

Grundlagen zum Straßenbeton

Onlineweiterbildung für gewerbliche Arbeitnehmer am 23.01.2021

Qualitätsgemeinschaft Städtischer Straßenbau e.V. (QGS)

Jens Skarabis
skarabis@lowke-ing.de

1. Einsatz von Straßenbeton
2. Betonzusammensetzung
 1. Grobe Gesteinskörnung
 2. Zement
 3. Der Wasserzementwert
3. Festigkeiten
4. Dauerhaftigkeit
5. Beispiele für Betonbestellungen



Beton – Ein Sechsstoffsystem





Rundkorn (Kies)

- Größtkorn: 16 bzw. 32 mm
- Gemäß TL Beton für Bk 1,0 und Bk 0,3 ist ein Kiesanteil von 100 % zulässig.



Gebrochenes Korn (Splitt)

- Größtkorn: 8, 16, 22 mm
- Gemäß TL Beton für Bk 100 bis Bk 1,8 ist ein Mindestgehalt an Splitt erforderlich.

Beispiele für Belastungsklassen:

- Bk 0,3: Wohnwege
- Bk 1,0: Wohnstraßen
- Bk 1,8: wenig befahrene Hauptgeschäftsstraßen
- Bk 100: Autobahnen



Rundkorn (Kies)

- Größtkorn: 16 bzw. 32 mm
- Gemäß TL Beton für Bk 1,0 und Bk 0,3 ist ein Kiesanteil von 100 % zulässig.



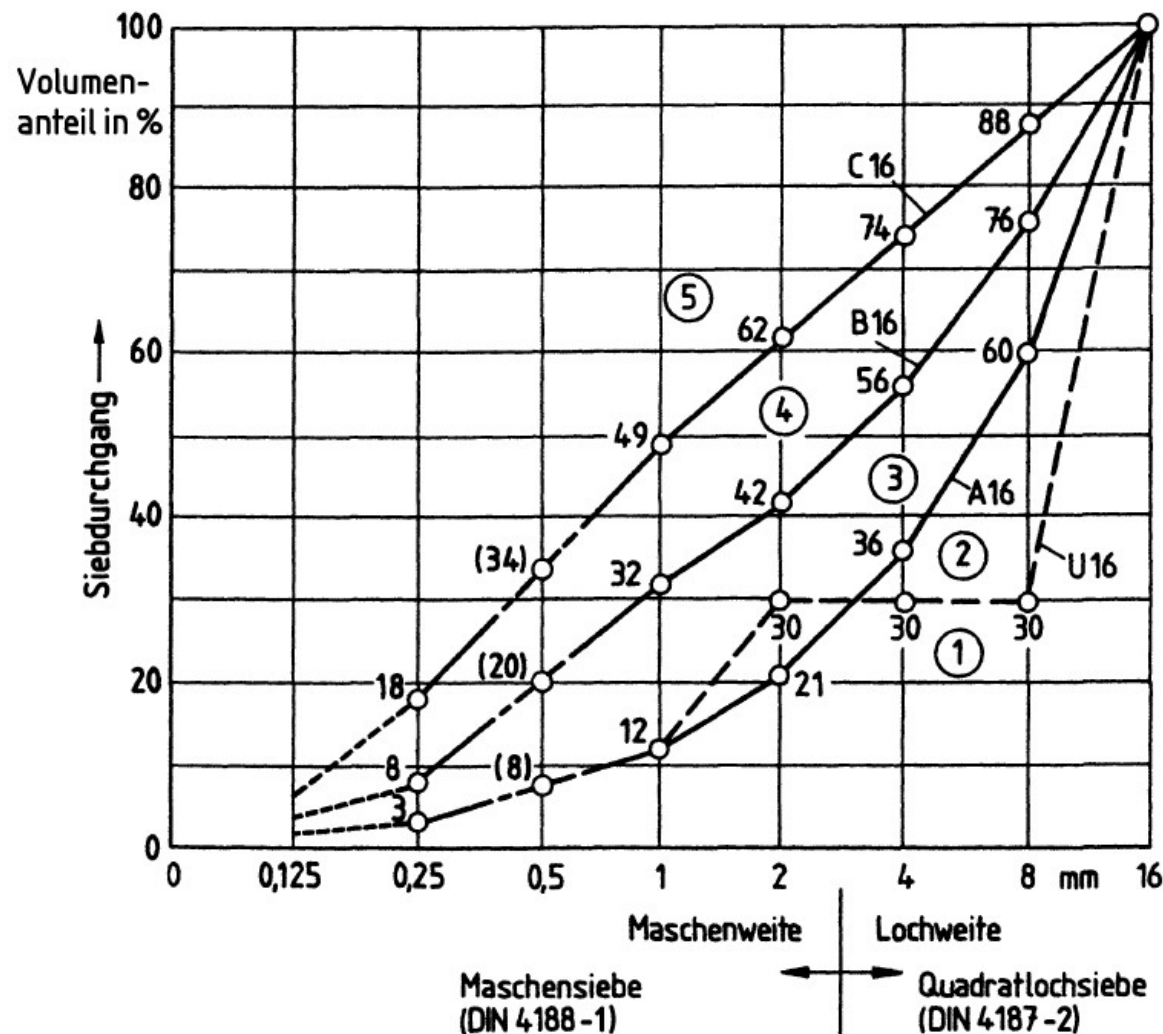
Gebrochenes Korn (Splitt)

- Größtkorn: 8, 16, 22 mm
- Gemäß TL Beton für Bk 100 bis Bk 1,8 ist ein Mindestgehalt an Splitt erforderlich.

Warum Splitt?

- Beitrag zur Griffigkeit (Feinrauheit)
- Steigerung der Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit des Beton

Zusammensetzung



- Hohe Packungsdichte
- Gute Verarbeitbarkeit
- Hohe Festigkeit

Schädliche Bestandteile

- Allgemein (Glimmer: nicht zulässig)
- Abschlämbbare Bestandteile (Siebdurchgang $< 0,063$ mm, Absetzversuch)
- Stoffe organischen Ursprungs (quellfähige Bestandteile, Holz)
- Erhärtungsstörende Stoffe (Druckfestigkeit)
- Schwefelverbindungen (Sulfattreiben)
- Stahlangreifende Stoffe (Chloride)
- **Alkalilösliche Kieselsäure (Alkali-Kieselsäure-Reaktion: AKR)**

Zementbezeichnungen

CEM I 42,5 N

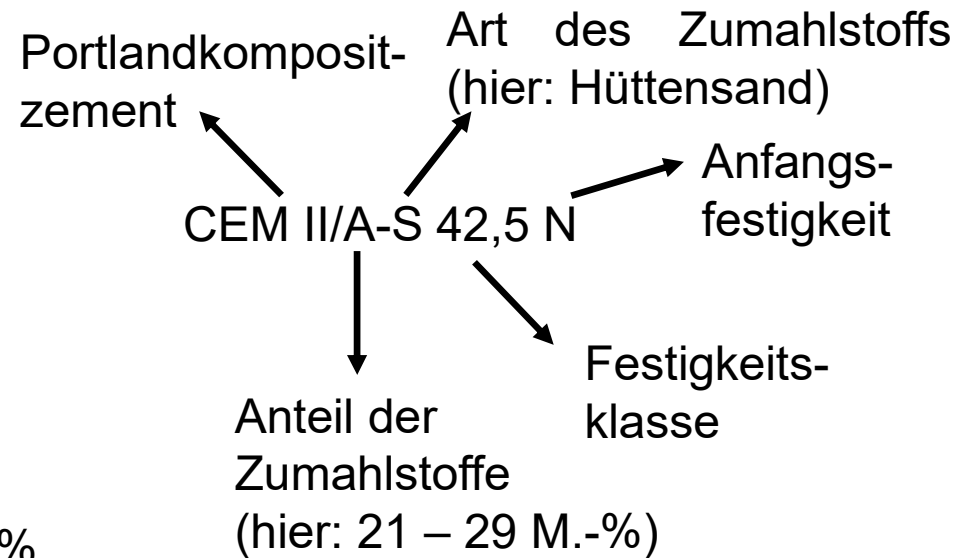
CEM II/A-S 42,5 N

CEM II/B-S 42,5 N

CEM III/A 42,5 N

Hochofenzement:

Hüttensandgehalt: 36 bis 50 M.-%



Straßendeckenzemente gemäß TL Beton

Zemente	Alkaligehalt des Zementes Na₂O-Äquivalent (M.-%)	Alkaligehalt des Zementes ohne Hüttensand bzw. gebrannten Schiefer Na₂O-Äquivalent (M.-%)
CEM I	≤ 0,80	
CEM II/A-S, -T, -LL	≤ 0,80	
CEM II/B-T		≤ 0,90
CEM II/B-S		≤ 0,90
CEM III/A		≤ 1,05

AKR: Chemische Reaktion von Alkalien des Zements (pH-Wert > 12) bzw. zugeführter Alkalien (Streusalz) mit der alkalilöslichen Kieselsäure der Gesteinskörnung.

Folge: Volumenvergrößerung der Gesteinskörnung: Gefügeschädigung durch treibenden Angriff

Kritische Gesteinskörnung: Norddeutsche Opalsandsteine und Grauwacke-Sandsteine aus der Lausitz



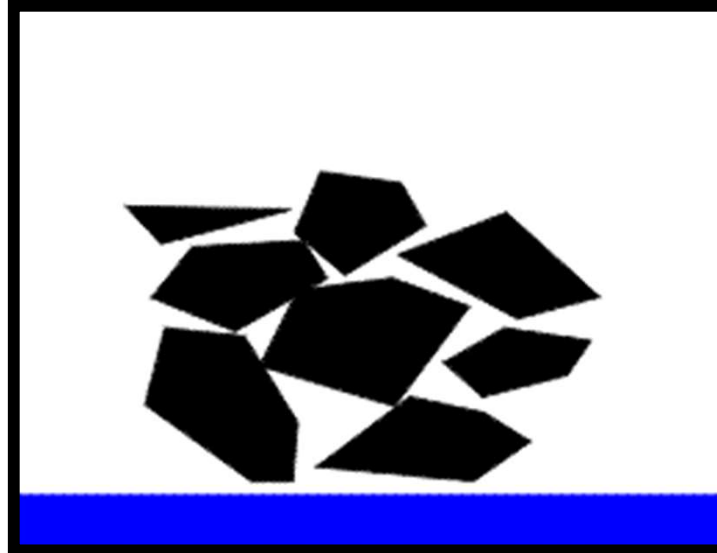
Dem wird über die Betonzusammensetzung Rechnung getragen über:

- Zementart (Na_2O -Äquivalent)
- Zementmenge (Alkaliengehalt)
- Gesteinsart (Alkaliempfindlichkeit)

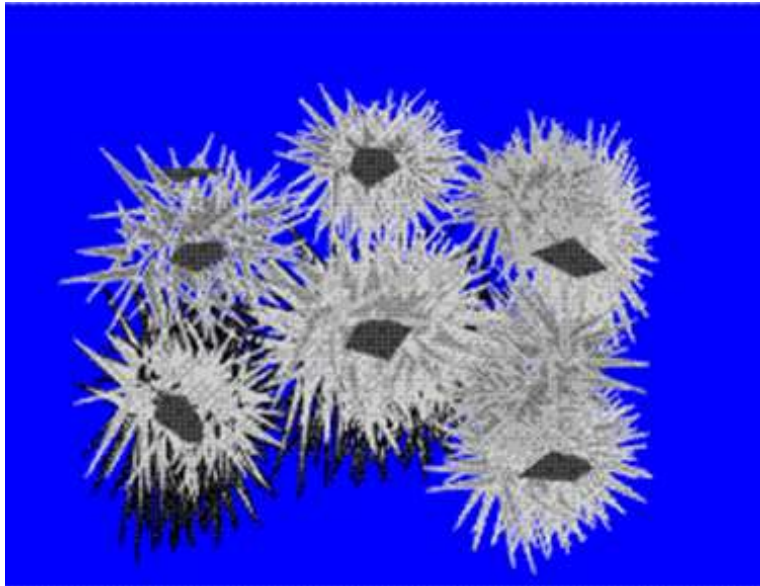
Prinzip der Zementhydratation

Prinzip der Zementhydratation

- **Sobald Zement von Wasser umhüllt wird...**
- **...bilden die Klinkermineralien mit dem Wasser feine Kristalle.**
- **Die Kristalle wachsen in den mit Wasser gefüllten Raum...**
- **...durchdringen sich gegenseitig ...**
- **... und bilden so ein festes Gefüge.**



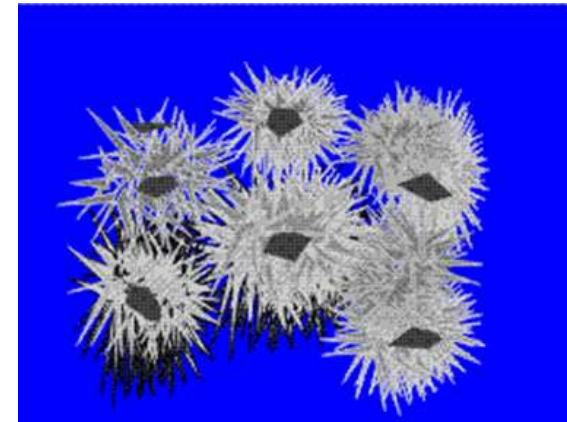
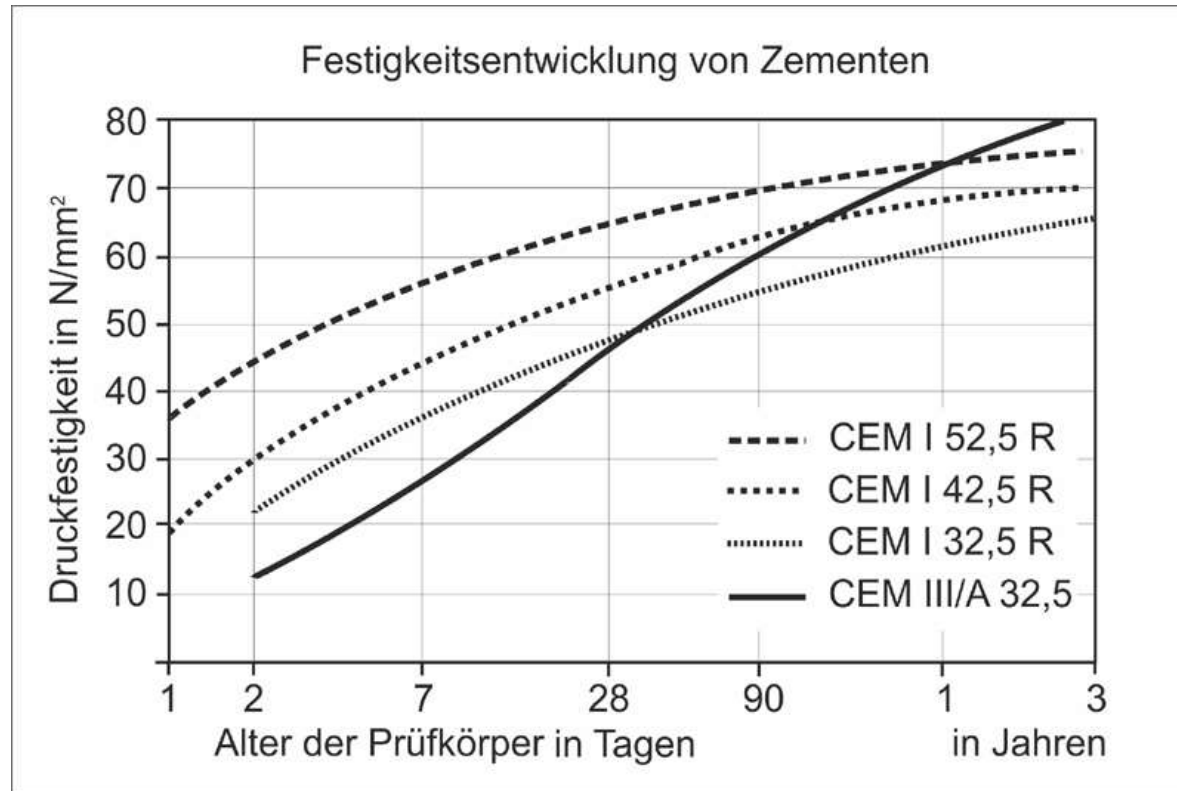
Prinzip der Zementhydratation



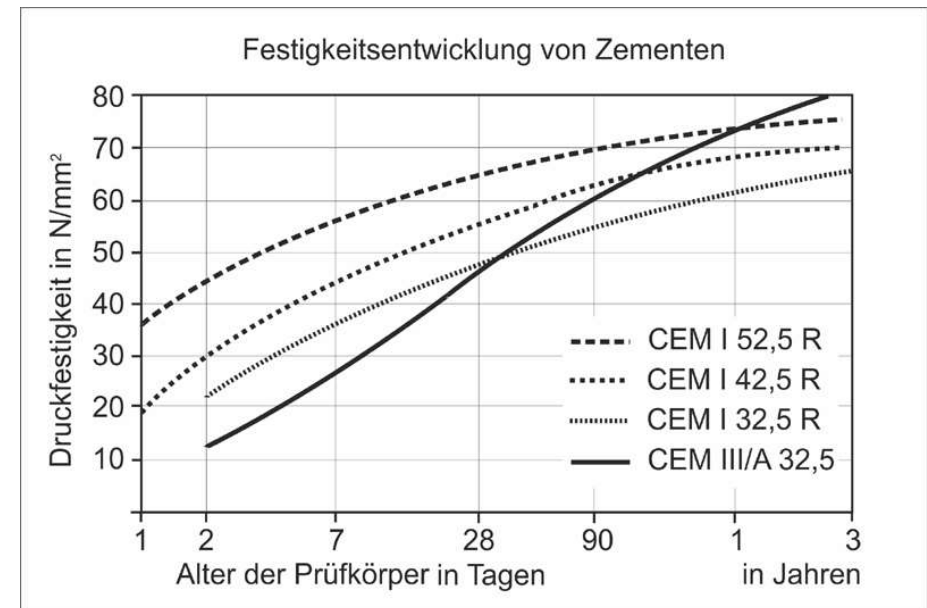
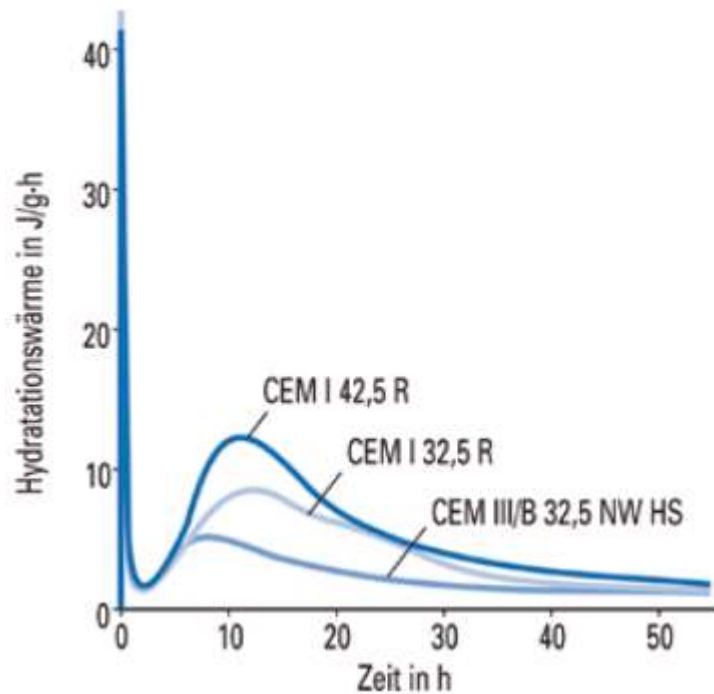
Einflussgrößen auf die Hydratation:

- Zementart
- Feinheit des Zements
- Temperatur
- Wassergehalt bzw. Wasserzementwert (w/z)
- Zusatzmittel
- Dauer der Hydratation (Hydratationsgrad)
- Nachbehandlung (oberflächennaher Bereich)

Prinzip der Zementhydratation



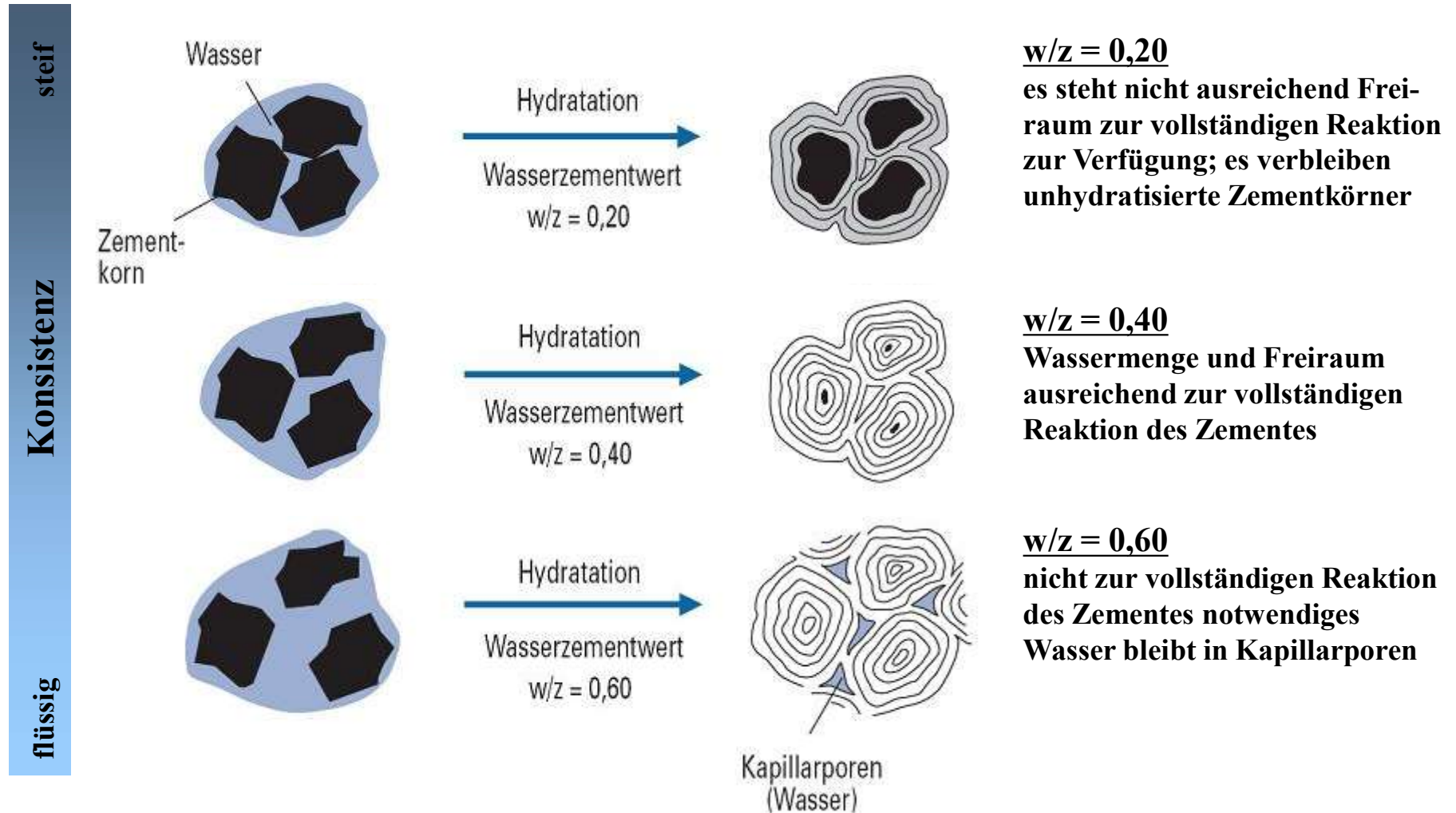
Prinzip der Zementhydratation



Wasserzementwert

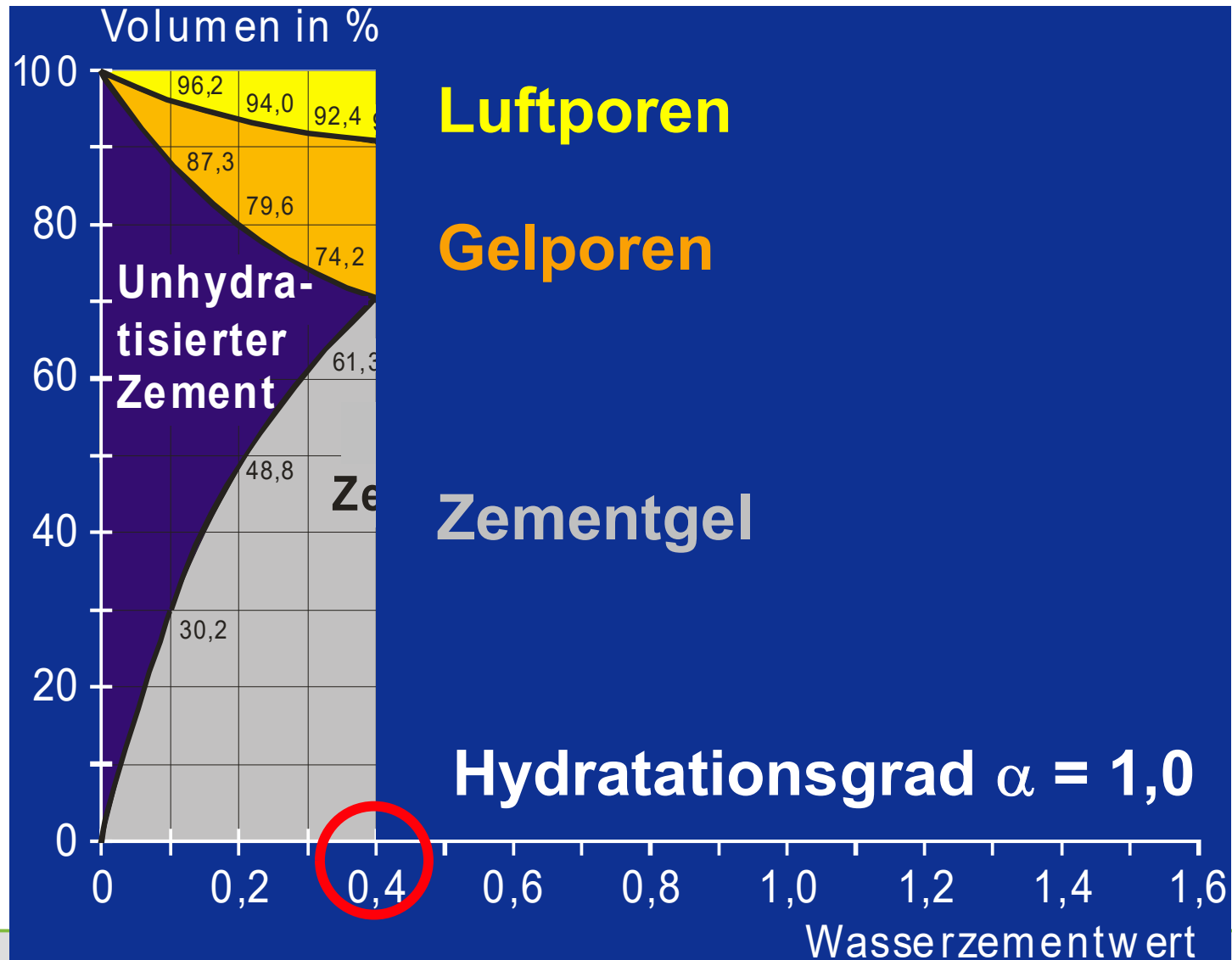
$$\text{Wasserzementwert (w/z)} = \frac{\text{Masse Wasser}}{\text{Masse Zement}}$$

Wasserzementwert

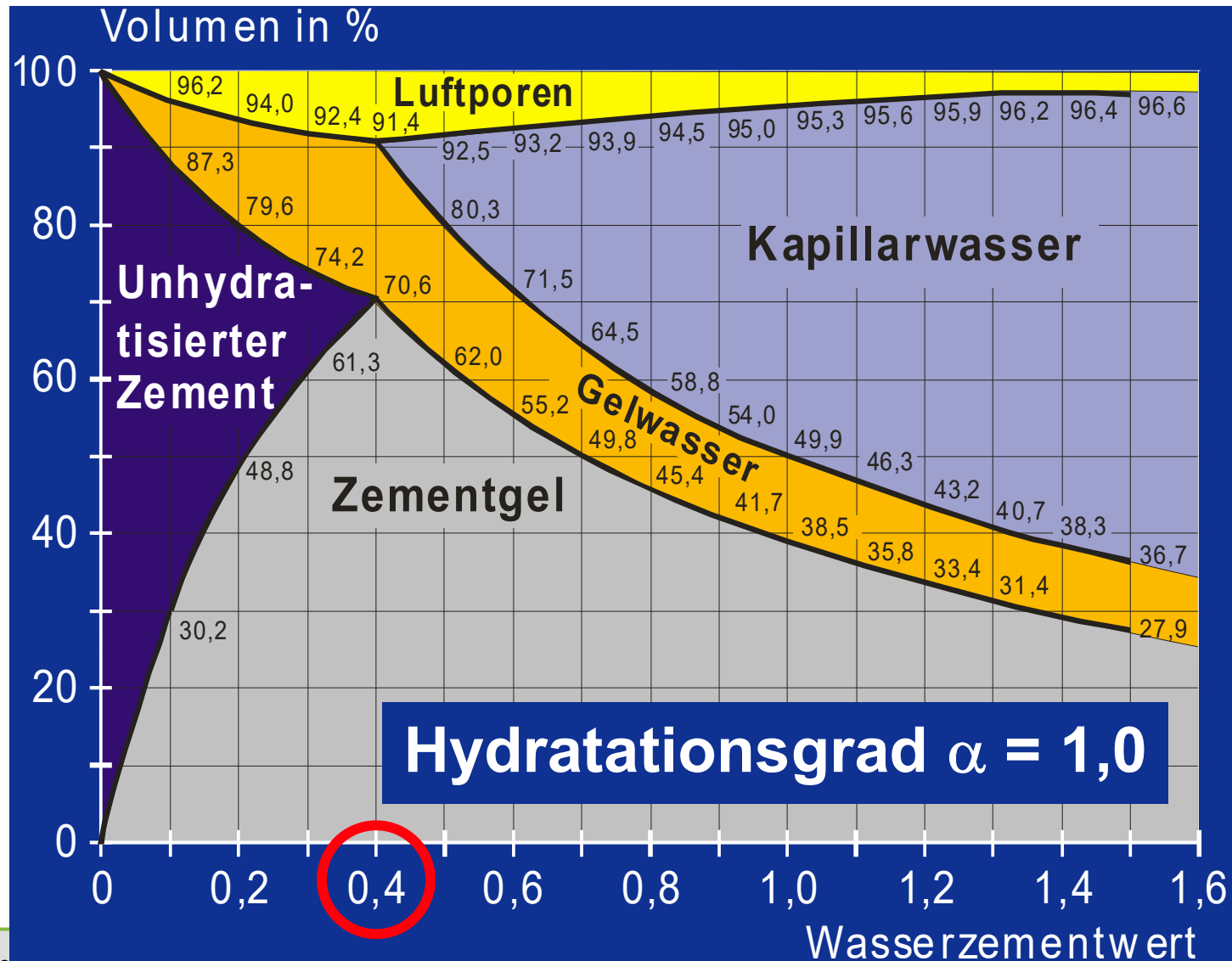


Theoretisch zur vollständigen Hydratation des Zementes notwendige Wassermenge: $w/z = 0,38$

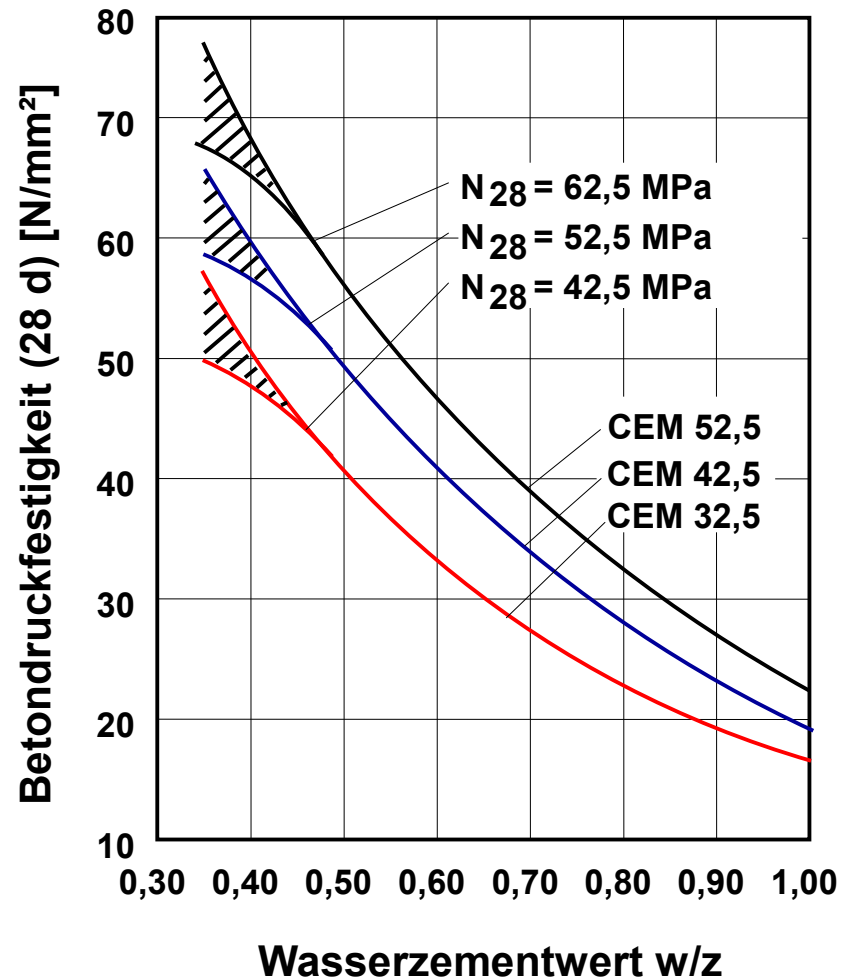
Wasserzementwert



Wasserzementwert



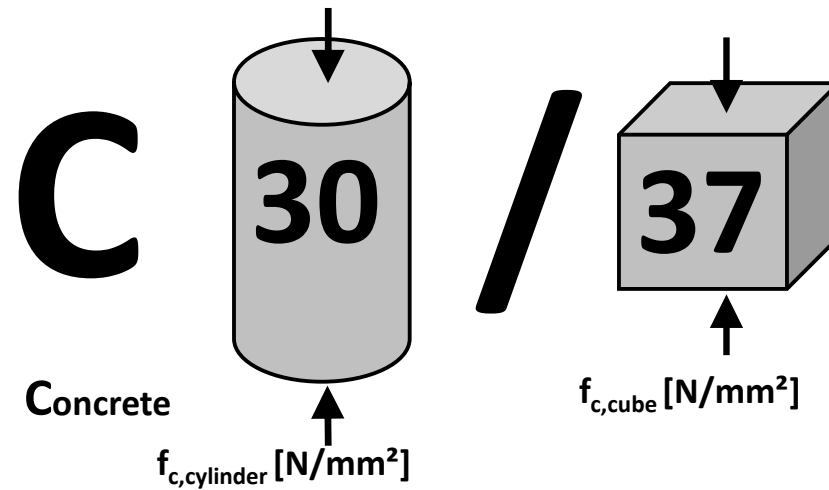
Wasserzementwert



Beispiel:
 $z = 340 \text{ kg/m}^3$
 $w/z = 0,50$

$$\text{Wasserzementwert } (w/z) = 0,50 = \frac{\text{Masse Wasser}}{340 \text{ kg}}$$

$$w = 170 \text{ kg/m}^3$$

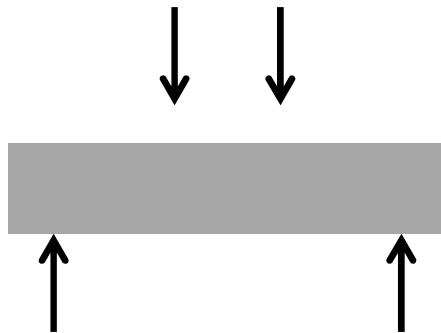


f_c : charakteristische Mindestdruckfestigkeit

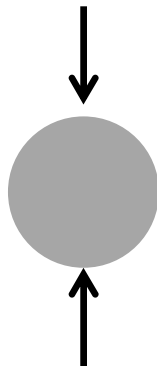
Zylinder: $h = 300 \text{ mm}$, $d = 150 \text{ mm}$

Würfel: $a = 150 \text{ mm}$

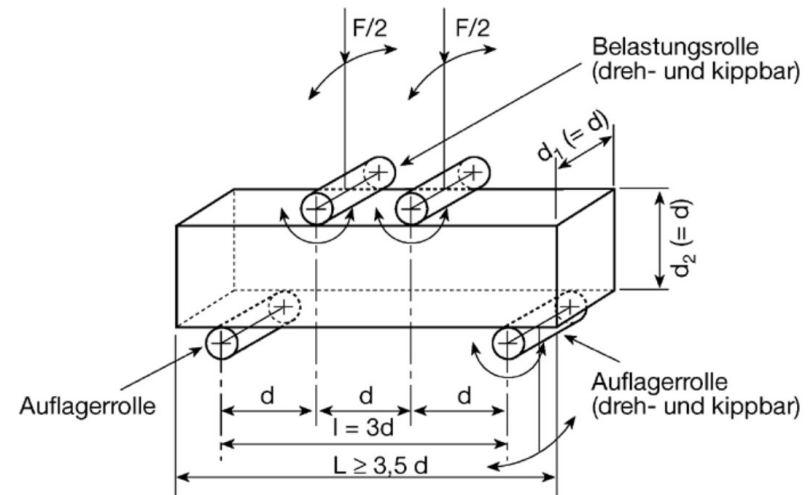
Biegezug



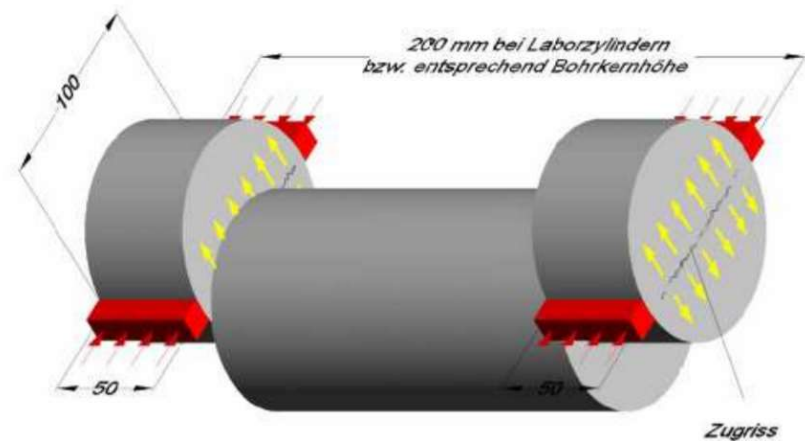
Spaltzug



Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit
wichtiger als Druckfestigkeit!



Quelle: Bethge, Wolfgang / Richter, Thomas: Beton – Prüfung nach Norm. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2011



Quelle: fgsv-Verlag

Expositionsklassen und Betonfestigkeit

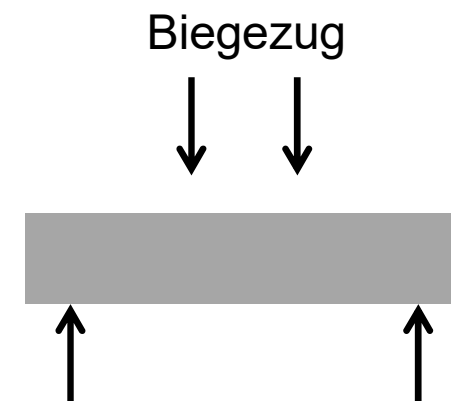
Die Anforderungen an den Beton für Fahrbahndecken hinsichtlich Expositionsklasse und Betonfestigkeit sind von der Bauklasse der Straße abhängig (siehe Tabelle 4).

Die Zusammensetzung des Betons ist aufgrund einer Erstprüfung so festzulegen, dass die an den Beton gestellten Anforderungen dauerhaft erfüllt werden.

Tabelle 4: Anforderungen an den Beton

Bau- klasse		Exposi- tions- klasse	Feuchtig- keits- klasse	Druck- festig- keits- klasse	Biege- zugfestig- keits- klasse	Mindestens erf. Korngruppen nach TL Gestein-StB (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SV, I-III	Ober- beton	XF4, XM2 ¹⁾	WS	C 30/37 ⁴⁾	F 4,5 ³⁾	0/2, 2/8, > 8 0/4, 4/8, > 8 0/2 oder 0/4, ≤ 8 ²⁾
	Unter- beton	XF4 ³⁾	WS			
IV - VI	Ober- beton	XF4, XM1 ¹⁾	WA		F 3,5 ³⁾	0/4, > 4
	Unter- beton	XF4 ³⁾	WA			

¹⁾ Bei Verwendung für Waschbeton entfällt die Obergrenze des Zementgehaltes nach

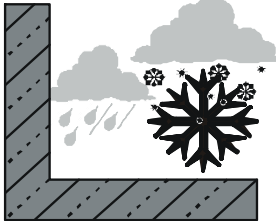
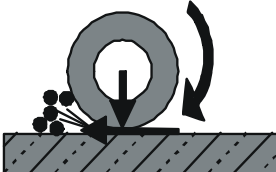




Bauen im privaten Sektor (z. B. Logistikflächen):
Anforderungen an Biegezugfestigkeit!



Expositions- klasse	Europäische Namen	Erläuterung	
X0	<u>Z</u> ero Risk	Kein Angriffsrisiko	
XC	<u>C</u> arbonation	 Bewehrungs- korrosion durch	Karbonatisierung
XD	<u>D</u> eicing-Salt		Chloride
XS	<u>S</u> eawater		Meerwasser
XF	<u>F</u> rost	 Betonkorrosion durch	Frost und Frost- Tausalz
XA	Chemical <u>A</u> ttack		Chemischer Angriff
XM	<u>M</u> echanical Abrasion		Verschleiß

Expositionsklassen ("Einwirkungen")				Betontechnische Maßnahmen ("Widerstände")		
Klassenbez.	Einwirkung	und Beanspruchung		Max. w/z	Min. z	fck, cube
XF	1		mäßige Wassers. o. T.	0,60	280	C25/30
	2		mäßige Wassers. m. T.	0,55 + LP 0,50	300 320	C25/30 C35/45
	3		hohe Wassers. o. T.	0,55 + LP 0,50	300 320	C25/30 C35/45
	4	Frost ± Salz	hohe Wassers. m. T.	0,50 + LP	320	C30/37
XA	1		schwach angreifend	0,60	280	C25/30
	2		mäßig angreifend	0,50	320	C35/45
	3	Chem. Angriff	stark angreifend	0,45	320	C35/45
XM	1		mäßiger Verschleiß	0,55	300	C30/37
	2		starker Verschleiß	0,45	320	C35/45
	3	Verschleiß	sehr starker Verschleiß	0,45	320	C35/45

Gefrieren von Wasser in porösen Systemen

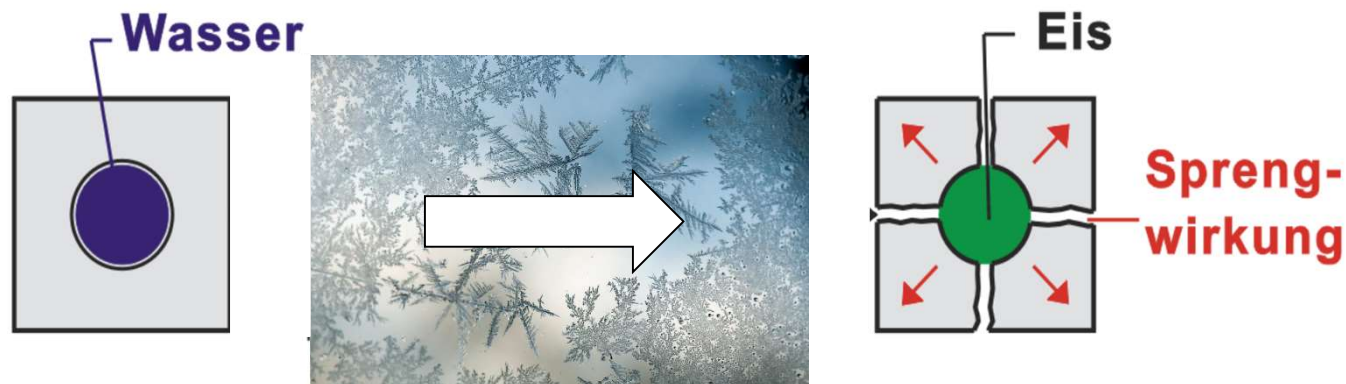
Problem: Volumenzunahme



Quelle: <https://purity.designuspro.com/de/storage/pivo-zamerzlo-v-morozilke.html>

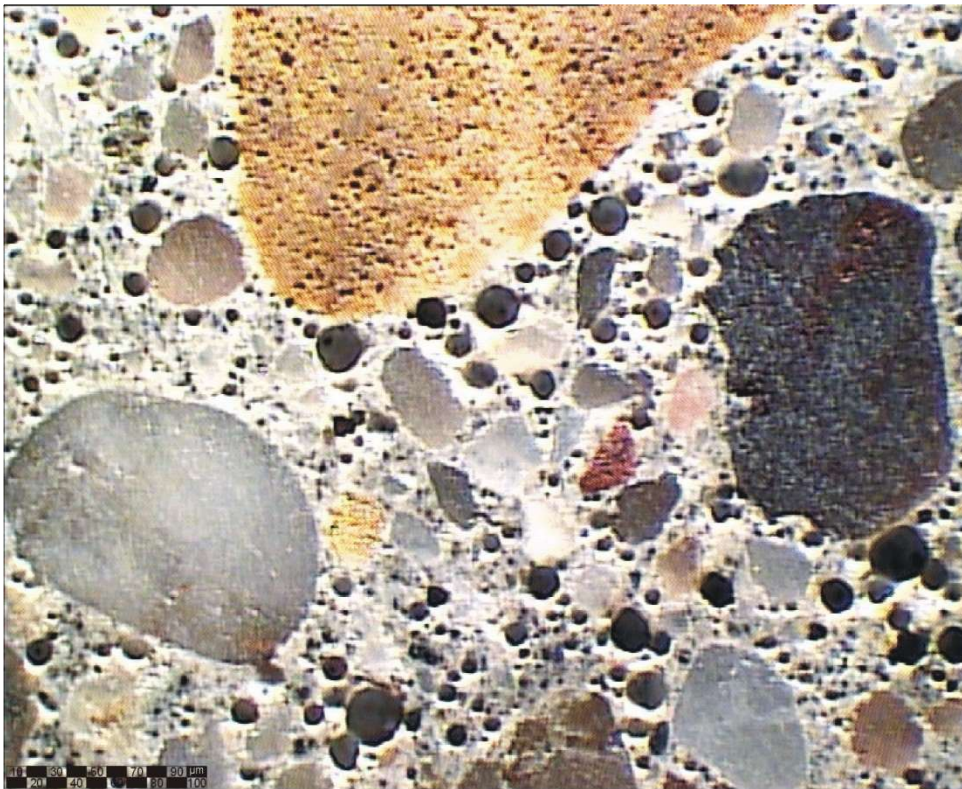
Gefrieren von Wasser in porösen Systemen

Problem: Volumenzunahme



- Wasser gefriert zuerst in Poren größeren Durchmessers
- Beanspruchung des Betons wird durch Tausalz deutlich erhöht!

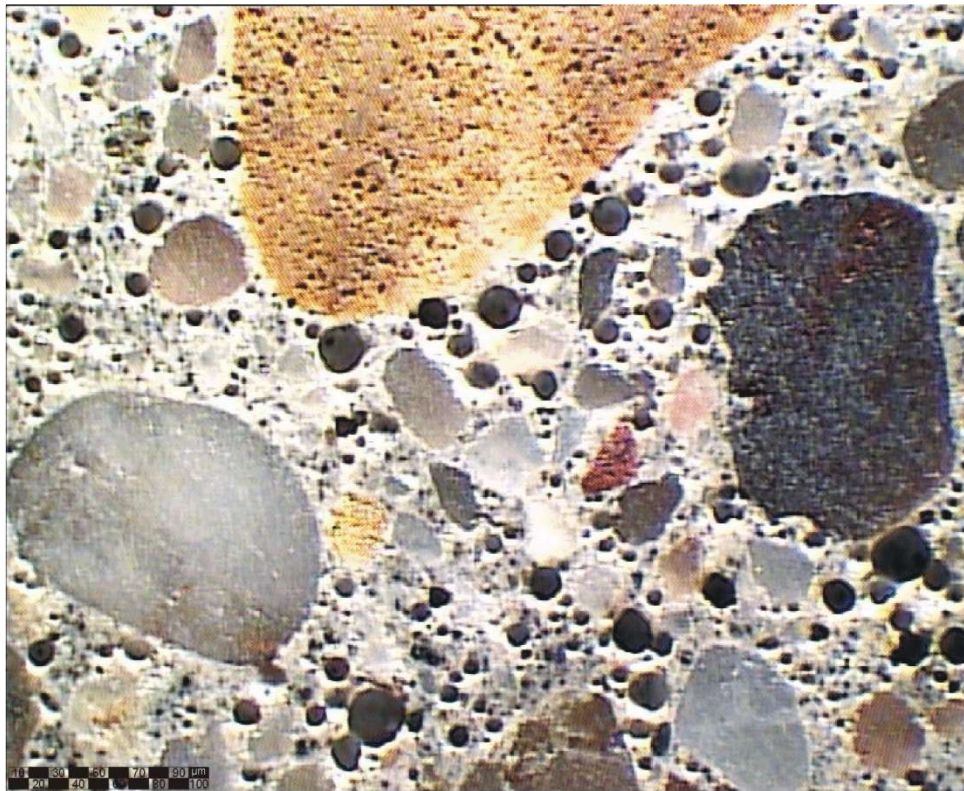
Lösung: Durch die Zugabe künstlicher Luftporen (LP-Bildner) wird dem Eis Expansionsraum gegeben.
Zusätzlich werden durch die künstlichen Luftporen Kapillaren angeschnitten.



Zu viel Luft verringert Festigkeit!

mit LP-Bildner

$A = 5,7 \text{ Vol.-%}$



$\bar{L} = 0,14 \text{ mm}$

$A_{300} = 3,6 \text{ Vol.-%}$

ohne LP-Bildner

$A = 1,7 \text{ Vol.-%}$



$\bar{L} = 0,68 \text{ mm}$

$A_{300} = 0,2 \text{ Vol.-%}$

Lösung: Durch die Zugabe künstlicher Luftporen (LP-Bildner) wird dem Eis Expansionsraum gegeben.
Zusätzlich werden durch die künstlichen Luftporen Kapillaren angeschnitten.

Tabelle 5: Mindestluftgehalt des Frischbetons

Größtkorn (mm)	Mittlerer Mindestluftgehalt für Beton (Vol.-%)
8	5,5
16	4,5
32 bzw. 22	4,0



Nettopreisliste für das Lieferprogramm von Betonen nach DIN EN 206-1 / DIN 1045-2

Betonbeschreibung						Nettopreis frei Baustelle					
Expositionsklassen bzw. Expositionsklassengruppen / Verwendungszwecke	Festigkeits- klasse	Konsistenz	pumpfähig	Festigkeits- entwicklung	Prüfalter 56d	Größtkorn 8 mm		Größtkorn 16 mm		Größtkorn 32 mm	
						Sorte	€/m³	Sorte	€/m³	Sorte	€/m³

LP-Beton → Frostauszugsbeanspruchung mit hoher Wassersättigung

XC4, XF4, XA2, (XA3 s FB100 5 3 2), XD3, (WU-BKL1), [LP] hohe Wassersättigung	C30/37	F3	• mittel					1 6932 430	137,-	1 6933 430	135,-
	C30/37	F3	• schnell					1 6932 630	141,-	1 6933 630	139,-

FD-Beton → gemäß DAfStb-RiLi „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (Beton mit reduziertem Schwindverhalten)

XC4, XF2, XF3, XA2, (XA3 s FB100 5 3 2), XD3, XM2, (XM3), (WU-BKL1)	C35/45	F3	• langsam	•				1 7832 210	143,-	1 7833 210	141,-
	C35/45	F3	• mittel					1 7832 410	141,-	1 7833 410	139,-
	C35/45	F3	• schnell					1 7832 610	145,-	1 7833 610	143,-

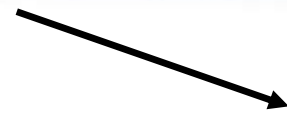
Sichtbeton → gemäß DBV-Merkblatt

XC4, XF1, XA1, (WU-BKL1)	C30/37	F3	• langsam	•		1 6531 212	144,-	1 6532 212	142,-	1 6533 212	140,-
	C30/37	F3	• mittel			1 6531 412	142,-	1 6532 412	140,-	1 6533 412	138,-

BKL1 bzw. BKL2 = Beanspruchungsklasse 1 bzw. 2 gem. DAfStb-RiLi „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (siehe Hinweis S. 9)

Nettopreisliste für das Lieferprogramm von Betonen nach DIN EN 206-1 / DI

Betonbeschreibung					
Expositionsclassen bzw. Expositionsclassengruppen / Verwendungszwecke	Festigkeits- klasse	Konsistenz	pumpfähig	Festigkeits- entwicklung	Prüfalter 56d
XC4, XF4, XA2, (XA3 s FB100 5 3 2), XD3, (WU-BKL1), [LP] hohe Wassersättigung	C30/37	F3	•	mittel	
	C30/37	F3	•	schnell	



**XF4: erfüllt
Straßendeckenzement?
Kies oder Splitt?
Biegezugfestigkeit?**

Eigenschaften bzw. Verwendungszweck	Expositions- klassen	Druck- festigkeits- klassen	Konsistenz- klassen	Größtkorn	Pumpfähig	Festigkeits- entwicklung*	Abruf-Nr.	Preis in EURO frei Bau je m² zzgl. MwSt.
--	-------------------------	-----------------------------------	------------------------	-----------	-----------	------------------------------	-----------	---

Betone für Ingenieur- und Straßenbau

■ Hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT) nach ZTV Beton-StB 07

7-12 N/mm²	unter Asphalt			32			8343	111,00
> 15 N/mm²	unter Beton			32			8349	114,00

■ Straßenbetone nach ZTV-LW 99/01 (Ausgabe 1999/2007)

Landwirtschaftliche Wege	XC4, XD1 (LP), XF2 (LP), XF3 (LP), XA1, XM1	C25/30	F2/F3	32	•	m	4506	130,00
		C25/30	F2/F3	16	•	m	4507	132,00

■ Straßenbetone nach ZTV Beton-StB 07

Belastungsklasse Bk 1,0 - Bk 0,3	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM1	C30/37	F3	32		s	4943**	135,00
		C30/37	F3	16		s	4944**	137,00
Belastungsklasse Bk 32 - Bk 1,8 nach ARS Nr.04/2013	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM2 (LP)	C30/37	F3	16		s	4950**	auf Anfrage
Belastungsklasse Bk 100 - Bk 1,8 nach ARS Nr.04/2013	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM2 (LP)	C30/37	F3	16		s	4955**	auf Anfrage

■ Straßenbetone nach ZTV Beton-StB 07

Belastungsklasse Bk 1,0 - Bk 0,3	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM1	C30/37	F3	32		s
		C30/37	F3	16		s
Belastungsklasse Bk 32 - Bk 1,8 nach ARS Nr.04/2013	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM2 (LP)	C30/37	F3	16		s
Belastungsklasse Bk 100 - Bk 1,8 nach ARS Nr.04/2013	XC4, XD3 (LP), XF4, XA3 (LP), XM2 (LP)	C30/37	F3	16		s

XF4: erfüllt
 Straßendeckenzement: erfüllt
 Kies oder Splitt: erfüllt (in Abhängigkeit der Belastungsklasse)
 Biegezugfestigkeit?

1. Für hoch beanspruchte Flächen sind Verkehrsflächen aus Beton eine ideale Bauweise
2. Bei höherer Beanspruchung wird auch gebrochene Gesteinskörnung benötigt (höhere Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit)
3. Zemente für Straßenbeton haben ein niedriges Na_2O -Äquivalent (Vermeidung AKR)
4. Wasserzementwert steuert Festigkeit und Dauerhaftigkeit.
 - a. Durch nachträgliche Wasserzugabe auf der Baustelle verliert der Beton Festigkeit und Dauerhaftigkeit
5. Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit wichtiger als Druckfestigkeit
6. Straßenbetone müssen Frost-Tausalz-beständig sein
 - a. Viele fein verteilte Luftporen wichtig
 - b. Zu viel Luft verringert Festigkeit!
 - c. Flügelglätten zerstört Luftporen im oberflächennahen Bereich