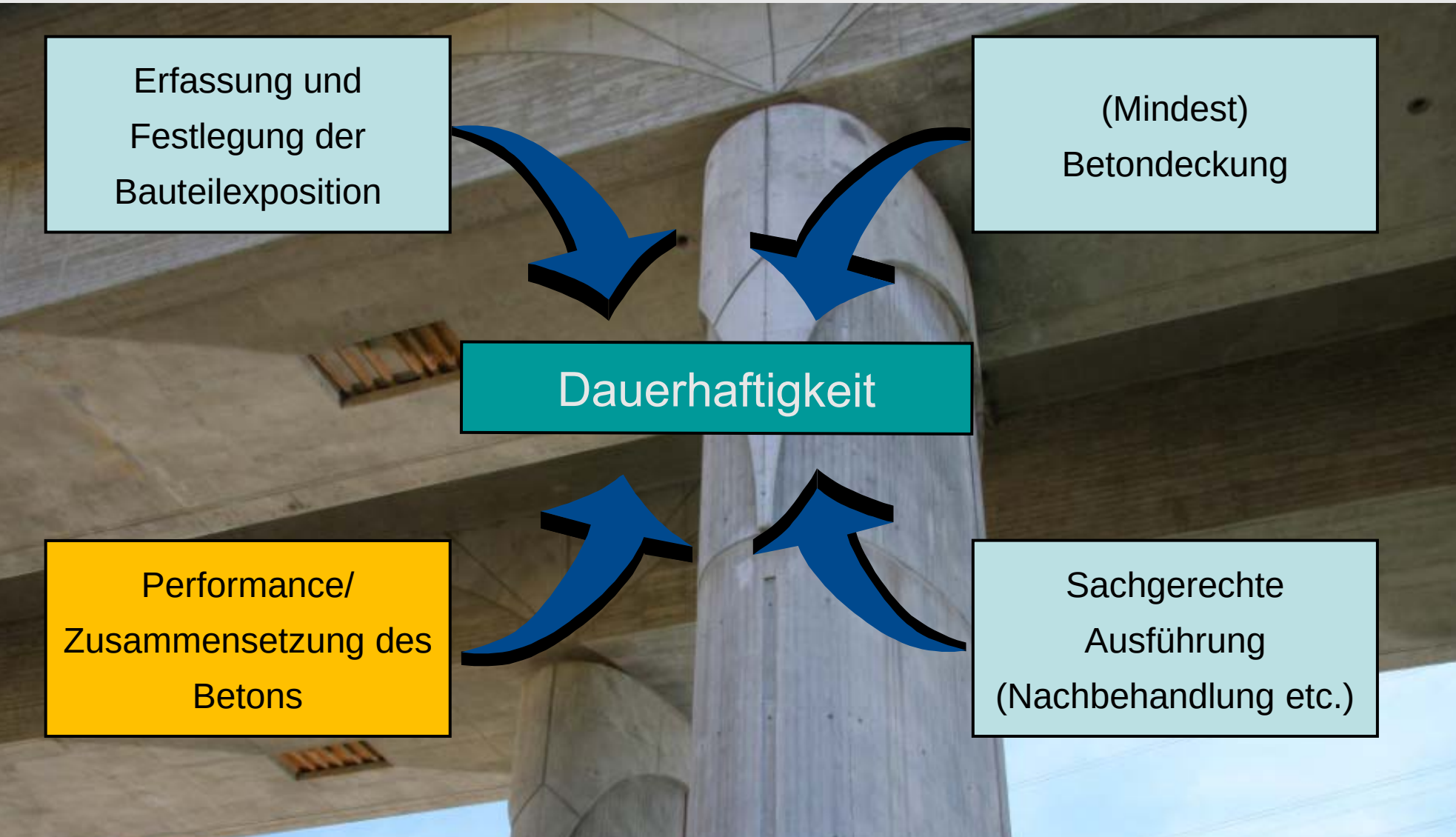
AGENDA

1	Nachhaltigkeit
2	**Dauerhaftigkeit**
3	Innovationen
4	Weiterbildung, Qualifikation, Wissensmanagement

Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit



Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit



Dauerhaftigkeit – EN 206-1/DIN 1045-2

Nachweis der Dauerhaftigkeit

Erfahrung

- definierte Betoneigenschaften
- Grenzwerte für die Zusammensetzung
- Ausgangsstoffe

⇨ **Performance durch Deskription**

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

State	max. w/c_{eq}	min. c	CEM I	CEM II						CEM III		CEM IV		CEM V	
				S		L/LL		M							
		kg/m³		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.

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

State	max. w/c_{eq}	min. c	CEM I	CEM II						CEM III		CEM IV		CEM V	
				S		L/LL		M							
		kg/m³		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.

Dauerhaftigkeit – EN 206-1/DIN 1045-2

Nachweis der Dauerhaftigkeit

Erfahrung

- definierte Betoneigenschaften
- Grenzwerte für die Zusammensetzung
- Ausgangsstoffe

⇨ **Performance durch Deskription**

Prüfung

- anerkannte Verfahren
- tatsächliche Verhältnisse widerspiegeln
- anerkannte Leistungs-kriterien

⇨ **Labor-Performance**

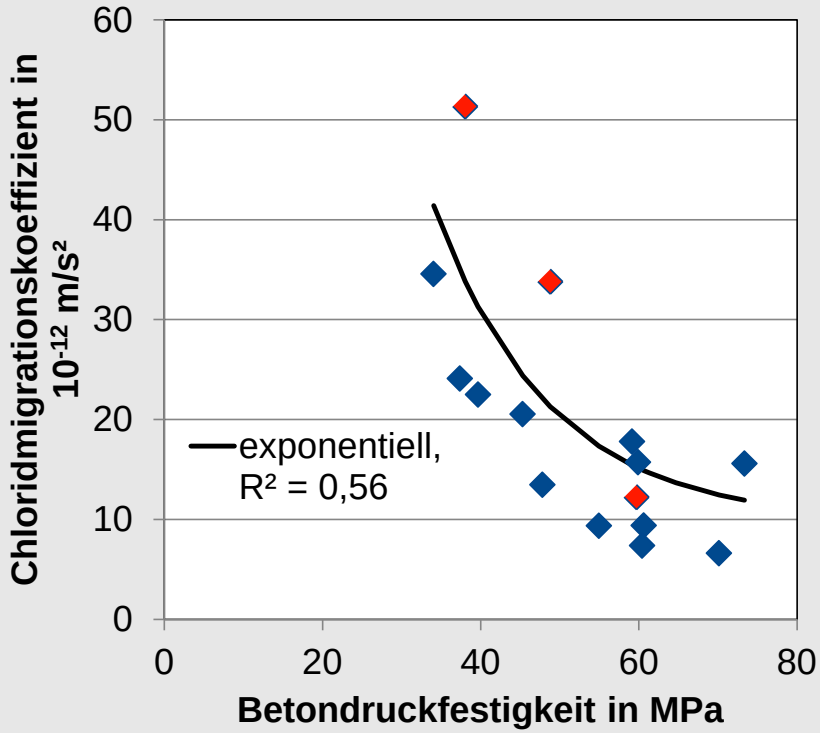
- Mindestlebensdauer >> 50 Jahre,
- **neue Baustoffen, Baustoffe ohne Langzeiterfahrung - hier: neue Zemente**
- besonderen Umweltbedingungen / Beanspruchungen …

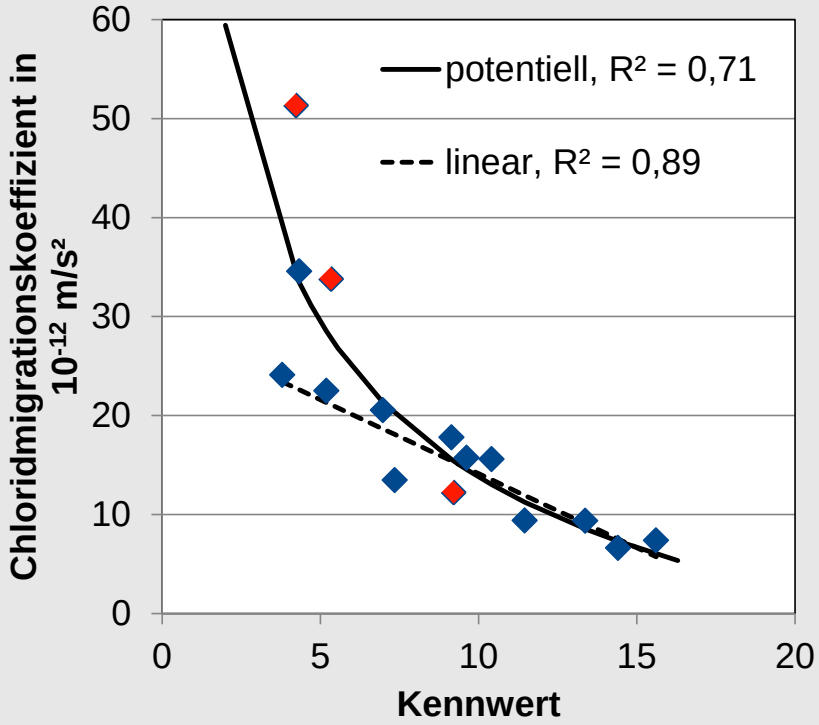
Possible modification of Table 1 in EN 197-1

Designation	Notation	Main constituents								
		K	S	D	Pozzolan		Fly Ash		T	L/LL
					P	Q	V	W		
Portland cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-
Portland-composite cement	CEM II/A-M	80-88	<.....12-20.....>							
	CEM II/B-M	65-79	<.....21-35.....>							
	CEM II/C-M (S-L/LL)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	6-20
	CEM II/C-M (P-L/LL)		-	-	16-44	-	-	-	-	
	CEM II/C-M (V-L/LL)		-	-	-	-	16-44	-	-	
Blast furnace Cement	CEM III / A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-
	CEM III / B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-
	CEM III / C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-
Pozzolanic Cement	CEM IV / A	65-89	-	<.....11-35.....>					-	-
	CEM IV / B	45-64	-	<.....36-55.....>					-	-
Composite Cement	CEM V / A	40-64	18-30	-	<..... 18-30 .....>			-	-	-
	CEM V / B	20-38	31-49	-	<..... 31-49 .....>			-	-	-
Name tbc	CEM VI (S-L/LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20

vdz.

Ergebnisse - Chloridmigration



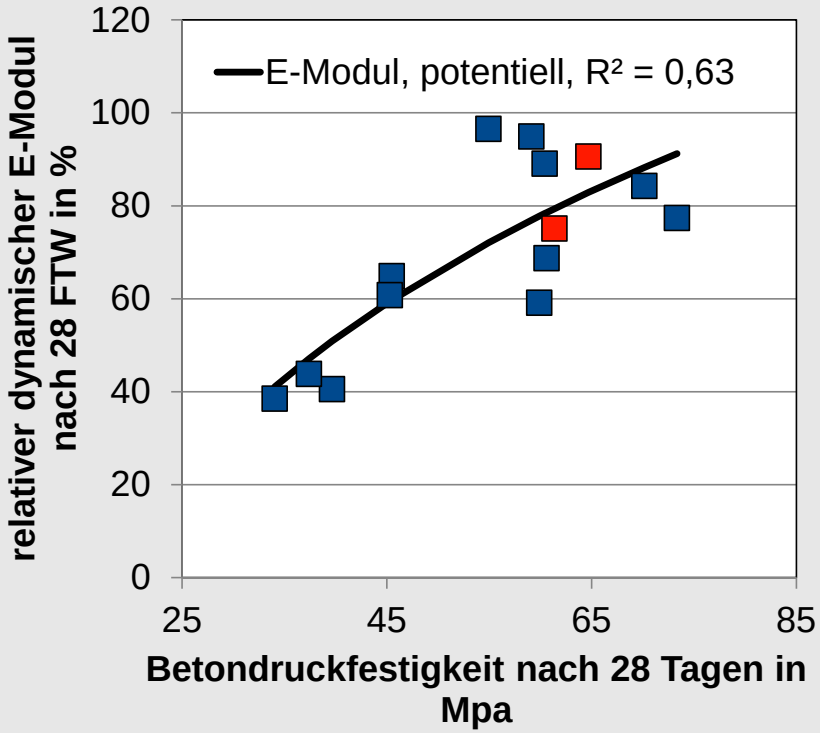


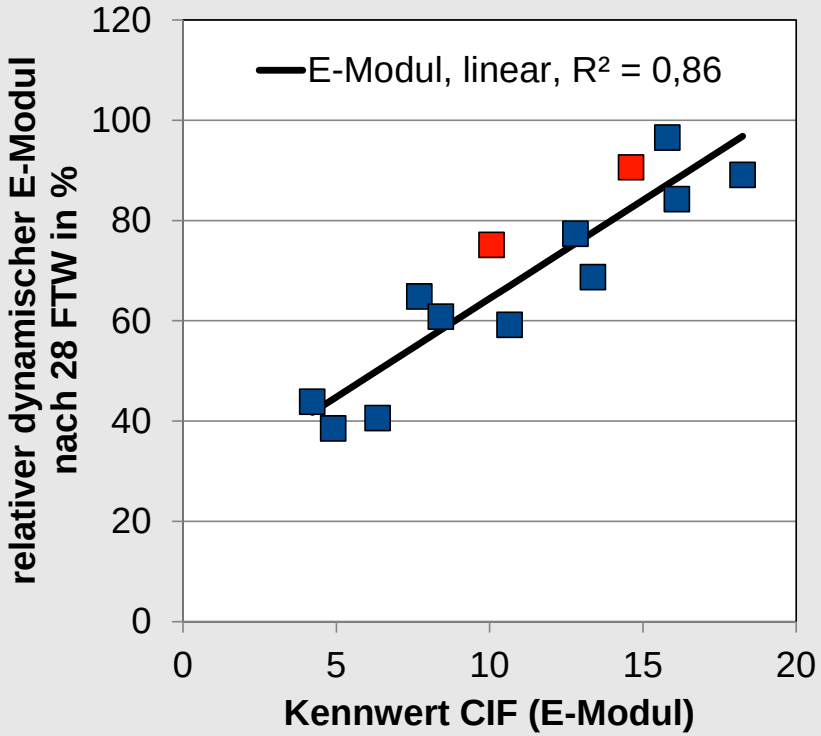
z = 320 kg/m³
w/z = 0,50

$$Kennwert\ (Cl_{35d}) = \frac{HG_{7d}}{P_{0,02\mu m}}$$

vdz.

Ergebnisse - CIF-Test





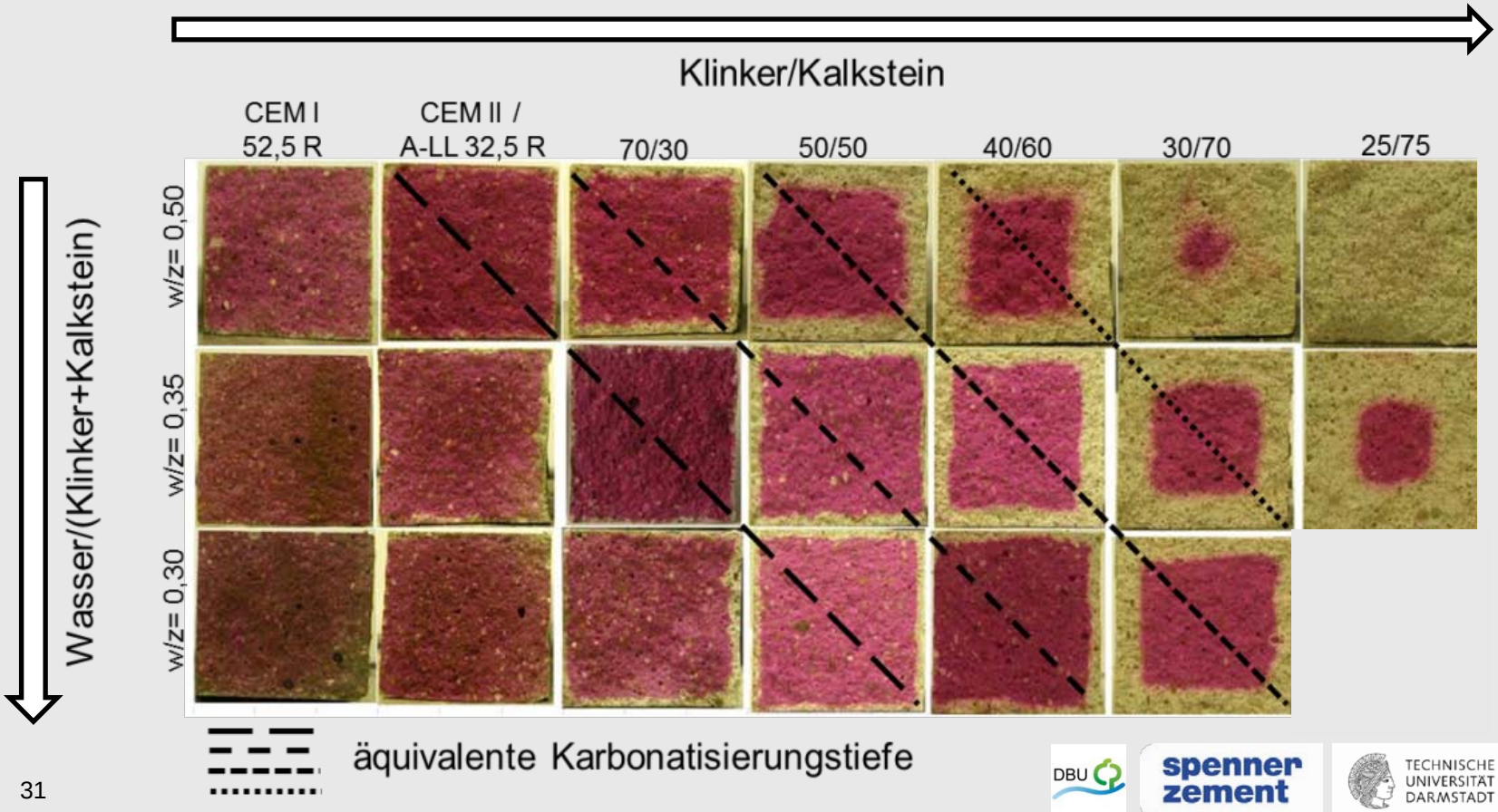
z = 320 kg/m³
w/z = 0,50

$$Kennwert\ (CIF_{E-Modul}) = \frac{HG_{28d}}{P_{0,02\mu m}}$$

vdz.

Karbonatisierung

- 140 Tage Auslagerung im Klimaraum (Kalkstein: LL RK)
- 20°C, 65% rel. LF, 7d Nachbehandlung, Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm



Werksversuch - Betonieren

- Betonieren einer Wand H = 1,5 m, d = 0,20 direkt aus Fahrmischer
- Verdichtung mit Innenrüttler
- Beton 2 für Betonieren des unteren Bereichs, Beton 3 für oberen Bereich

Werksversuch - Betonieren

- Fehlstellen bei Mischung 2 im unteren Bereich
- Gute Oberflächenqualität mit Mischung 3
- Betondruckfestigkeiten nach 28 Tagen etwas geringer als bei Laborbetonen

Dauerhaftigkeit – EN 206-1/DIN 1045-2

Nachweis der Dauerhaftigkeit

Erfahrung

- definierte Betoneigenschaften
- Grenzwerte für die Zusammensetzung
- Ausgangsstoffe

⇨ **Performance durch Deskription**

Prüfung

- anerkannte Verfahren
- tatsächliche Verhältnisse widerspiegeln
- anerkannte Leistungs-kriterien

⇨ **Labor-Performance**

- Mindestlebensdauer >> 50 Jahre,
- neue Baustoffen, Baustoffe ohne Langzeiterfahrung - hier: neue Zemente
- **besonderen Umweltbedingungen / Beanspruchungen …**

Besonderen Umweltbedingungen / Beanspruchungen

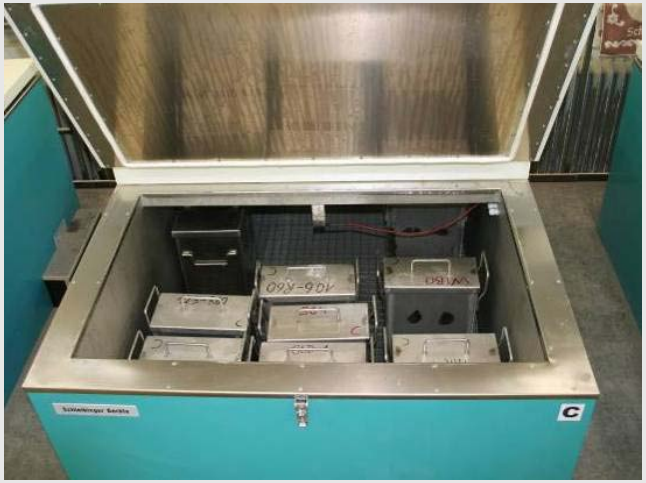
Betonfahrbahndecken
nach ZTV Beton-StB

Flugbetriebsflächen

AKR-Performance-Prüfung

- Verfahren zur Bewertung des AKR-Schädigungspotentials von Betonzusammensetzungen

- 60 °C-Betonversuch des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf



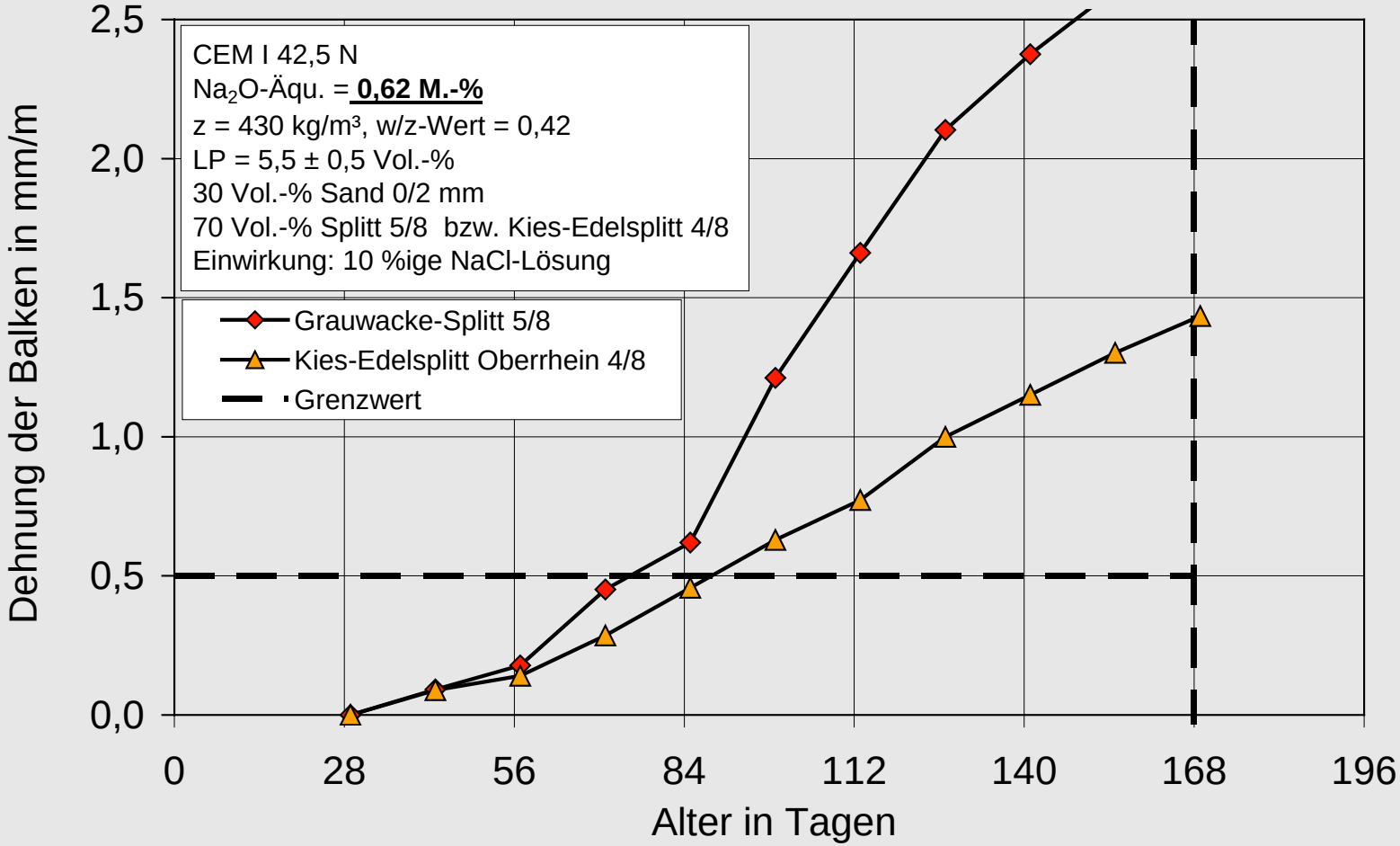
Vorlagerung					**Wechsellagerung** Zyklus 1 (14d)				Zyklus 2
1 d 20 °C 100 %	6 d 20 °C 100 %	14 d 20 °C 65 %	6 d 60 °C 100 %	1 d 20 °C 100 %	5 d 60 °C Ofen	2 d 20 °C NaCl*	6 d 60 °C 100 %	1 d 20 °C 100 %	5 d 60 °C Ofen

0 — Alter in Tagen — 28 — 35 — 42

* z. B. 10 %ige NaCl-Lösung

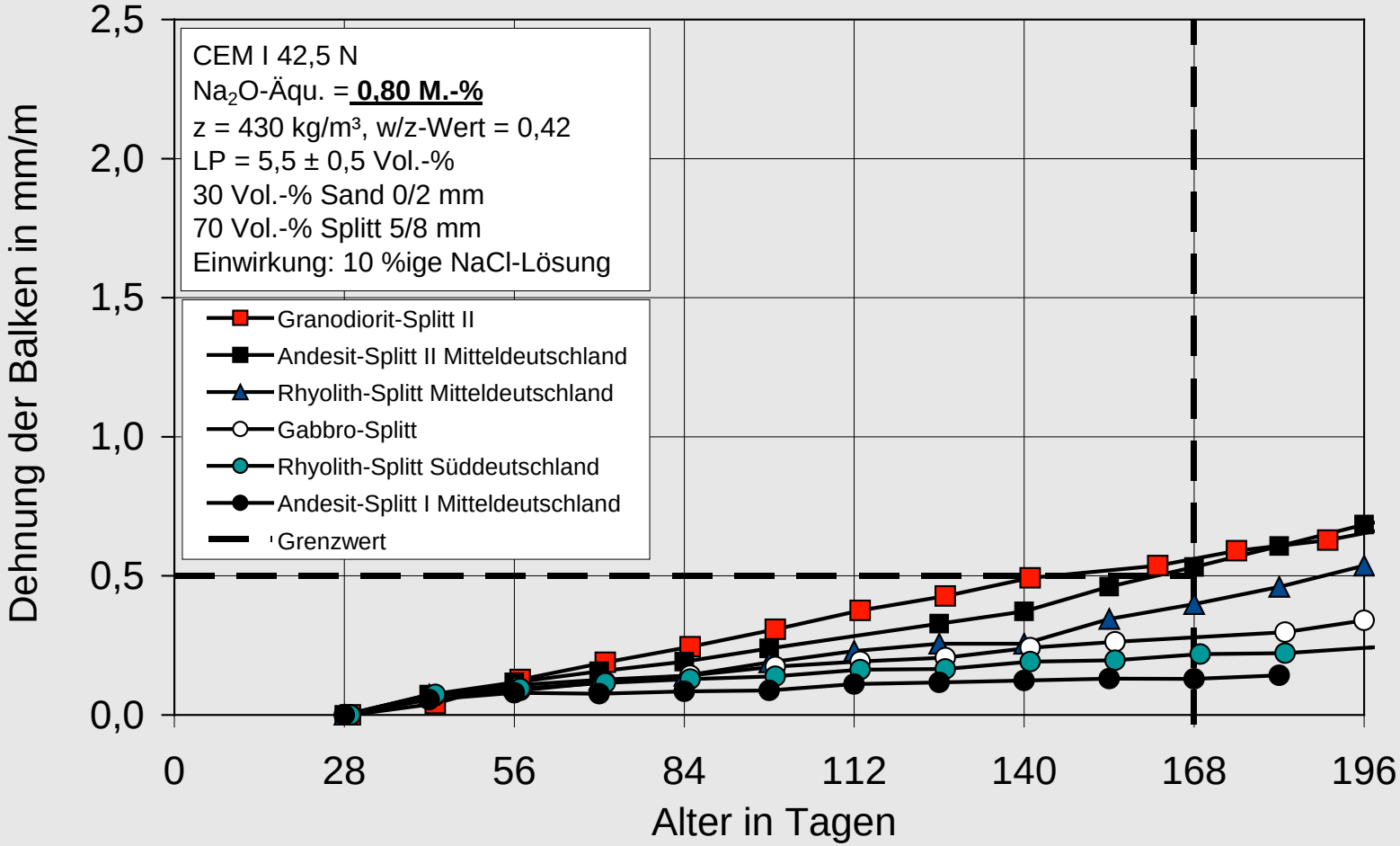
vdz.

60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen
Beton für Fahrbahndecke in Waschbetonbauweise



vdz.

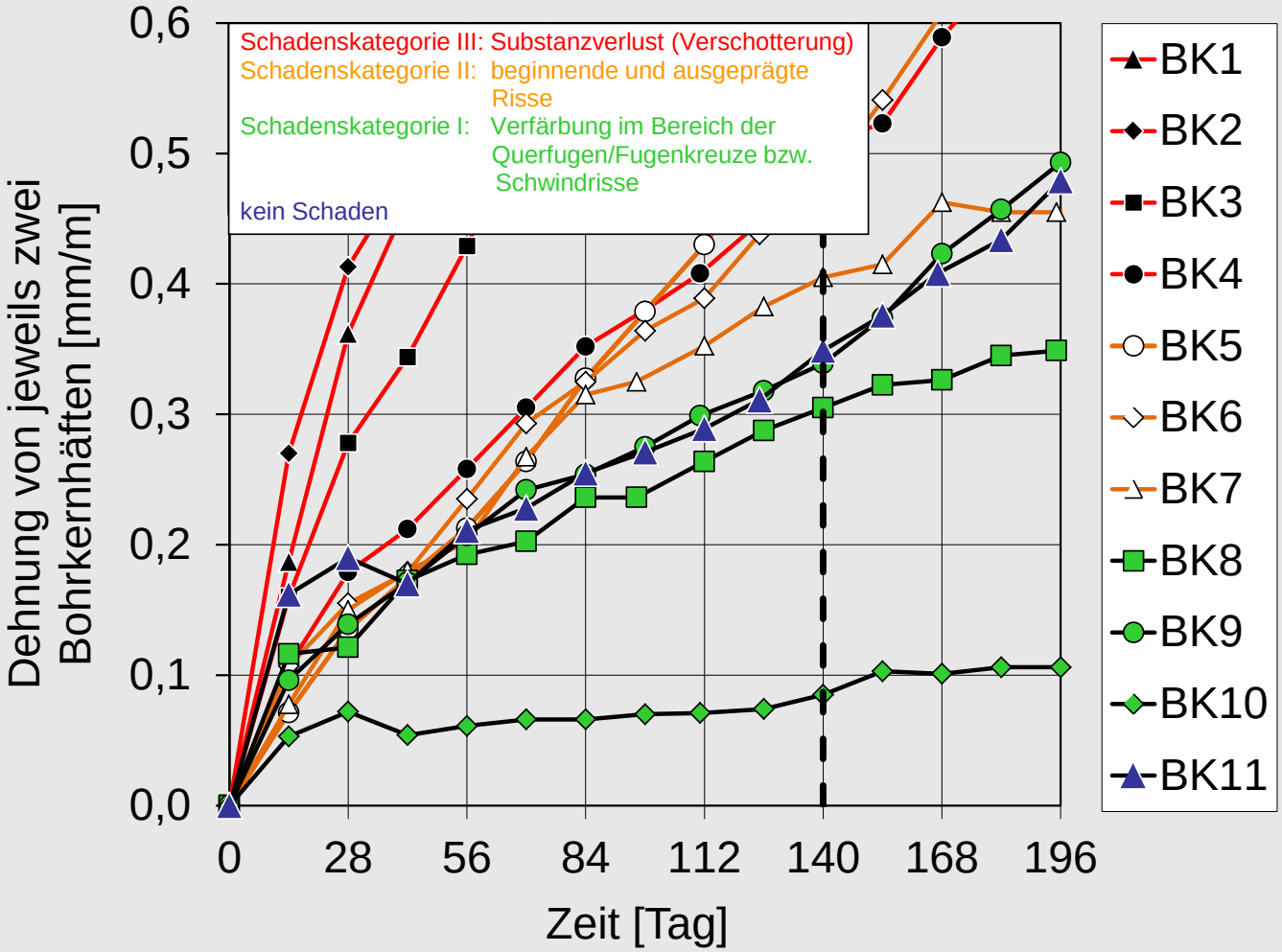
60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen
Beton für Fahrbahndecke in Waschbetonbauweise



Ergebnisse aus FE-Vorhaben 89.214/2008/AP-BASt

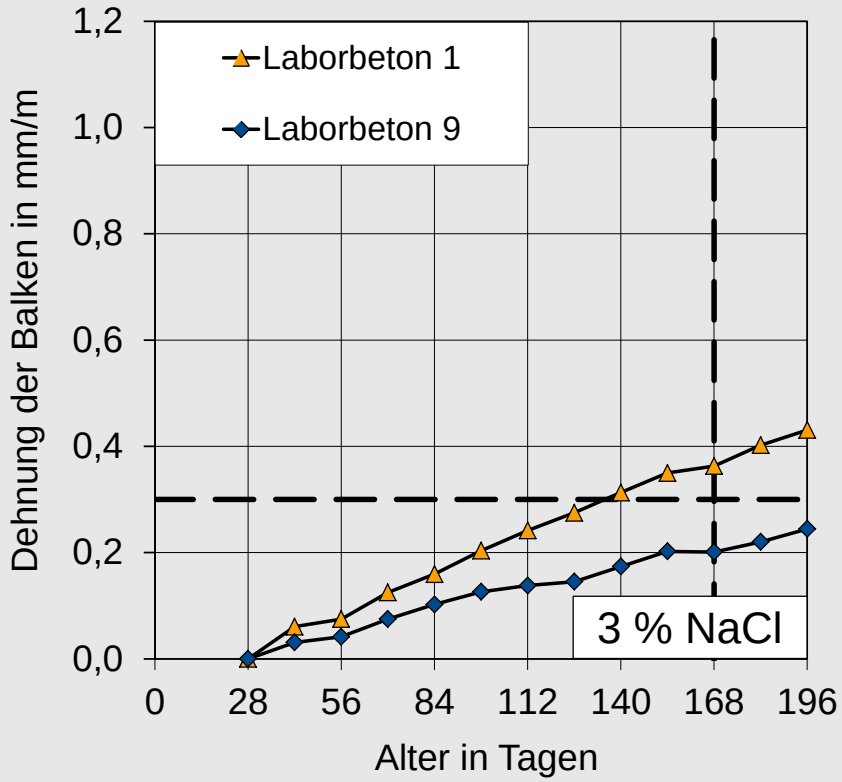
vdz.

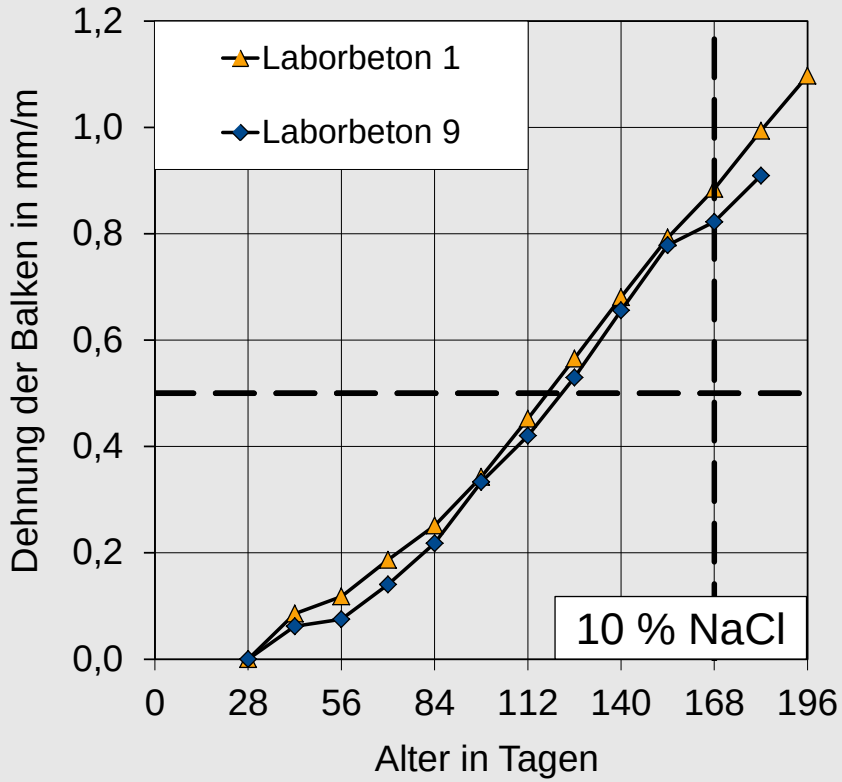
Bohrkernhälften aus Fahrbahndecken im 60 °C-Betonversuch - 3%ige NaCl-Lösung



vdz.

60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen an nachgestellten Betonen von Fahrbahndecken





Laborbeton 1: Nachgestellter Beton des Autobahnloses A10-8, entspricht Autobahnlose 1 und 3 (**SK III**)

Laborbeton 9: Nachgestellter Beton des Autobahnlos A40-7, Autobahnlos 9 (**SK I**)

vdz.

Dauerhaftigkeit – EN 206-1/DIN 1045-2

Nachweis der Dauerhaftigkeit

Erfahrung

- definierte Betoneigenschaften
- Grenzwerte für die Zusammensetzung
- Ausgangsstoffe

⇨ **Performance durch Deskription**

Prüfung

- anerkannte Verfahren
- tatsächliche Verhältnisse widerspiegeln
- anerkannte Leistungs-kriterien

⇨ **Labor-Performance**

Vorhersagemodelle

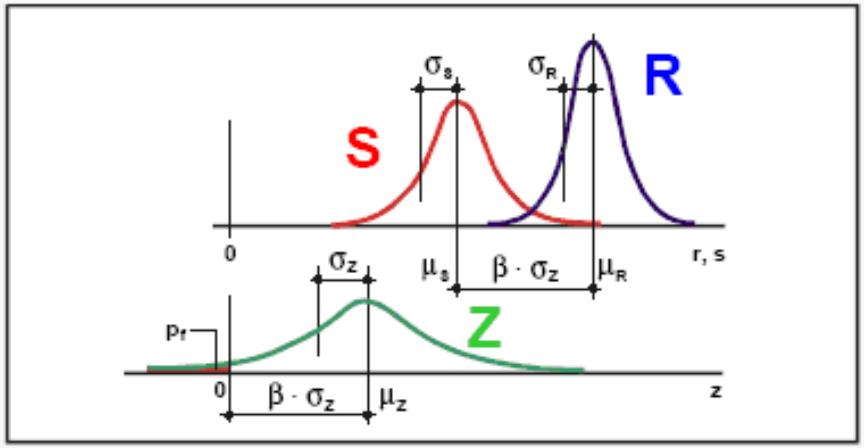
- rechnerische Modelle, die an Prüfergebnissen bzw. praktischen Erfahrungen kalibriert sind

⇨ **berechnete Performance**

Zuverlässigkeitsbetrachtungen

$$Z = R - S$$

- S – Einwirkung
- R – Widerstand
- Z – Zuverlässigkeit



$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta), \quad \mu_Z = \mu_R - \mu_S, \quad \sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

- β – Zuverlässigkeitsindex
- $\Phi(\cdot)$ – Standardnormalverteilung
- p_f – Versagenswahrscheinlichkeit

Quelle: fib, Gehlen, Schießl

vdz.

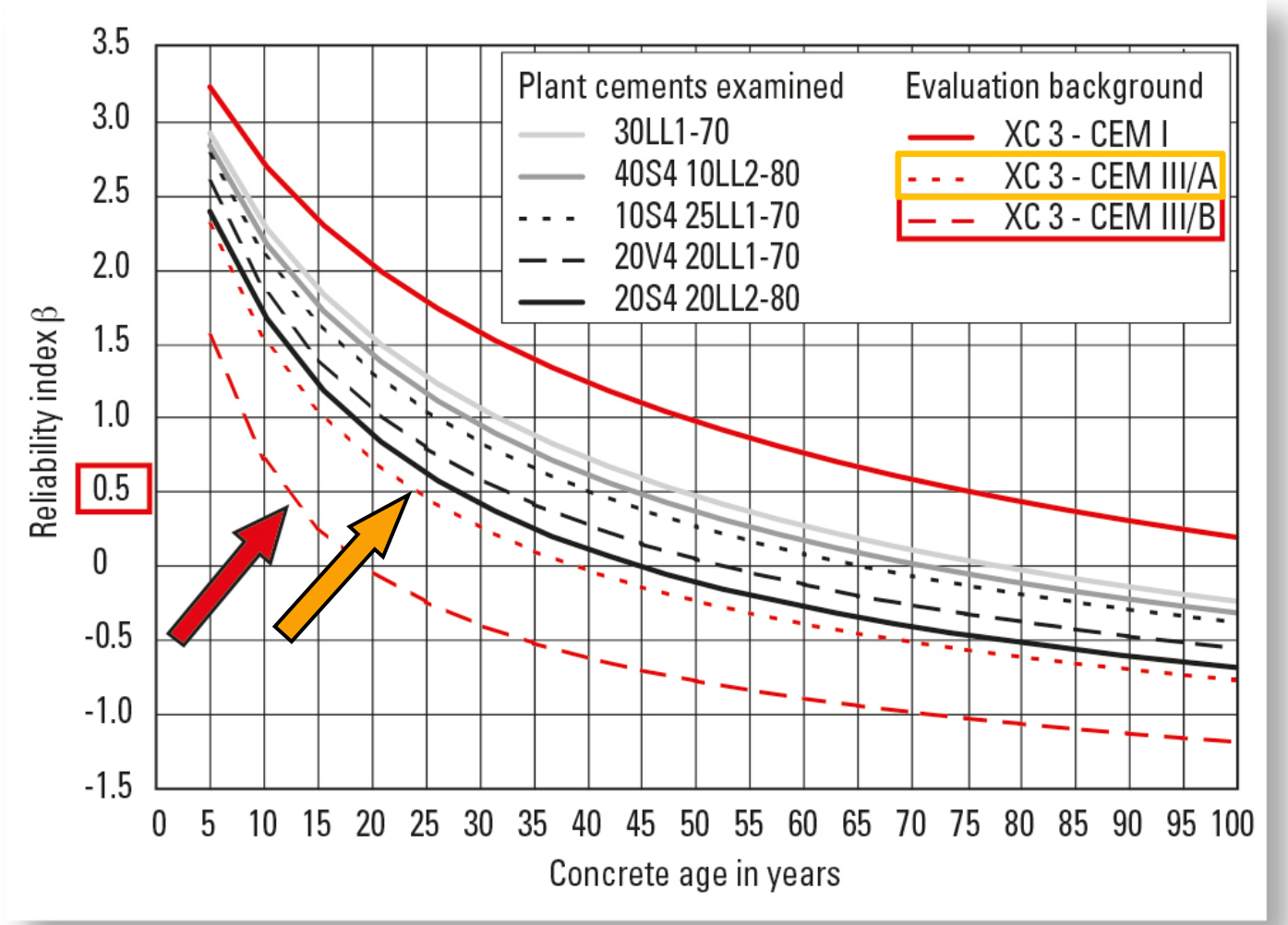
Anwendungsgebiete der Lebensdauerbemessung

Lebensdauerbemessung eignet sich besonders für:

- **Infrastrukturbauwerke**
- **Bauwerke mit repräsentativem Charakter**
- **Bauwerke, bei denen die Nutzungsdauer von der technischen Lebensdauer der Konstruktion bestimmt wird**

Quelle: Schießl et al.

Reliability with respect to depassivation of the reinforcement concerning exposure class XC3



w/c = 0,65
min c = 280 kg/m³

Source: IBPS / VDZ

Exposure resistance classes, definitions, classification standards and deemed to satisfy values

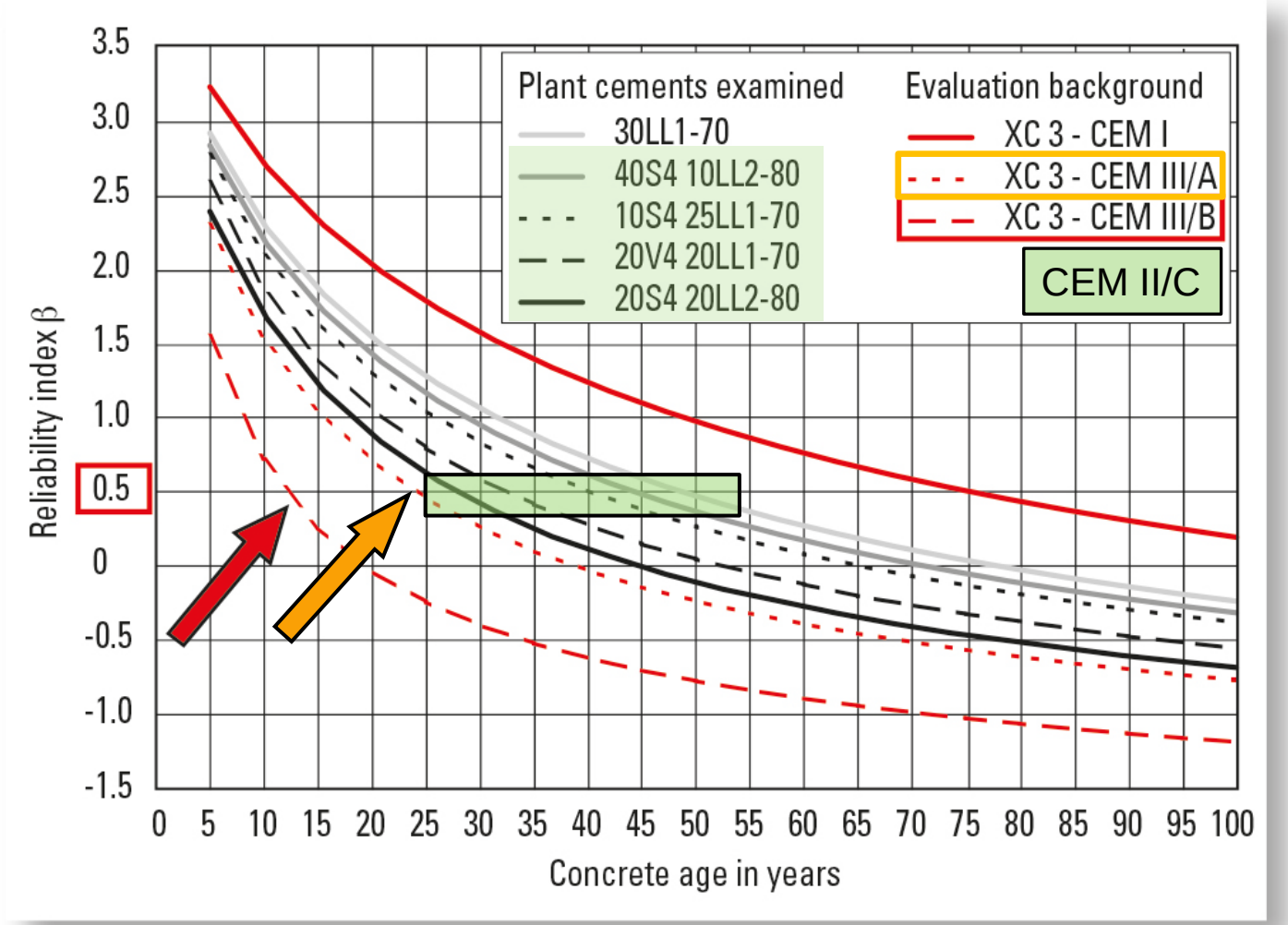
Preliminary values	Carbonation resistance class RC				Chloride resistance class RSD		
	RC20	RC30	RC40	RCX0[1]	RSD45	RSD60	RSD75
Definition of class, depth of front after 50 years (mm)	20	30	40	-	45	60	75
Classification standard	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN yyy	EN yyy	EN yyy
Deemed to satisfy	Maximum water-cement-ratio (w/c)						
CEM I	0,45	0,50	0,55	0,90	NA	NA	0,45[2]
CEM II-A	0,45	0,50	0,55	0,90	0,40	0,50	0,60
CEM II-B	NA	0,45	0,50	0,75	0,40	0,50	0,60
CEM III-A	NA	0,45	0,50	0,75	?	?	?
CEM III-B	NA	NA	0,45	0,65	0,38	0,45	0,55
Minimum cement content (kg/m^3)	280	280	280	280	280	280	280

[1] Class RCX0 shall only be allowed in exposure class X0
[2] CEM I shall only be used with minimum 4% silica fume
NA means that no deemed to satisfy values are given for that combination of binder and resistance class

source: JWG CEN/TC250/TC104 N19E (modified)

vdz.

Reliability with respect to depassivation of the reinforcement concerning exposure class XC3



w/c = 0,65
min c = 280 kg/m³

Source: IBPS / VDZ

Exposure resistance classes, definitions, classification standards and deemed to satisfy values

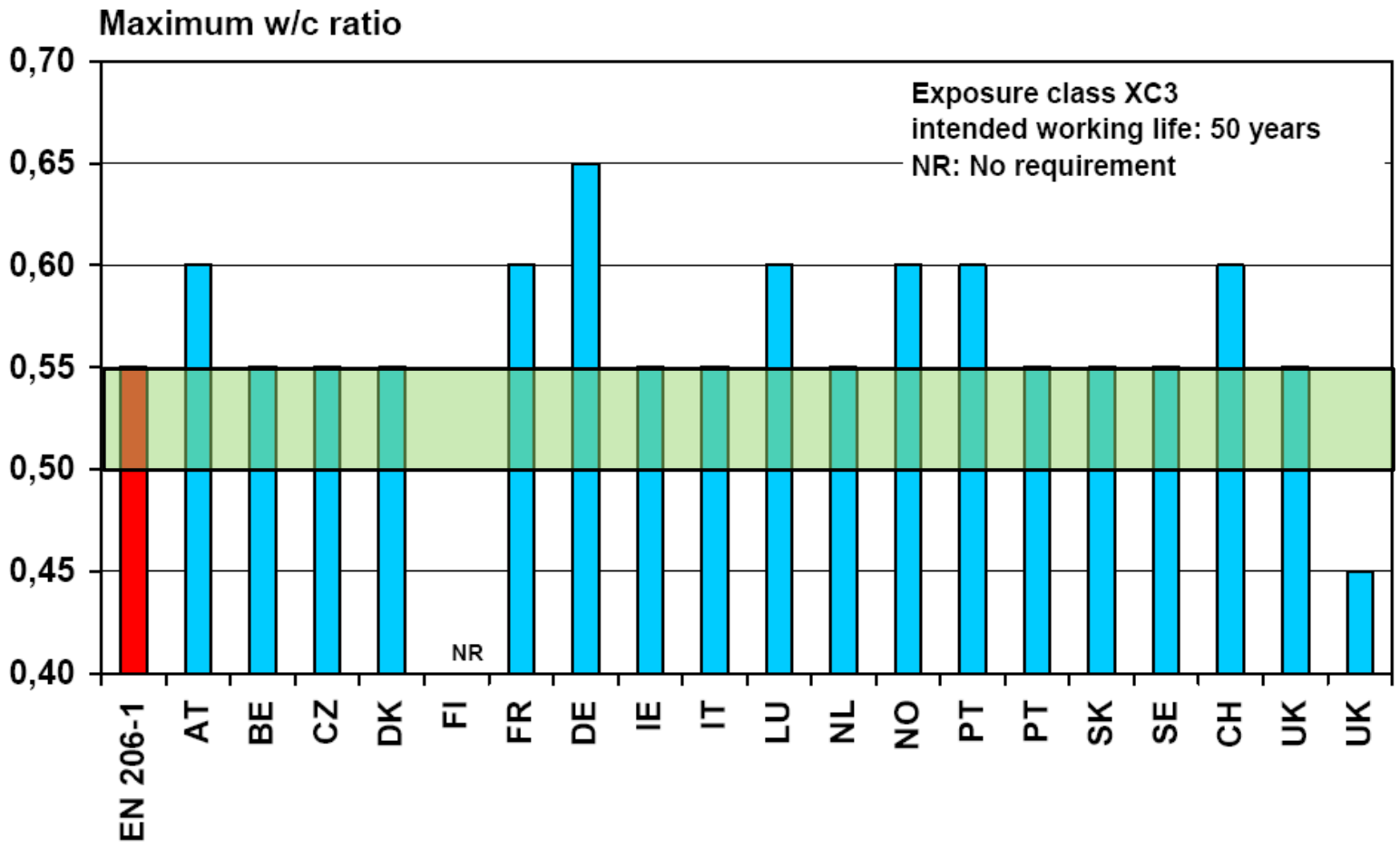
Preliminary values	Carbonation resistance class RC				Chloride resistance class RSD		
	RC20	RC30	RC40	RCX0[1]	RSD45	RSD60	RSD75
Definition of class, depth of front after 50 years (mm)	20	30	40	-	45	60	75
Classification standard	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN yyy	EN yyy	EN yyy
Deemed to satisfy	Maximum water-cement-ratio (w/c)						
CEM I	0,45	0,50	0,50	0,90	NA	NA	0,45[2]
CEM II-A	0,45	0,50		0,90	0,40	0,50	0,60
CEM II-B, CEM II/C,	NA	0,45		0,75	0,40	0,50	0,60
CEM III-A	NA	0,45		0,75	?	?	?
CEM III-B	NA	NA		0,65	0,38	0,45	0,55
Minimum cement content (kg/m³)	280	280	280	280	280	280	280

[1] Class RCX0 shall only be allowed in exposure class X0
[2] CEM I shall only be used with minimum 4% silica fume
NA means that no deemed to satisfy values are given for that combination of binder and resistance class

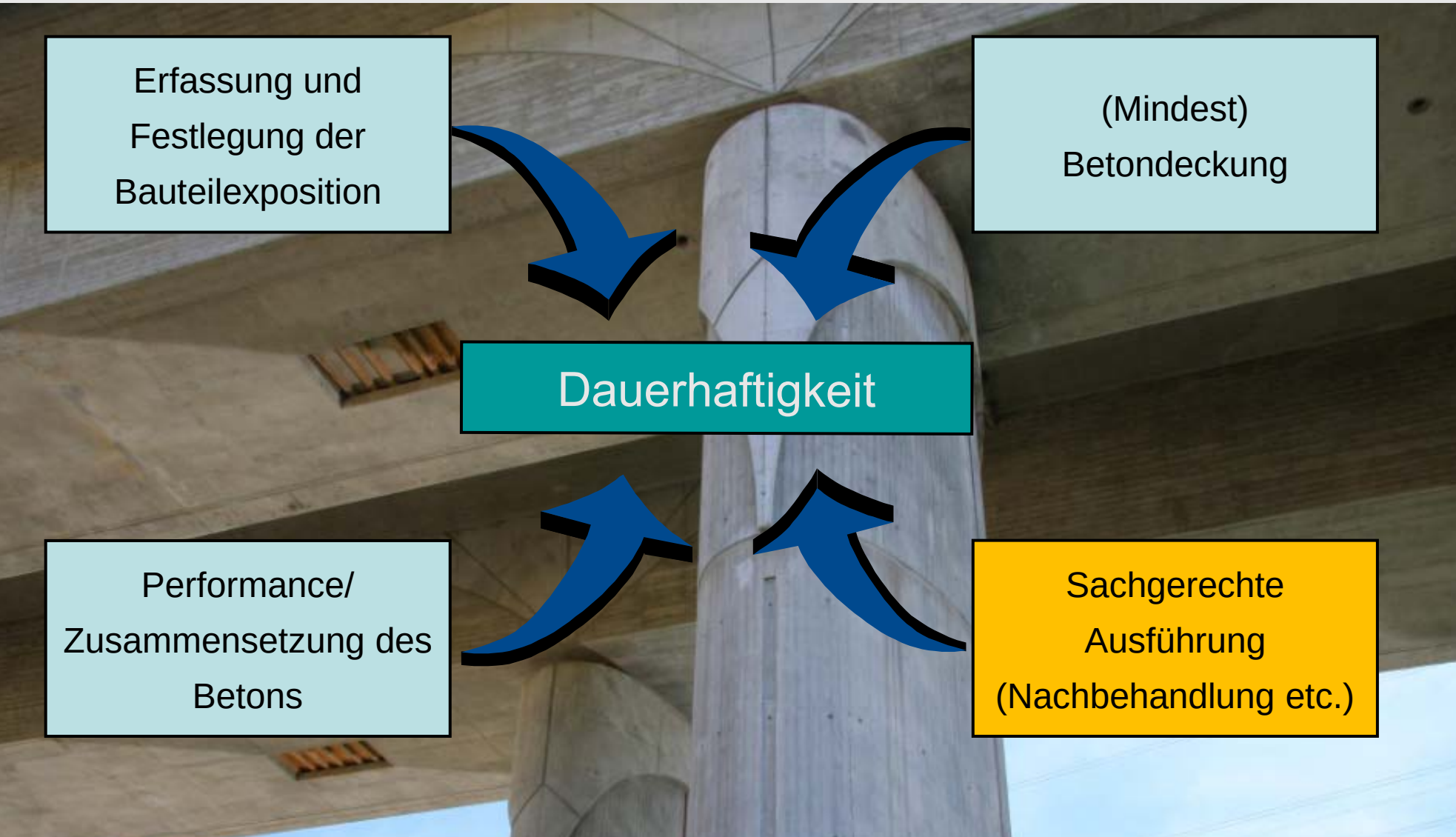
source: JWG CEN/TC250/TC104 N19E (modified)

vdz.

Comparison of National Provisions to EN 206-1 – Exposure Class XC3

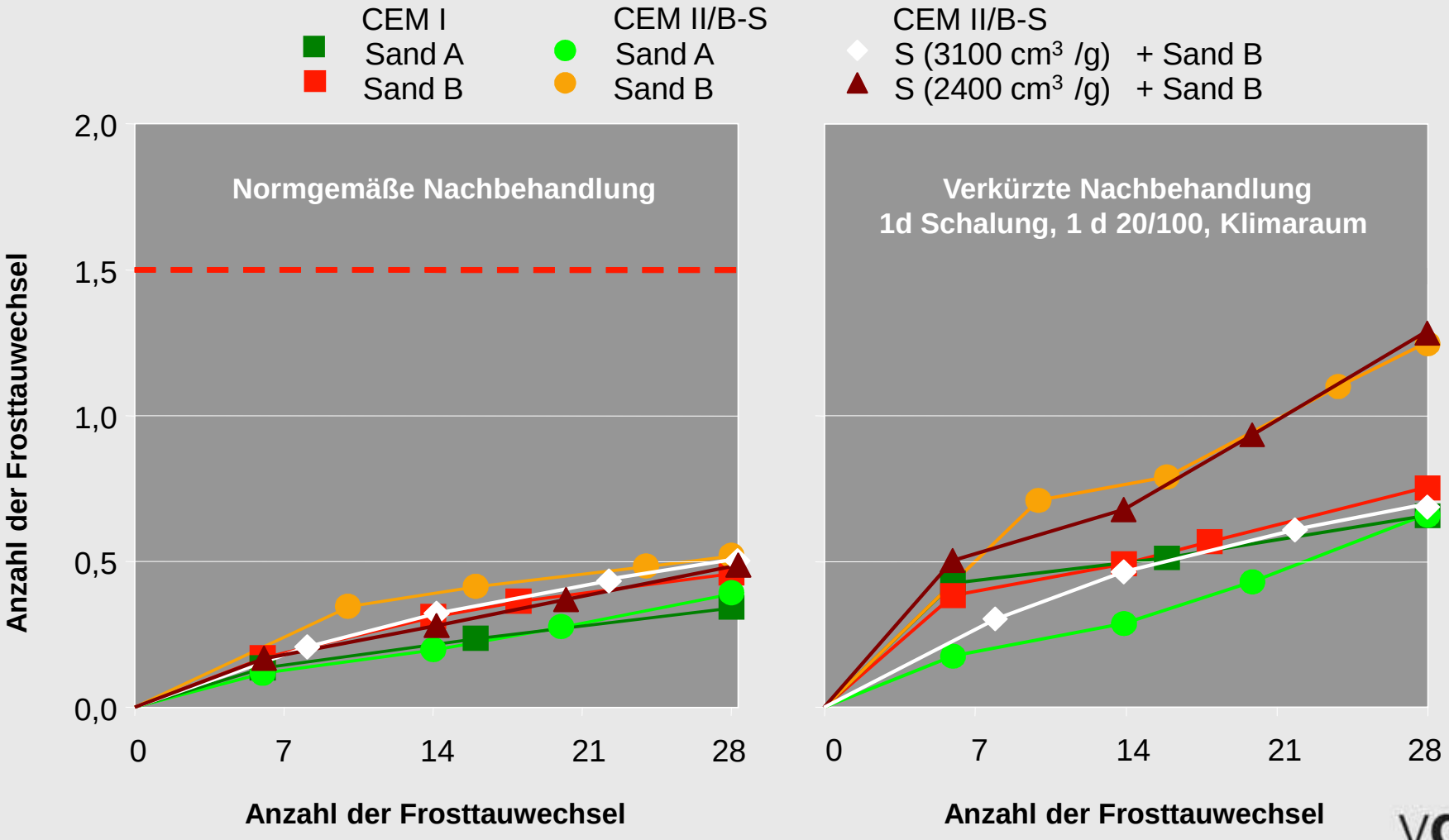


Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit



Einfluss der Nachbehandlung

Beton mit z = 350 kg/m³ ; w/z ≈ 0,43; LP- Gehalt ~ 4,5 Vol.-% und



vdz.

AGENDA

1	Nachhaltigkeit
2	Dauerhaftigkeit
3	**Innovationen**
4	Weiterbildung, Qualifikation, Wissensmanagement

Antiker Beton

Pantheon (2. Jahrh. n. Chr.)

Kuppel: Leichtbeton

vor 10.000 Jahren

Türkei: Mauermörtel aus gebranntem Kalk

vor 2000 Jahren

Römischer Beton: „Opus caementitium“ auch heute erhalten:

- Tempel
- Theater
- Brücken
- Straßen
- etc.

Die Geschichte des modernen Betons

1804	Erste Herstellung vorgefertigter Betonträger in Frankreich
1824	Der englische Maurer Joseph Aspdin brennt ein Gemisch aus Ton und Kalk auf der Halbinsel Portland zu Zement
1849	Der französische Gärtner Joseph Monier konstruiert Blumentöpfe aus Beton mit Drahteinlagen (» Monier Eisen«)
1878	Erste Norm für Portlandzement in Deutschland
1901	Erster Portlandhüttenzement
1902	USA: Erstes Hochhaus aus Stahlbeton (Ingalls Building, Cincinnati, 16 Stockwerke, Stahlbeton-Rahmen-Konstruktion)
1954	Siegeszug des Transportbetons beginnt

Die Geschichte des modernen Betons

1990 Hochfester Beton (> 50 MPa)

1995 Selbstverdichtender Beton (SCC)

1997 Ultra high performance concrete UHPC (~ 250 MPa) „Sherbrooke bridge, Canada“

Heute

Beton ist ein high-tech-Produkt:

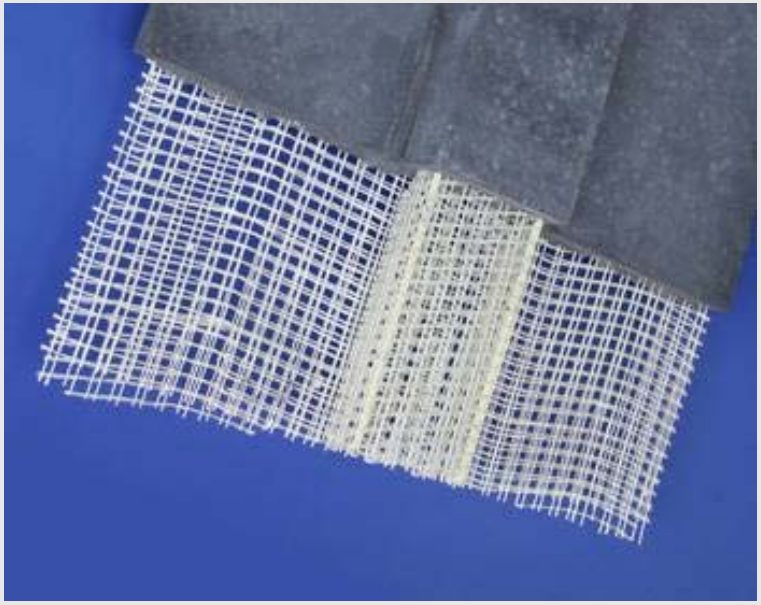
Die Betontechnologie entwickelt sich fortlaufend weiter. **SCC** und **UHPC** sind Beispiele einer Entwicklung, die noch lange nicht abgeschlossen ist.

to be continued ...

THE FOOTBRIDGE OF PEACE
Project Location: Seoul, Korea
Architect: Rudy Ricciotti (2002)

vdz.

Textilbeton



Deutsches Zentrum Textilbeton

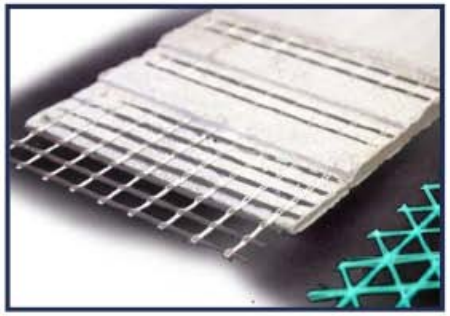
Kompetenzzentrum TEXTILBETON

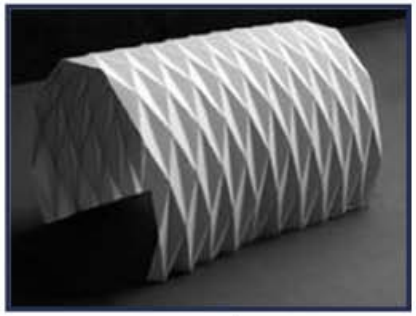
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Quellen: TU Dresden und RWTH Aachen

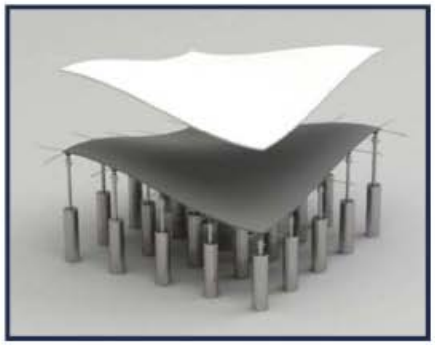
vdz.

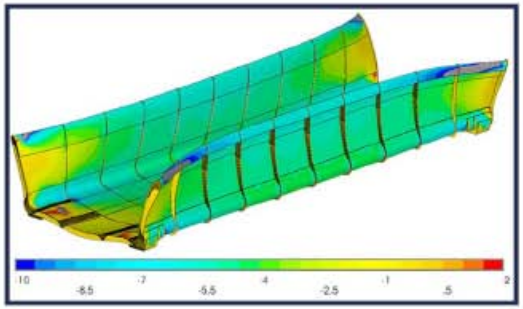
Innovationspotentiale





SPP 1542
Leicht Bauen mit Beton
„form follows force"





Quelle: Silke Scheerer, TU Dresden

vdz.

AGENDA

1	Nachhaltigkeit
2	Dauerhaftigkeit
3	Innovationen
4	**Weiterbildung, Qualifikation, Wissensmanagement**

vdz.

Online-Plattform „Wissensnetzwerk Zement-Kalk-Beton“

vdz.

Hintergrund - Förderlinie „Web 2.0“

Ziele der Förderung des BMBF:

- Neue Möglichkeiten des lebenslangen Lernens durch „Web 2.0“
- Neue kreativere Formen von Arbeits-, Qualifizierungs- und Kommunikationsprozessen
- Innovationen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung durch internetgestützte Lernformen

Informationen zum Verbundprojekt WiTraBau

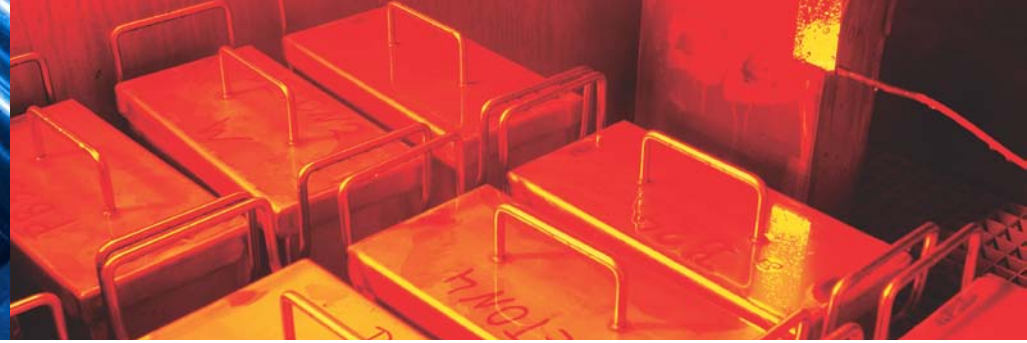
- Ziel: Projektergebnisse der BMBF-Förderbekanntmachungen „NanoTecture“ (ca. 56 verschiedene Teilvorhaben von 2009 – 2013, ca. 15,7 Mio. Euro Förderung) und „HighTechMatBau“ (ab 2013) zu erfassen und so aufzubereiten und zu verbreiten, dass die Frage beantwortet werden kann, welche der nachfolgenden Verwertungsoptionen vorliegen:
  - Grundlagenuntersuchung als Basis für weitere anwendungs-bezogene Forschung.
  - Anwendungsbezogene Forschung als Basis für weitere Produktentwicklung.
  - Beispielhafte anwendungsbezogene Forschung, die die Grundlage für eine bauordnungsrechtliche Umsetzung bildet.
  - Breit angelegte anwendungsbezogene Forschung, die Eingang in Merkblätter, Richtlinien oder Normen finden kann.
- Veranschlagte Fördersumme des Transferprojekts (LZ: 2014 – 17): ca. 1,6 Mio. Euro

Beton

Beton
Nachhaltig
Witten
Leer
Richtung
Gelsenkirchen
Hüntrop

Beton
Dauerhaft
Nachhaltig
Richtung

Beton
Dauerhaft
Nachhaltig
Innovativ
Richtung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Christoph Müller
VDZ gGmbH
christoph.mueller@vdz-online.de