



# Beton - Handbuch

Beton - der Baustoff für massiven Halt







# INHALT

Tauchen Sie mit uns ein in die Welt des Betons – ein fundamentales Material, das die Grundlage moderner Bauwerke bildet. Trotz seiner scheinbaren Einfachheit verbirgt sich hinter Beton eine komplexe Wissenschaft und Technologie, die seine Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit bestimmen. Wir beleuchten die verschiedenen Betonarten, ihre spezifischen Bestandteile und welche Rolle Druckfestigkeiten und Expositionsklassen in der Bestimmung ihrer Anwendbarkeit spielen.

Von der Auswahl der Materialien bis hin zu den Prüfverfahren, die seine Qualität sichern, zeichnet diese Broschüre ein detailliertes Bild der technischen Aspekte, die Beton zu einem unverzichtbaren Bestandteil im Bauwesen machen. Entdecken Sie mit uns die wissenschaftlichen Grundlagen und die vielfältigen Anwendungen von Beton.

---

Was ist Beton .....	04
Ausgangsstoffe für Beton .....	06
Festlegung des Betons .....	20
Frischbetonprüfungen .....	36
Festbetonprüfungen .....	44
Porenstruktur im Festbeton.....	46
Nachbehandlung .....	47
Betonanwendungen .....	54

## Grundlagen:

DIN EN 206-1: 2021-06,

DIN 1045-2: 2023-08

**Trockenbetonrichtlinie: DAfStb - Richtlinie**

BETON EIN GEMISCH

# WAS IST BETON?

**Beton ist** ein Gemisch aus Bindemittel (Zement), Anmachwasser (Zugabewasser) und Zuschlagstoffen (Gesteinskörnung), das in frischem Zustand plastisch ist, nach dem Einbringen erstarrt, mit fortlaufender Dauer erhärtet und je nach Anteil der einzelnen Komponenten steinartige Eigenschaften erreicht (fest, dauerhaft, etc.), ähnlich dem in der Natur vorkommenden Konglomerat. Beton kann darüber hinaus Betonzusatzstoffe und Zusatzmittel enthalten.

BETON IST EIN GEMISCH AUS			
BINDEMITTEL	+	ANMACHWASSER	+ ZUSCHLAGSTOFFEN
⇓		⇓	⇓
ZEMENT EN 197	+	ZUGABEWASSER EN 1008	+ GESTEINSKÖRNUNG EN 12620



**DIE RICHTIGE AUSWAHL EINES BETONS HÄNGT VON DEN NACHFOLGENDEN KRITERIEN AB:**

		FESTLEGUNG VON
<b>STATISCHE BELASTUNGEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Eigengewicht</li> <li>■ Nutzlast</li> <li>■ Äußere und innere Belastungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Druckfestigkeit</li> <li>■ Biegezugfestigkeit</li> <li>■ Spaltzugfestigkeit</li> <li>■ Abreißfestigkeit</li> <li>■ Betonrohddichte (Raumgewicht)</li> <li>■ E-Modul</li> <li>■ Baufortschritt</li> <li>■ Zementsorte</li> </ul>
	<b>PHYSIKALISCHE ANGRIFFE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Temperaturentwicklung des jungen Betons</li> <li>■ Witterung</li> <li>■ Frost</li> <li>■ Taumittelangriff</li> <li>■ Hitze</li> <li>■ Mechanischer Abrieb</li> </ul>
<b>CHEMISCHE ANGRIFFE</b>	<p>Angriffe durch Taumittel, Abwasser, Thermalwasser, Milch, Säuren, Laugen oder gipshaltige Wässer. Erhebung der Konzentration der angreifenden Stoffe sowie der Rahmenbedingungen (z.B. Temperaturverhältnisse) ist unbedingt notwendig</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Angriffsart und Angriffsgrad</li> <li>■ Zementsorte</li> <li>■ Gesteinskörnung</li> <li>■ Dichtheit</li> <li>■ Weitergehende Schutzmaßnahmen (z.B. Beschichtung)</li> <li>■ Schutzzeit</li> <li>■ Betondeckung</li> <li>■ Gestalt des Bauteiles</li> </ul>
<b>EINBAUBEDINGUNGEN UND ANFORDERUNGEN AN DIE SICHTFLÄCHE</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Konsistenz</li> <li>■ Größtkorn der Gesteinskörnungen</li> <li>■ Sieblinie</li> <li>■ Verarbeitungszeit</li> <li>■ Transport</li> <li>■ Förderung (Pumpe, Kran, etc.)</li> <li>■ Verdichtung</li> <li>■ Schalung</li> <li>■ Nachbehandlung</li> </ul>



# AUSGANGSSTOFFE FÜR BETON

## Geschichte

Die alten Römer gelten als Erfinder des Zements. Die heutige Art, Zement zu produzieren, geht auf den Engländer John Aspdin zurück. Er entwickelte 1824 ein Verfahren, um einen hoch druckfesten Baustoff herzustellen, der auch ohne Luft aushärten kann. Da das Produkt dem grauen Kalkstein an der englischen Küste bei Portland ähnelte, nannte Aspdin es „Portlandzement“.

## Definition

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel. Dies bedeutet, dass Zement unter Einbindung von Wasser Zementstein bildet und sowohl an der Luft als auch unter Wasser durch Hydratation erhärtet und raumbeständig bleibt.

## Hydratation (Festigkeitsbildung unter Einbindung von Wasser)

### DURCH DIE ZEMENTHYDRATATION ENTSTEHEN ZWEI NEUE, MINERALISCHE STOFFE:

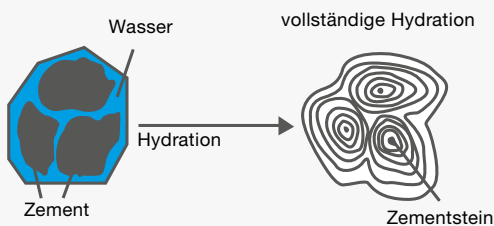
- Kleine nadelförmige Gebilde aus Calciumsilikathydraten (CSH), von leicht schwankender Zusammensetzung, die sich miteinander verfilzen und damit ein dichtes Gefüge erheblicher Festigkeit bilden.
- Große plattige Calciumhydroxid-Kristalle (Ca(OH)<sub>2</sub>), die keinen Beitrag zur Festigkeit erbringen, jedoch infolge ihrer hohen alkalischen Wirkung die Bewehrung vor Korrosion schützen.

### DIE BEIDEN REAKTIONSPRODUKTE DER ZEMENTHYDRATATION WIRKEN SICH POSITIV (+) ODER NEGATIV (-) AUS:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>CSH</b>                | + Druckfestigkeit<br>+ Dichtigkeit<br>+ Dauerhaftigkeit  |
| <b>CA(OH)<sub>2</sub></b> | + Bewehrungsschutz gegen Korrosion (pH > 12)<br>- Wasserlöslich<br>- Kalkausblühungen<br>- Reaktionspartner für Sulfat-Angriff und Alkali-Kieselsäure-Reaktion |

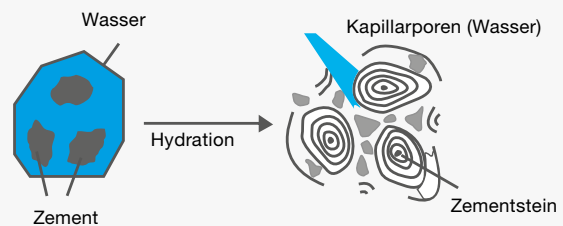
### WASSERZEMENTWERT (W/B WERT) = 0,40

Bei einem W/B Wert von 0,40 wird das gesamte Wasser vom Zement gebunden.

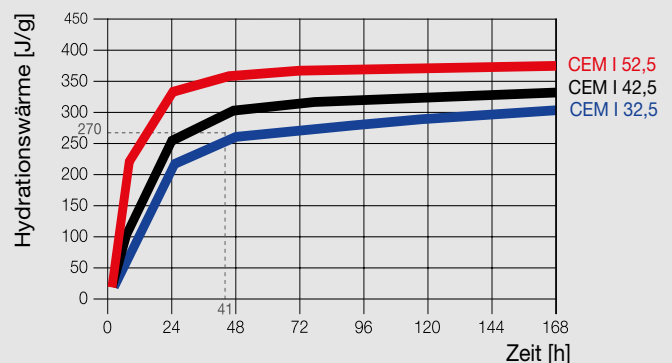


### WASSERZEMENTWERT = 0,70

Bei jedem W/B-Wert größer 0,40 bleibt Restwasser zurück und bildet vermehrt Kapillarporenraum → Kapillarenporosität.



Mit Wasser angemacht beginnt Zement chemisch zu reagieren. Man nennt dies die Hydratation des Zements. Sie ist mit erheblicher Wärmeentwicklung, der sogenannten Hydrationswärme, verbunden und führt schließlich zum Abbinden und mit fortschreitender Erhärtung zum Zementstein.



## AUSGANGSSTOFFE FÜR ZEMENT

### HAUPTKOMPONENTEN FÜR DIE KLINKERPRODUKTION

#### KLINKERMATERIALIEN:

- Kalkstein (ca. 65 %)
- Mergel
- Ton
- Sand
- Lehm

### ZEMENTPRODUKTION

#### ZUMAHLSTOFFE:

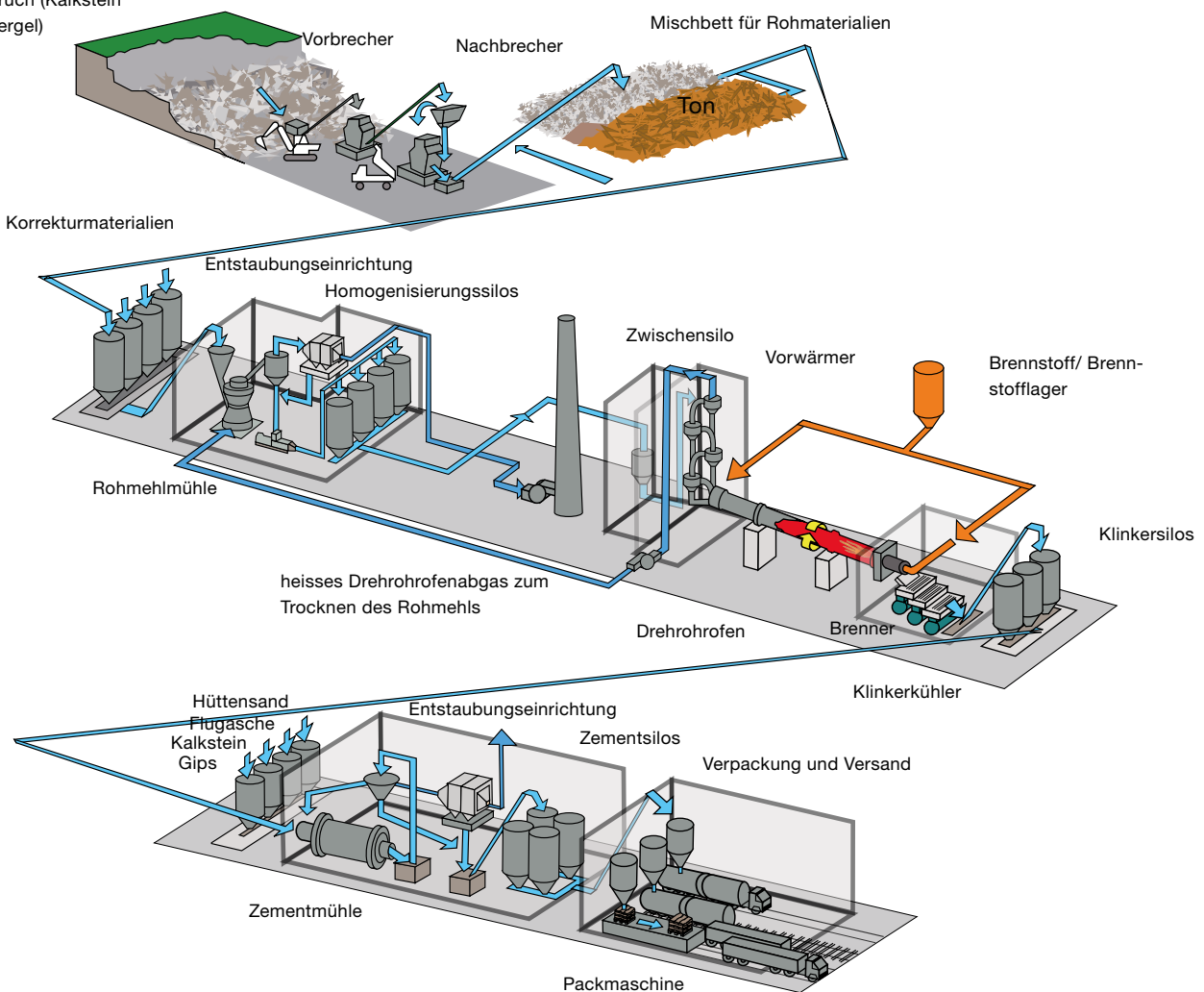
- Klinker
- Gips (max. 5 %)
- Hüttensand
- Flugasche
- Puzzolane
- Microsilika

Diese Klinkermaterialien werden zumeist bergmännisch gewonnen, zerkleinert, gemahlen und anschließend bei 1.450 °C im Drehrohrofen zu so genanntem „Klinker“ gebrannt.

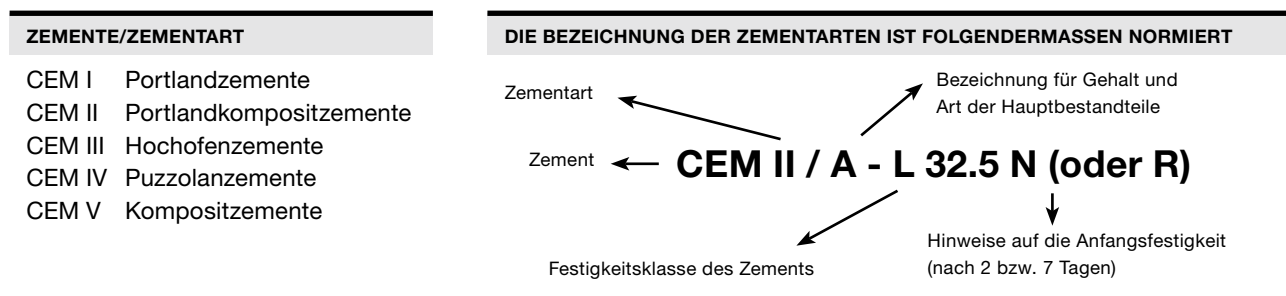
Aus der Zusammensetzung der Klinkermaterialien, Zumahlstoffe und der Mahlfineinheit ergeben sich Zementarten in unterschiedlichen Festigkeitsklassen.

## ZEMENTHERSTELLUNG

Steinbruch (Kalkstein und Mergel)



## BEZEICHNUNG DER ZEMENTE NACH EN 197-1



### GEHALT DER ZUMAHLSTOFFMENGE

**A** Zumahlstoffmenge des Hauptbestandteiles bis 20 %

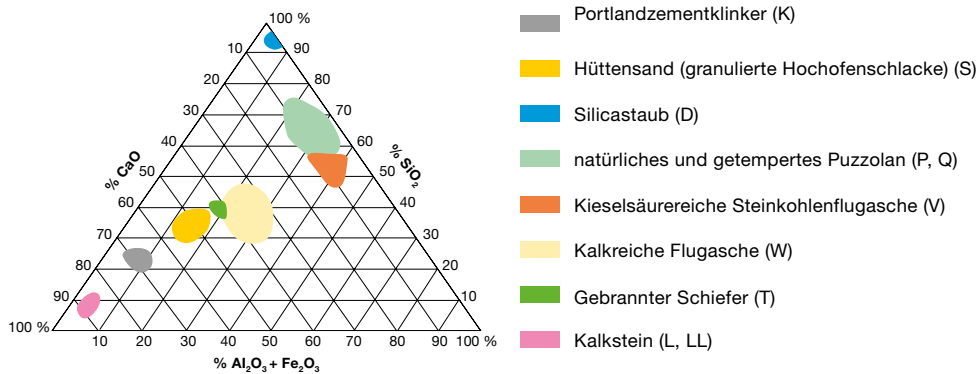
**B** Zumahlstoffmenge des Hauptbestandteiles über 20 %

HAUPTBESTANDTEILE		
<b>PORTLANDZEMENTKLINKER</b>	<b>K</b>	Wird durch Sinterung einer genau festgelegten Rohstoffmischung (Kalkstein, Mergel, Ton) bei ca. 1.450 °C hergestellt.
<b>HÜTTENSAND</b>	<b>S</b>	Entsteht durch schnelles Abkühlen einer Schlackenschmelze geeigneter Zusammensetzung, die im Hochofen beim Schmelzen von Eisenerz gebildet wird. Hüttensand weist bei geeigneter Anregung hydraulische Eigenschaften auf.
<b>MICROSILIKA (SILICASTAUB)</b>	<b>D</b>	Entsteht bei der Reduktion von hochreinem Quarz mit Kohle in Lichtbogenöfen – bei der Herstellung von Silicium- und Ferrosiliciumlegierungen. Es besteht aus sehr feinen, kugeligen Partikeln mit einem Gehalt an amorphem Siliciumoxid mit mind. 85 % Silicastaub und weist puzzolanische Eigenschaften auf.
<b>NATÜRLICHER PUZZOLAN</b>	<b>P</b>	Natürliche Puzzolane sind im Allgemeinen Stoffe vulkanischen Ursprungs oder Sedimentgestein mit geeigneter chemisch mineralogischer Zusammensetzung. Puzzolane sind natürliche Stoffe mit kieselensäurehaltiger oder alumosilicatischer Zusammensetzung oder eine Kombination davon.
<b>KÜNSTLICHER PUZZOLAN</b>	<b>Q</b>	
<b>KIESELSÄUREREICHE FLUGASCHE</b>	<b>V</b>	Flugasche wird durch die elektrostatische oder mechanische Abscheidung von staubartigen Partikeln aus Rauchgasen von Feuerungen erhalten, die mit feingemahlener Kohle befeuert werden. Kieselsäurereiche Flugasche ist ein feinkörniger Staub, hauptsächlich aus kugeligen Partikeln mit puzzolanischen Eigenschaften. Kalkreiche Flugasche ist ein feinkörniger Staub mit hydraulischen Eigenschaften und/oder puzzolanischen Eigenschaften.
<b>KALKREICHE FLUGASCHE</b>	<b>W</b>	
<b>GEBRANNTER SCHIEFER</b>	<b>T</b>	Insbesondere gebrannter Ölschiefer wird in einem speziellen Ofen bei Temperaturen von 800 °C hergestellt. Dieser weist in feingemahlenem Zustand ausgeprägte hydraulische sowie puzzolanische Eigenschaften auf.
<b>KALKSTEIN</b>	<b>L</b>	Kalkstein weist inerte Eigenschaften auf. Diese werden je nach Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) in zwei Kategorien eingeteilt: ■ Normaler Kalkstein (L): TOC < 0,50 M-% ■ Hochwertiger Kalkstein (LL): TOC < 0,20 M-%



### EINTEILUNG DER HAUPTBESTANDTEILE IN DAS DREISTOFFDIAGRAMM

Die nachfolgende Abbildung zeigt die stoffliche Verwandtschaft der Hauptbestandteile von Zement und Portlandzementklinker. Mehr als 90 % der Erdrinde bestehen aus den Elementen dieser Hauptoxide.



### NEBENBESTANDTEILE

Nebenbestandteile sind besonders ausgewählte, anorganische, mineralische Stoffe, die während der Klinkerherstellung entstehen. Auch Hauptbestandteile in geringen Mengen (0 bis M-%) können als Nebenbestandteile enthalten sein, es sei denn, sie sind bereits Hauptbestandteil des Zements.

### Eigenschaften von Haupt- und Nebenbestandteilen

<b>HYDRAULISCHE EIGENSCHAFTEN</b>	Nach Wasserzugabe erfolgt eine selbstständige Erhärtung durch Hydratation sowohl an der Luft als auch unter Wasser. (K, W, T)
<b>LATENT HYDRAULISCHE EIGENSCHAFTEN</b>	Es ist ein natürliches, hydraulisches Potenzial vorhanden. Latent hydraulische Zusatzstoffe beginnen selbst erst in Gegenwart von Anregern (Alkali, Kalk, Sulfat) und Wasser mit der Bildung von zementhydratähnlichen Stoffen. Dabei laufen im Wesentlichen die gleichen Reaktionen ab wie bei der Hydratation von Zement. (S)
<b>PUZZOLANISCHE EIGENSCHAFTEN</b>	Es ist kein hydraulisches Potenzial vorhanden. Puzzolanische Zusatzstoffe reagieren mit dem bei der Hydratation des Klinkeranteils frei werdenden Calciumhydroxid. Dadurch bilden sich zementhydratähnliche Stoffe. (D, P, Q, V, W, T)
<b>INERTE EIGENSCHAFTEN</b>	Es ist weder hydraulisches noch puzzolanisches Potenzial vorhanden. Inerte Stoffe gehen keine chemische Reaktion ein, das heißt sie verändern sich nicht, reagieren nicht, tragen nichts zur Festigkeitsbildung bei und verhalten sich neutral im alkalischen Milieu. Inerte Bestandteile verbessern jedoch die physikalischen Betoneigenschaften. (L, LL)

### BESONDERE EIGENSCHAFTEN

#### Zement mit hohem Sulfatwiderstand HS

Wird gemäß nationalem Vorwort resp. Anhang mit dem Zusatz, „HS“ nach der Festigkeitsklasse bezeichnet. Die folgenden Zemente gelten als "Zement mit hohem Sulfatwiderstand":

- CEM I mit einem C3A-Gehalt < 3,0 M-%
- CEM III/B
- CEM III/C

Für andere Zemente muss die gleiche Leistungsfähigkeit bezüglich Sulfatwiderstand nachgewiesen werden.

#### Zement mit niedriger Hydrationswärme

Werden mit dem Kurzzeichen „LH“ gekennzeichnet. Die Hydrationswärme darf den charakteristischen Wert von 270 J/g nicht überschreiten. Die Hydrationswärme ist entweder nach 7 Tagen oder nach 41 Stunden zu bestimmen.



Festigkeitsklasse des Zementes/Anfangsfestigkeiten

Festigkeits- klasse	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]				Erstarrungs- beginn [min.]
	Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit		
	2 Tage	7 Tage	28 Tage		
32.5 N 32.5 R	- ≥ 10,0	≥ 16,0 -	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
42.5 N 42.5 R	≥ 10,0 ≥ 20,0	- -	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
52.5 N 52.5 R	≥ 20,0 ≥ 30,0	- -	≥ 52,5	-	≥ 45

Für jede Klasse der Normfestigkeit sind zwei Klassen für die Anfangsfestigkeit definiert: Eine Klasse mit üblicher **Anfangsfestigkeit**, die mit „N“ gekennzeichnet wird und eine Klasse mit **hoher Anfangsfestigkeit**, gekennzeichnet mit „R“.

Zementarten und Zusammensetzung

ZEMENTART	BEZEICHNUNG	KENNZEICHNUNG	PORTLANDZEMENT-KLINKER	HÜTTENSAND	SILICASTAUB	PUZZOLAN		FLUGASCHE		GEBRANNTER SCHIEFER	KALKSTEIN	NEBEN-BESTANDTEILE	
						NATÜRLICH	INDUSTRIELL	KIESEL-SÄURE-REICH	KALKREICH				
			K	S	D	P	Q	V	W	T	L		
I	Portlandzement	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
II	Portland-hütten-zement	II/A - S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		II/B - S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-silicastaubzement	II/A - D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-puzzolanzement	II/A - P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		II/B - P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
		II/A - Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		II/B - Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	Portland-flugaschezement	II/A - V	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		II/B - V	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
		II/A - W	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		II/B - W	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	Portland-schieferzement	II/A - T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		II/B - T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	Portland-kalksteinzement	II/A - L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		II/B - L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Portland-compositzement	II/A - M	80-94	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	0-5
II/B - M		65-79	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	0-5	
III	Hochofenzement	III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
IV	Puzzolanzement	IV/A	65-89	-	11-35	11-35	11-35	11-35	-	-	-	0-5	
		IV/B	45-64	-	36-55	36-55	36-55	36-55	-	-	-	0-5	
V	Kompositzement	V/A	40-64	18-30	-	18-30	18-30	18-30	-	-	-	0-5	
		V/B	20-39	31-50	-	31-49	31-49	31-49	-	-	-	0-5	







# GESTEINSKÖRNUNGEN

**Unter Gesteinskörnung** versteht man ein Gemisch aus Sand und Kies unterschiedlicher Korngrößen. Dieses hat mengenmäßig den größten Anteil an Beton. Gesteinskörnungen können aus natürlichen, industriellen oder rezyklierten Rohstoffen hergestellt werden. Es ist wichtig, dass die Gesteinskörnung vom Feinanteil bis zum groben Korn optimal abgestuft und gemischt ist, um alle Hohlräume ausfüllen zu können.

**EINE QUALITATIV GUTE GESTEINSKÖRNUNG HAT GEGENÜBER DEM UMGEBENDEN, KITTENDEN ZEMENTSTEIN DIVERSE VORTEILE:**

- Höhere Festigkeit
- Bessere Dauerhaftigkeit
- Keine Volumenänderung infolge von Feuchtigkeit, somit Reduktion des Schwindmaßes im Beton
- Aufnahme von Hydrationswärme und damit dämpfende Wirkung auf den Abbindeprozess

**DIE WICHTIGSTEN EIGENSCHAFTEN DER GESTEINSKÖRNUNG SIND:**

- Kornzusammensetzung
- Petrografie, Kornform, Oberflächenbeschaffenheit
- Sauberkeit
- Rohdichte, Schüttdichte, Feuchtigkeitsgehalt, Wasseraufnahme



## EINTEILUNG DER GESTEINSKÖRNUNG

EINTEILUNG NACH	GESTEINSKÖRNUNG	DEFINITION/ANFORDERUNG
<b>HERKUNFT</b>	Natürlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Natürliches mineralisches Vorkommen</li> <li>■ Ausschließlich mechanische Aufbereitung</li> </ul>
	Industriell hergestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mineralischer Ursprung</li> <li>■ Industriell hergestellt (thermischer oder ähnlicher Prozess)</li> </ul>
	Rezykliert	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aufbereitetes, anorganisches Material aus Altbaustoff</li> <li>■ Sammelbegriff für rezyklierten Splitt und rezyklierten Brechsand</li> </ul>
	Kies	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Natürlich gerundetes Material</li> </ul>
	Splitt	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gebrochenes Material</li> </ul>
<b>ROHDICHTE</b>	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kornrohddichte &gt; 2.000 kg/m</li> <li>■ Mineralischer Ursprung</li> </ul>
	Leicht	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kornrohddichte ≤ 2.000 kg/m<sup>3</sup> oder Schüttdichte ≤ 1.200 kg/m<sup>3</sup></li> <li>■ Mineralischer Ursprung</li> </ul>
<b>FEINHEIT</b>	Grob	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ D ≥ 4 mm und d ≥ 2 mm</li> </ul>
	Fein	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ D ≤ 4 mm (Sand)</li> </ul>
	Feinanteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gesteinsanteil &lt; 0,063 mm</li> </ul>
	Füller (Gesteinsmehl)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Überwiegender Teil &lt; 0,036 mm</li> </ul>

## KORNZUSAMMENSETZUNG

Die Kornzusammensetzung des Betonzuschlags bestimmt die Dichte und den Wasseranspruch einer Betonmischung, der zur Erzielung einer ausreichenden Verarbeitbarkeit erforderlich ist. Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen wird durch Siebversuche mit Prüfsieben bestimmt und mit Sieblinien dargestellt, welche den Anteil des Zuschlages in Gewichtsprozenten zeigen, der kleiner als die zugehörige Korngröße ist.

Es wird zwischen feiner (Sand, Brechsand) und grober Gesteinskörnung (Kies, Splitt) unterschieden. Feine Gesteinskörnungen haben einen Grenzwert von 15 % für den Überkornanteil. Feianteile sind jene Anteile einer Gesteinskörnung, die durch das 0,063 mm Sieb hindurchgehen. Feianteile können die Betoneigenschaft nachhaltig verändern. Der Gehalt der Feianteile wird durch den Auswaschversuch bestimmt.

### Mehlkorn

Anteil < 0,125 mm der trockenen Betonmischung (Gesteinskörnung, Zement, Zusatzstoffe) enthält keine lehmigen Stoffe und quellfähige Tonminerale.

### Korngröße

Beschreibt die Größe von einzelnen Körnern.

### Korngemisch 0/D

Gemisch aus feinen und groben Gesteinskörnungen (z.B. 0/8, 0/16)



GESTEINSKÖRNUNGEN	KORNGRUPPEN D / D IN MM				
<b>Feine Gesteinskörnungen (Sand)</b> d = 0 und D ≤ 4 mm	0/1	0/2	0/4		
<b>Grobe Gesteinskörnungen enggestuft</b> D > 11,2 mm und D/d ≤ 2 mm oder D ≤ 11,2 mm und D/d ≤ 4	2/4	2/8	4/8	8/16	16/32
<b>Grobe Gesteinskörnungen weitgestuft</b> D > 11,2 mm und D/d > 2 oder D < 11,2 mm und D/d > 4 mm	2/16 1/8	4/16	4/32	8/32	

## KORNGRUPPE D/D

Die Korngruppe (Lieferkörnung) wird durch die Angabe von zwei Siebgrößen (Begrenzungssiebe) definiert.

Zum Beispiel: 2/4 mm oder 2–4 mm.

„d“ = 2 mm und „D“ = 4 mm

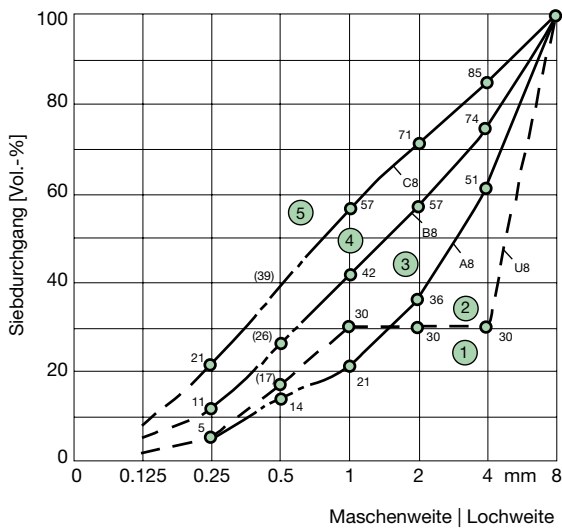
d = unteres Begrenzungssieb

D = oberes Begrenzungssieb

In einer Korngruppe sind auch kleinere und größere Körner als sogenanntes Nennkorn vorhanden (Unter-/Überkornanteile). Die Siebgrößen sind mit den Werten des Grundsiebsatzes oder der Ergänzungssiebsätze zu bilden. Mit einer Sieblinie kann man die Körnung von Gesteinen (Kies, Schotter, Sand etc.) grafisch darstellen. Sie wird ermittelt durch Siebe unterschiedlicher Maschenweite.

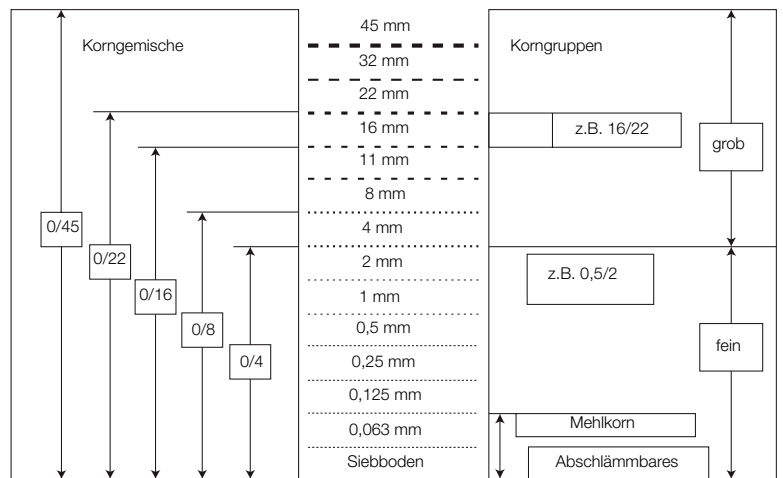
<b>GRUNDSIEBSATZ</b>	0 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 mm
<b>ERGÄNZUNGSSIEBSATZ</b>	5,6 - 11,2 - 22,4 - 45 mm
<b>MASCHENSIEBE</b>	0,063 - 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1,0 - 2,0
<b>QUADRATLOCHSIEBE</b>	4 - 8 - 11,2 - 16 - 22,4 - 31,5 - 45 - 63

**FOLGENDE SIEBLINIEN  
GELTEN INFORMATIV**



- 1 grobkörnig
- 2 Ausfallkörnung
- 3 grob- bis mittelkörnig
- 4 mittel- bis feinkörnig
- 5 feinkörnig

**BEZEICHNUNG DER KÖRNING**



**PETROGRAFIE, KORNFORM, OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT**

Poröses und zu weiches Material beeinträchtigt die Qualität des Betons.

Die Kornform aber auch die Kornabstufung und die Oberflächenbeschaffenheit bestimmen im Wesentlichen den Wasserbedarf, und die Verdichtbarkeit.

Gebrochene Gesteinskörnungen können beispielsweise die Druck-, Zug- und Abriebfestigkeit des Betons verbessern, beeinträchtigen aber seine Verarbeitbarkeit.

**Natürlich glatt**



kugelig, rund



nicht kugelig, rund

**Gebrochen, rau**



kugelig, kantig



nicht kugelig, kantig



## SAUBERKEIT

Verunreinigte Gesteinskörnungen vermindern die Betonqualität:

- Störung des Abbindeverhaltens
- Schwächung des Frostwiderstands

Aus diesem Grund wird die Gesteinskörnung bei der Aufbereitung gewaschen.



## ROHDICHTE, SCHÜTTDICHTEN, FEUCHTIGKEITSGEHALT UND WASSERAUFNAHME

Die Ursprungsminerale und die Porigkeit bestimmen deren Rohdichte, die zur Stoffraumberechnung benötigt wird.

Die Schüttdichte ist die Masse von lose geschüttetem Material pro Volumeneinheit. Der Feuchtigkeitsgehalt setzt sich aus der Oberflächen- und der Kernfeuchte bei der Betonherstellung zusammen. Der Feuchtigkeitsgehalt ist in der Stoffraumberechnung bei der Gesteinskörnung und beim Zugabewasser zu berücksichtigen.

Die Wasseraufnahme bezeichnet das von der Gesteinskörnung aufgenommene Wasser, das für die Hydratation des Zements nicht zur Verfügung steht.

## KATEGORIEN UND EIGENSCHAFTEN DER GESTEINSKÖRNUNG

ANFORDERUNGEN	EIGENSCHAFT	KATEGORIE
<b>GEOMETRISCHE</b>	■ Korngruppe	■ d/D
	■ Kornzusammensetzung	■ G
	■ Kornform	■ FI, SI
	■ Feinanteile	■ f
	■ Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen	■ SC
<b>CHEMISCHE</b>	■ Gehalt an wasserlöslichen Chlorid-Ionen	-
	■ Gehalt an säurelöslichem Sulfat	■ AS
	■ Gesamtschwefel	-
<b>PHYSIKALISCHE</b>	■ Widerstand gegen Zertrümmerung	■ LA, SZ
	■ Verschleißwiderstand von groben Gesteinskörnungen	■ MDE
	■ Polierwiderstand von groben Gesteinskörnungen	■ PSV
	■ Abriebwiderstand von groben Gesteinskörnungen	■ AAV
	■ Widerstand von groben Gesteinskörnungen gegen Abrieb durch Spikerreifen	■ AN
	■ Frost- und Frostauszuzwiderstand	■ F, MS
<b>SONSTIGE</b>	■ Erstarrungs- und erhärtungsstörende Stoffe	-
	■ Leichtgewichtige, organische Verunreinigungen	-

## ANMACHWASSER/ZUGABEWASSER

Das **Zugabewasser** beeinflusst die Erstarrung und die Festigkeitsentwicklung des Betons sowie den Korrosionsschutz der Bewehrung. Unter Anmachwasser versteht man die gesamte im Frischbeton enthaltene Wassermenge, die bei der Ermittlung des wirksamen Wasserzementwerts zu berücksichtigen ist.

Das **Anmachwasser setzt sich zusammen aus:**

- Dem Zugabewasser
- Der Oberflächenfeuchte der Geateinskörnung
- Gegebenenfalls dem Wasseranteil der Zusatzmittel und Zusatzstoffe, sollte die Gesamtmenge mehr als 3 ltr./m<sup>3</sup> betragen

Der Gesamtwassergehalt ergibt sich aus dem Anmachwasser und der Kernfeuchte.

OBERFLÄCHEN- FEUCHTE	WASSERANTEIL IN ZUSATZMITTELN/-STOFFEN	ZUGABEWASSER	KERNFEUCHTE
<b>GESAMTWASSERGEHALT</b>			
<b>WIRKSAMER WASSERGEHALT</b>			

### ANFORDERUNGEN AN DAS ZUGABEWASSER

<b>Trinkwasser</b>	Geeignet zur Betonherstellung. Keine zusätzlichen Prüfungen nötig.
<b>Restwasser</b>	In der Regel geeignet zur Betonherstellung. Gewisse Anforderungen müssen jedoch erfüllt werden.
<b>Natürliches Oberflächenwasser</b>	Kann geeignet sein, muss jedoch geprüft werden.
<b>Industrielles Brauchwasser, Grundwasser</b>	Prüfhäufigkeit: vor der ersten Anwendung, anschließend einmal pro Jahr und in Zweifelsfällen.
<b>Abwasser</b>	Grundsätzlich nicht geeignet.
<b>Meerwasser</b>	Darf für unbewehrten Beton verwendet werden, ist aber in der Regel für bewehrten und vorgespannten Beton geeignet.







## BETONZUSATZSTOFFE

**Betonzusatzstoffe** sind pulverförmige oder flüssige Zusätze, die bestimmte Eigenschaften des Betons beeinflussen. Sie dürfen dem Beton nur zugegeben werden, wenn sie das Erhärten des Zements, die Festigkeit und die Beständigkeit des Betons sowie den Korrosionsschutz des Betons nicht beeinträchtigen.

Sie sind als Volumenbestandteile in der Stoffraumrechnung für den k-Wert-Ansatz zu berücksichtigen. Die übliche Klassifizierung der Zusatzstoffe richtet sich nach ihrem chemischen Verhalten im Zementleim und/oder nach ihrer Wirkung im Beton. Eine weitere Einteilung bezieht sich auf deren chemische Zusammensetzung (Dreistoffdiagramm).

### WICHTIGE ZUSATZSTOFFE

<b>KALKSTEINFÜLLER</b>		Reagieren nicht mit Zement und Wasser und greifen somit nicht in die Hydratation ein.
<b>STEINMEHL</b>	<b>TYP I</b> nahezu inaktive Zusatzstoffe	Sie dienen aufgrund ihrer Korngröße, -zusammensetzung und -form der Verbesserung des Kornaufbaus im Mehlkornbereich.
<b>FARBPIGMENTE</b>		Sie werden zugesetzt, um beispielsweise bei Betonen mit feinteilarmen Sanden einen für die Verarbeitbarkeit und für ein geschlosseneres Gefüge ausreichenden Mehlkorngehalt zu erzielen.
<b>NATÜRLICHE PUZZOLANE (TRASS)</b>	<b>TYP II</b> puzzolanische Zusatzstoffe	Puzzolanische Zusatzstoffe reagieren mit dem bei der Hydratation des Zementsteins entstehenden Calciumhydroxid und bilden dabei zementsteinähnliche Erhärtungsprodukte.
<b>FLUGASCHEN</b>		Solche Stoffe tragen zur Erhärtung bei und dienen aufgrund ihrer Korngröße, -zusammensetzung und -form der Verbesserung des Kornaufbaus im Mehlkornbereich.
<b>SILICASTAUB MICROSILIKA</b>		
<b>HÜTTENSAND</b>	<b>LATENT hydraulische Zusatzstoffe</b>	Latent hydraulische Stoffe benötigen einen Anreger (Calciumhydroxid oder Calciumsulfat), um dann selbst hydraulisch zu erhärten.
<b>FASERN</b>		Faserartige Stoffe kommen insbesondere als Stahlfasern, aber auch als Glasfasern oder Kunststofffasern zum Einsatz. Sie können die Frisch- und Festbetoneigenschaften (Festigkeit, Dichtigkeit, Arbeitsvermögen) verbessern.

# BETONZUSATZMITTEL



**Betonzusatzmittel** sind in Wasser gelöste Stoffe, die dem Beton beigemischt werden, um durch physikalische und/oder chemische Wirkung die Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons, wie beispielsweise Verarbeitbarkeit, Abbindeverhalten, Erhärten oder Dauerhaftigkeit, zu verändern. Die Zugabemenge, bezogen auf das Zementgewicht, liegt im Allgemeinen im Bereich von 0,2 bis 2,0 M-%.

Sollten mehrere Zusatzmittel gemeinsam eingesetzt werden, so ist dies mit dem Lieferanten genau abzuklären, da sich unter Umständen die Wirkungen der Zusatzmittel aufheben oder summieren können.

## WIRKUNGSWEISE VON BETONZUSATZMITTELN

<b>FLIESSMITTEL</b>	<b>FM</b>	Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit.
<b>VERZÖGERER</b>	<b>VZ</b>	Verzögerung des Erstarrens des Betons; zum Beispiel Einsatz bei Mehretappen-Einbau, bei hohen Außentemperaturen usw.
<b>LUFTPORENBILDNER</b>	<b>LP</b>	Erhöhung des Frost- und Frosttausalz widerstandes durch Einführung gleichmäßig verteilter kleiner Luftporen.
<b>ERHÄRTUNGS-BESCHLEUNIGER</b>	<b>HBE</b>	Beschleunigt die Anfangsfestigkeit – mit oder ohne Einfluss auf die Erstarrungszeit. Einsatz beim Betonieren im Winter.
<b>ERSTARRUNGS-BESCHLEUNIGER</b>	<b>SBE</b>	Beschleunigung des Erstarrens des Betons.
<b>STABILISIERER</b>	<b>ST</b>	Der „innere Zusammenhalt“ des Frischbetons wird erhöht.
<b>BETONVERFLÜSSIGER</b>	<b>BV</b>	Sie vermindern den Wasseranspruch des Betons und verbessern dadurch seine Verarbeitbarkeit oder sie ermöglichen durch Wassereinsparung bei gleichbleibendem Zementgehalts eine Erhöhung seiner Festigkeit.
<b>DICHTUNGSMITTEL</b>	<b>DM</b>	Dichtungsmittel (DM) werden, wenn überhaupt, im Tief-, Wasser- und Behälterbau verwendet. Sie sollen die Wasseraufnahme bzw. das Eindringen von Wasser in den Beton vermindern.
<b>EINPRESSHILFEN</b>	<b>EH</b>	Einpresshilfen verbessern die Fließfähigkeit, vermindern den Wasseranspruch sowie das Absetzen und bewirken ein mäßiges Quellen von Einpressmörtel.

## WIRKUNGSWEISE VON BETONZUSATZMITTELN

AUSWIRKUNG AUF	VERFLÜSSIGER BV/FM	BESCHLEUNIGER SBE/HBE	VERZÖGERER VZ	LUFTPORENBILDNER LP
VERARBEITBARKEIT	++	-	+	+
ENTMISCHEN/BLUTEN	+		-	+
ERSTARREN: <b>BESCHLEUNIGEND</b>		++		
VERZÖGERND	-		++	-
PUMPFÄHIGKEIT	+			-
FRÜHFESTIGKEIT	+	++	-	-
ENDFESTIGKEIT	+	-	+	-
PERMEABILITÄT *	+	-		+
FROSTWIDERSTAND	+	-	-	++
<b>BETONIEREN BEI KALTEM WETTER</b>	+	+	-	
<b>BETONIEREN BEI WARMEM WETTER</b>	+	-	+	

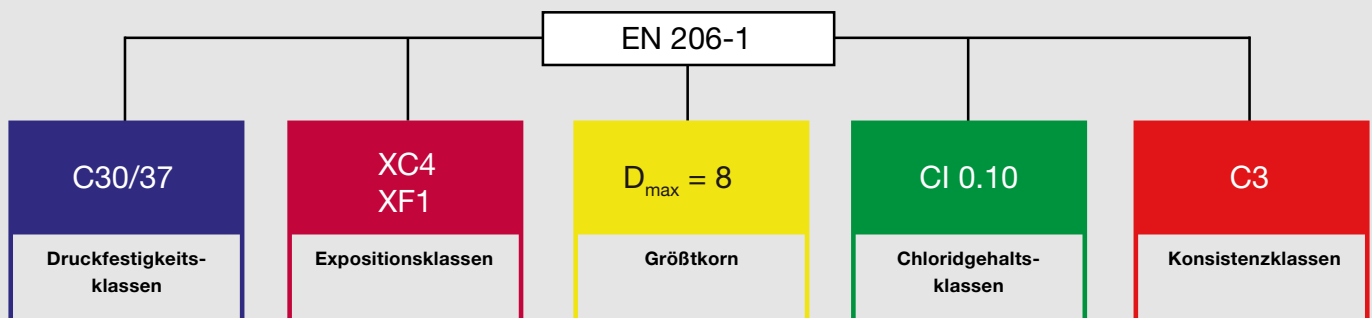
++ positiver Effekt  
 + möglicher Effekt  
 - möglicher negativer Effekt  
 Quelle: Betonpraxis

\* Permeabilität bezeichnet bei Festkörpern die Eigenschaft, Gase und/oder Flüssigkeiten passieren zu lassen.

# FESTLEGUNG DES BETONS

Der Beton darf entweder nach Eigenschaften oder nach Zusammensetzung ausgeschrieben werden. Bei Beton nach Zusammensetzung ist der Betonhersteller für die Lieferung von Beton mit der vom Besteller vorgegebenen Zusammensetzung verantwortlich.

Bei Beton nach Eigenschaften werden die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen festgelegt. Der Betonhersteller ist für die Herstellung von Beton, der den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht, verantwortlich.



Beton nach Eigenschaften wird definiert durch:

- Druckfestigkeitsklassen
- Expositionsklassen (Einfluss der Umwelt auf den Festbeton)
- Größtkorn der Gesteinskörnungen (Zuschlagstoffe)
- Chloridgehalt (im Frischbeton)
- Konsistenz
- Rohdichte (nur für Leichtbeton)

## DRUCKFESTIGKEITSKLASSEN

Die Druckfestigkeit ist eine der wichtigsten Eigenschaften des Betons. Anhand der Druckfestigkeit lässt sich der Beton den Festigkeitsklassen zuordnen, beispielsweise C 25/30. Die Beurteilung erfolgt durch eine Prüfung nach 28 Tagen anhand von 30 cm langen Zylindern mit 15 cm Durchmesser oder Würfeln mit 15 cm Kantenlänge (Probewürfeln).

Ein C 25/30 hat die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit von 25 N/mm<sup>2</sup> sowie eine charakteristische Würfeldruckfestigkeit von 30 N/mm<sup>2</sup>.

Druckfestigkeitsklassen nach EN 206-1

Concrete (engl. Beton)

**C**

Zylinderdruckfestigkeit  
(Höhe: 30 cm und  
Durchmesser 15 cm)

**25**



Würfeldruckfestigkeit  
(15 cm \* 15 cm)

**30**





## EINTEILUNG DRUCKFESTIGKEITSKLASSEN

DRUCKFESTIGKEITSKLASSEN		ZYLINDER <sup>1) 2)</sup>	WÜRFEL <sup>1) 3)</sup>
		$F_{CK,CYL}$ [N/MM <sup>2</sup> ] ODER (MPA)	$F_{CK,CUBE}$ [N/MM <sup>2</sup> ] ODER (MPA)
NORMAL- UND SCHWERBETON	C 8/10	8	10
	C 12/15	12	15
	C 16/20	16	20
	C 20/25	20	25
	C 25/30	25	30
	C 30/37	30	37
	C 35/45	35	45
	C 40/50	40	50
	C 45/55	45	55
C 50/60	50	60	
HOCHFESTER BETON	C 55/67	55	67
	C 60/75	60	75
	C 70/85	70	85
	C 80/95	80	95
	C 90/105	90	105
	C 100/115	100	115

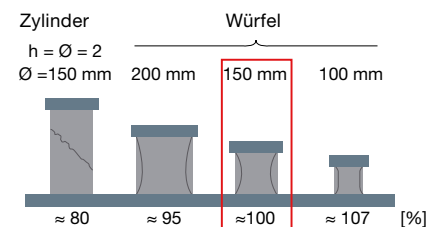
1) Lagerung der Probe in Wasser. Prüfdauer 28 Tage

2) Zylinder: Durchmesser = 150 mm, Länge = 300 mm

3) Würfel: Kantenlänge = 150 mm

## EINFLUSS DER PROBEKÖRPERGRÖSSE

Die Druckfestigkeit von Betonwürfeln nimmt unter sonst gleichen Verhältnissen mit zunehmender Kantenlänge bzw. Würfelgröße ab. Die Zylinderdruckfestigkeit liegt 15 - 20 % tiefer als die Würfeldruckfestigkeit. Dabei ist zu beachten, dass diese Verhältnisse nur für ein Alter von 28 Tagen und bei Normlagerung gelten.



## MASSGEBLICHE EINFLUSSGRÖSSEN FÜR DIE DRUCKFESTIGKEIT

- W/B-Wert
- Zementfestigkeitsklasse
- Zementmenge
- Anteil und Art der Zusatzstoffe
- Kornzusammensetzung
- Festigkeit der Körnung
- Verdichtung
- Nachbehandlung

Hohe Druckfestigkeit ist nicht mit hoher Dauerhaftigkeit gleichzusetzen.




# EXPOSITIONSKLASSEN

Um eine ausreichende Dauerhaftigkeit sicherzustellen, müssen Betonteile genügend widerstandsfähig gegenüber chemischen und physikalischen Einwirkungen aus ihrer Umgebung und Nutzung sein. Bauwerke gelten als dauerhaft, wenn sie während der vorgesehenen Nutzungsdauer ihre Funktion hinsichtlich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften bei einem angemessenen Instandsetzungsaufwand erfüllen. Zur Sicherstellung ist dabei eine ausreichende Betondeckung des Betonstahls bzw. Spannstahls sowie eine geeignete Betonzusammensetzung erforderlich.

## Anforderungen an die Betonzusammensetzung

- Maximaler Wasserzementwert
- Mindestzementgehalt
- Luftgehalt des Betons
- Verwendung von zulässigen Zementarten
- Anrechnungsregeln für Betonzusatzstoffe (k-Wert-Konzept)



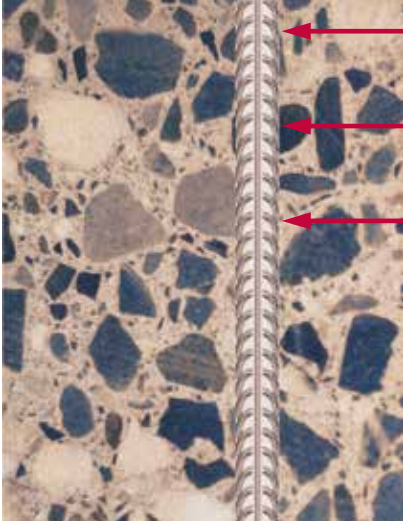
Einwirkung auf Beton

### Expositionsklassen nach EN 206-1

Expositionsklassen beschreiben den Einfluss der Umwelt auf den Festbeton. Beton kann mehreren Einwirkungen ausgesetzt sein. Dies muss als Kombination der Expositionsklassen ausgedrückt werden. Die Bezeichnungen der einzelnen Expositionsklassen setzt sich aus dem Buchstaben X (für Exposition), der Kennung für die Art der schädigenden Einwirkung und einer Ziffer, welche die Intensität der Schädigungseinflüsse kennzeichnet, zusammen.  
Beispiel: XC3 / XD1 / XF2 / XA1

Für die verschiedenen Arten von Einwirkungen werden folgende englische Abkürzungen verwendet:

- **0** für „Zero Risk“  
(kein Korrosions- od. Angriffsrisiko)
- **C** für „Carbonation“  
(Korrosion, durch Karbonatisierung)
- **D** für „Deicing Salt“  
(Korrosion, durch Chloride)
- **S** für „Seawater“  
(Korrosion, durch Meerwasser)
- **F** für „Frost“  
(Frostangriff mit und ohne Tausalz)
- **A** für „Chemical Attack“  
(Chemischer Angriff)
- **M** für „Mechanical Abrasion“  
(Mechanischer Angriff, Abrieb, ect.)



CO <sub>2</sub> (Karbonatisierung)	<b>XC</b>
Tausalz (Chloride)	<b>XD</b>
Tausalz (Chloride aus Meerwasser)	<b>XS</b>
Frost- und Frost-Tausalz-Angriff	<b>XF</b>
Chemischer Angriff	<b>XA</b>
Mechanischer Angriff	<b>XM</b>

## EXPOSITIONSKLASSEN LT. EN 206-1

KLASSEN-BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG DER UMGEBUNG	BEISPIELE FÜR DIE ZUORDNUNG
<b>Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko für Beton und Bewehrung</b>		
<b>X0</b>	Für Beton ohne Bewehrung	
<b>KORROSION, AUSGELÖST DURCH KARBONATISIERUNG</b>		
<b>XC1</b>	Trocken oder ständig nass	In Gebäuden mit geringer Luftfeuchtigkeit. Beton, der ständig unter Wasser ist.
<b>XC2</b>	Nass, selten trocken	Langzeitig wasserbenetzte Oberflächen, Gründungsbaustelle.
<b>XC3</b>	Mäßige Feuchte	In Gebäuden mit mäßiger bis hoher Luftfeuchtigkeit, Beton im Freien, vor Regen geschützt.
<b>XC4</b>	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung.
<b>KORROSION, AUSGELÖST DURCH CHLORIDE</b>		
<b>XD1</b>	Mäßige Feuchte	Betonoberfläche, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt ist.
<b>XD2</b>	Nass, selten trocken	Schwimmbäder: Beton, der chloridhaltigen Industrierwässern ausgesetzt ist.
<b>XD3</b>	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken, die chloridhaltigen Spritzwassern ausgesetzt sind. Parkdecks, Fahrbahndecken, etc.
<b>KORROSION, AUSGELÖST DURCH CHLORIDE AUS MEERWASSER</b>		
Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Chloriden aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:		
<b>XS1</b>	Salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Bauwerke in Küstennähe oder an der Küste
<b>XS2</b>	Ständig unter Wasser	Teile von Meeresbauwerken
<b>XS3</b>	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Teile von Meeresbauwerken
<b>FROST-TAU-ANGRIFF</b>		
<b>XF1</b>	Mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	Senkrechte Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind.
<b>XF2</b>	Mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	Senkrechte Betonoberfläche von Straßenbauwerken, die taumittelhaltigen Sprühnebel ausgesetzt ist.
<b>XF3</b>	Mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	Horizontale Betonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind.
<b>XF4</b>	Hohe Wassersättigung, mit Taumittel	Horizontale Betonoberflächen von Straßenbauwerken, die taumittelhaltigen Sprühnebeln und Frost ausgesetzt sind. Straßendecken und Brückenplatten, die Taumitteln ausgesetzt sind.
<b>CHEMISCHER ANGRIFF</b>		
<b>XA1</b>	Chemisch schwach angreifende Umgebung (s. Tab. Seite 29)	
<b>XA2</b>	Chemisch mässig angreifende Umgebung (s. Tab. Seite 29)	Bei der Expositionsklasse XA sind Fachleute zur Festlegung der Betonzusammensetzung und/oder Prüfung beizuziehen.
<b>XA3</b>	Chemisch stark angreifende Umgebung (s. Tab. Seite 29)	
<b>VERSCHLEISSBEANSPRUCHUNG</b>		
<b>XM1</b>	Mässige Verschleißbeanspruchung	Tragende oder ausstreifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge.
<b>XM2</b>	Starke Verschleißbeanspruchung	Tragende oder ausstreifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler.
<b>XM3</b>	Sehr starke Verschleißbeanspruchung	Tragende oder ausstreifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler. Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden. Wasserbauwerke in geschiebelasteten Gewässern z.B. Tosbecken.

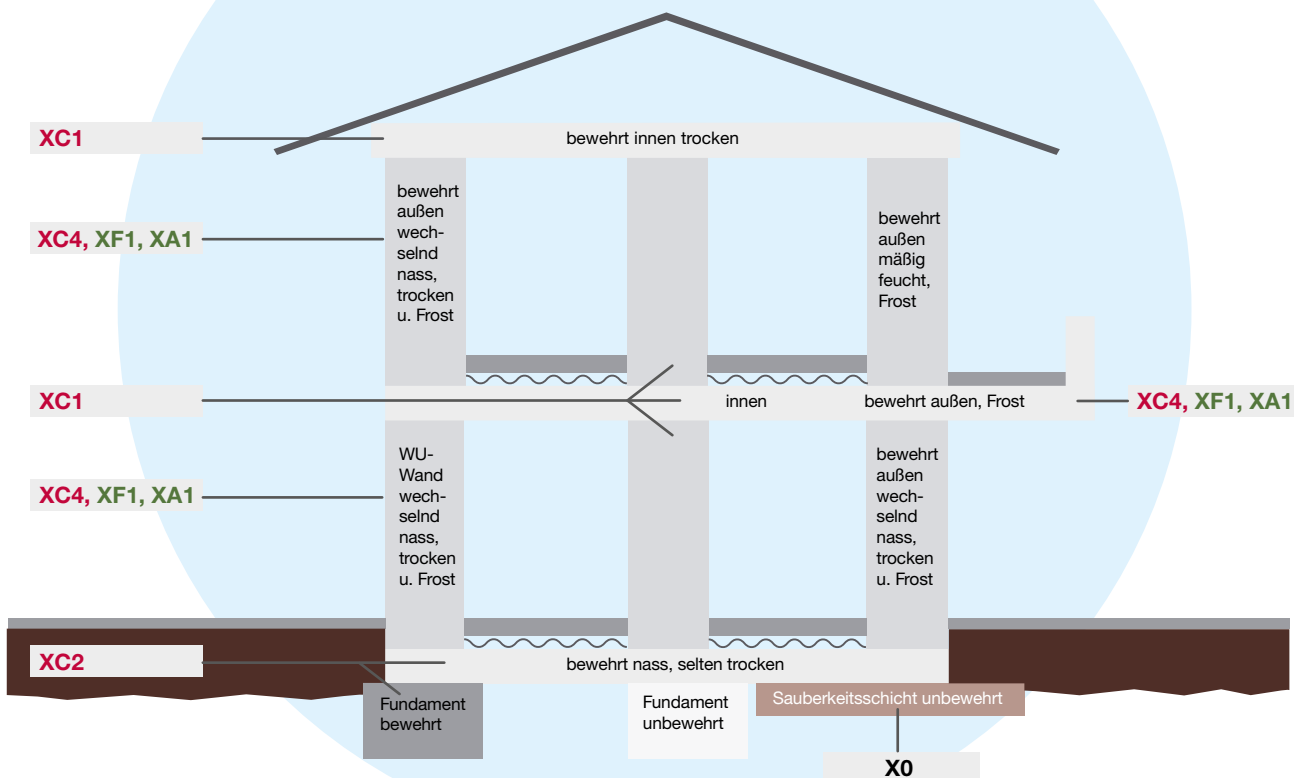


**BETONKORROSION INFOLGE ALKALI-KIESELSÄUREREAKTION - FEUCHTIGKEITSKLASSEN NACH DIN 1045-2**

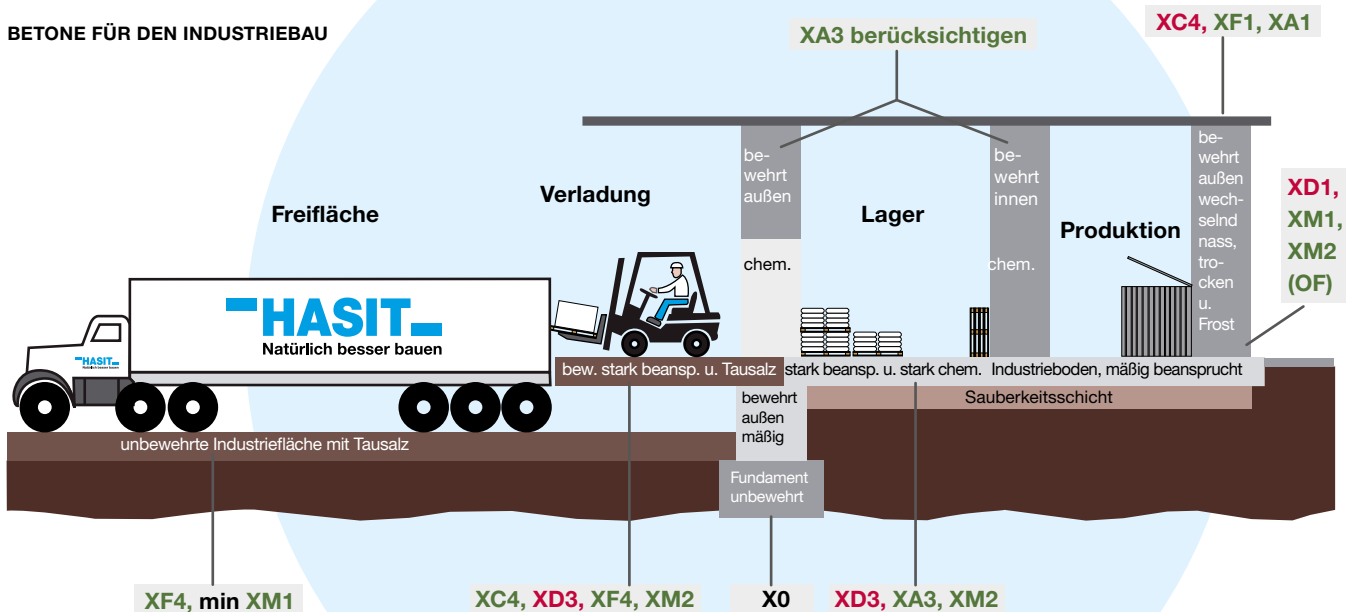
Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen.

<b>WO</b>	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	Innenbauteile des Hochbaus; Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt werden.
<b>WF</b>	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	Ungeschützte Außenbauteile, die z.B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z.B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80% ist; Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z.B. Schornsteine, Wärmeüberträgerstationen, Filterkammern und Viehställe; Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie "Massige Bauteile aus Beton", deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt).
<b>WA</b>	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.	Bauteile mit Mehrwassereinwirkung; Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z.B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern); Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z.B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung.
<b>WS</b>	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen)

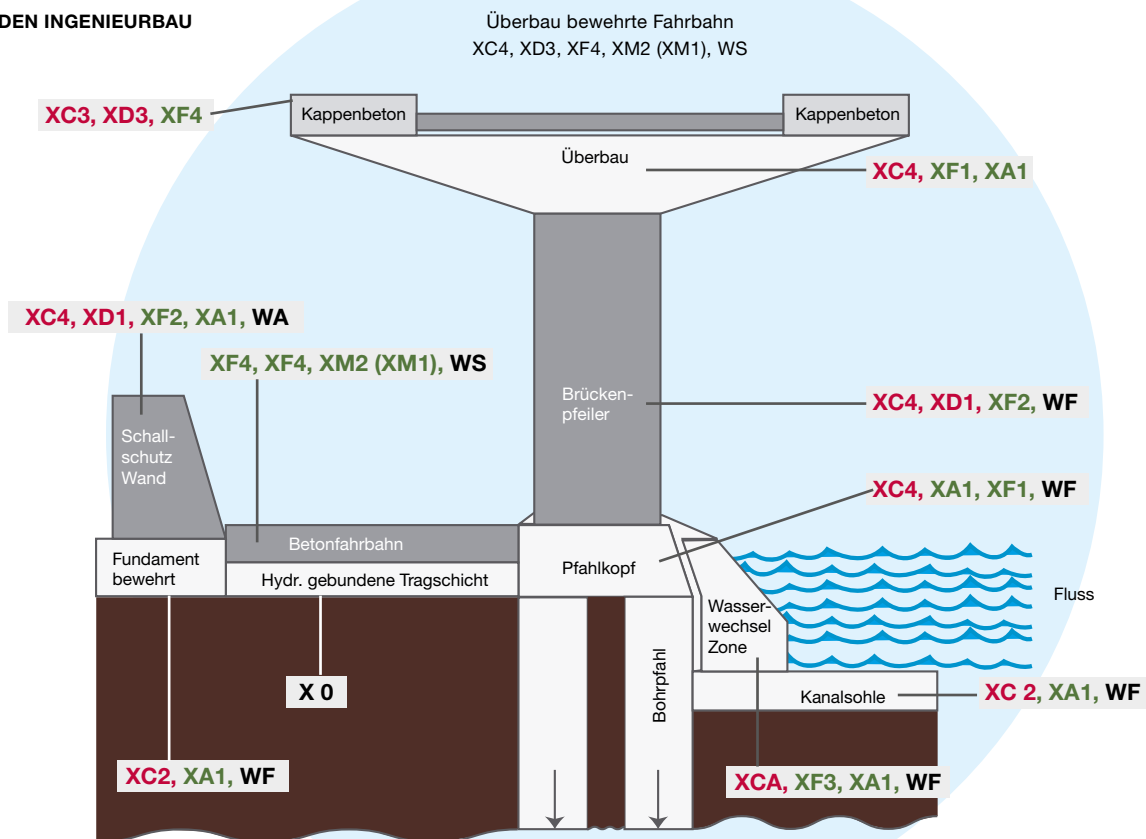
**BEISPIEL (OHNE FEUCHTIGKEITSKLASSEN)  
NACH EN 206-1: BETONE FÜR DEN HOCHBAU**



BETONE FÜR DEN INDUSTRIEBAU



BETONE FÜR DEN INGENIEURBAU



## BEWEHRUNGSKORROSION (XC, XD, XS)

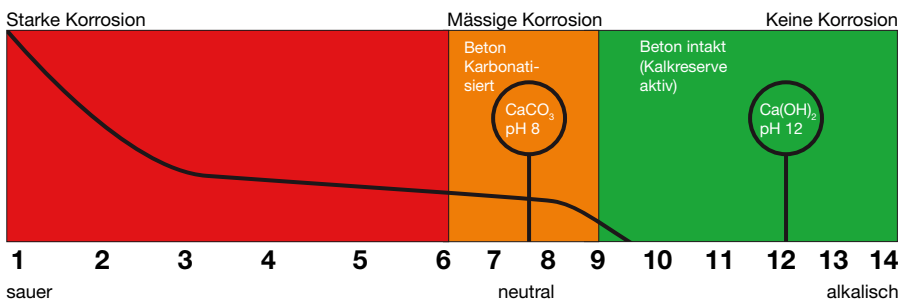
Eine Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit von Stahl- und Spannbetonbauwerken ist der Korrosionsschutz des Stahls (Passivschicht) aufgrund der Alkalität des Porenwassers in Beton.

Diese Passivität kann unter baupraktischen Bedingungen infolge von zwei Prozessen verlorengehen, die vorwiegend die chemischen bzw. die elektrochemischen Eigenschaften des Betons beeinflussen:

- Karbonatisierung des Betons mit der Folge einer Absenkung des pH-Wertes unter 10
- Chloride im Porenwasser über einem kritischen Grenzwert

### KARBONATISIERUNG – AUSLÖSER FÜR KORROSION

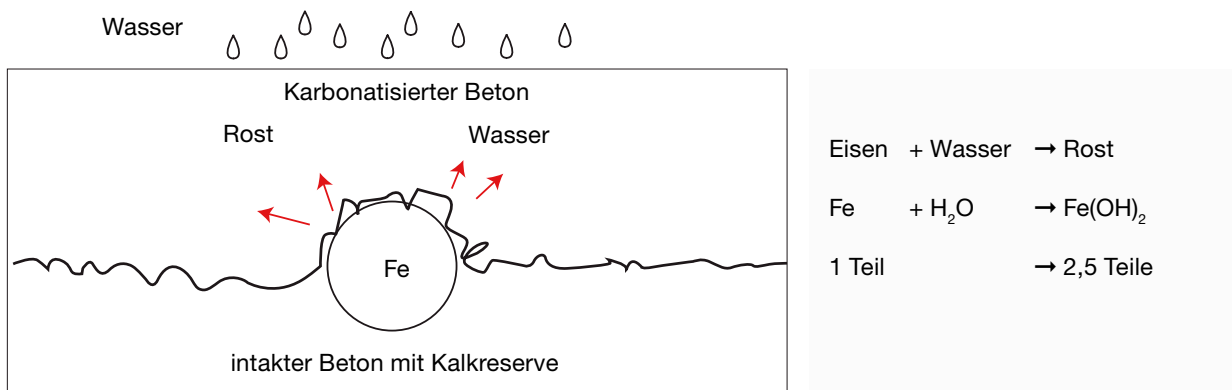
Die Karbonatisierung oder Betonkorrosion ist eine chemische Reaktion, die in jedem Beton abläuft. Folge der Reaktion ist die Verringerung des pH-Wertes des Porenwassers von durchschnittlich pH 12,6 auf unter pH 9. Bei pH-Werten oberhalb 10 bildet sich auf der Oberfläche des im Beton eingebetteten Bewehrungsstahls eine Passivierungsschicht, die den Stahl dauerhaft vor Bewehrungskorrosion schützt. Sinkt der pH-Wert im Beton, besteht die Gefahr von strukturellen Schäden an der Stahlbetonkonstruktion.



### GESCHWINDIGKEIT DER KARBONATISIERUNG

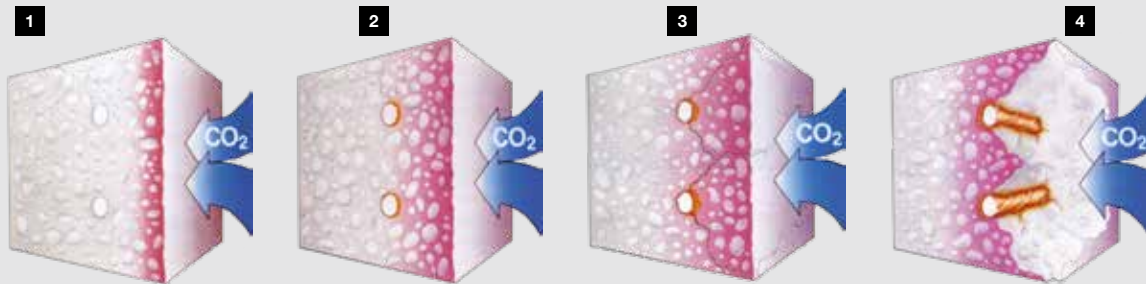
Die Geschwindigkeit mit der sich die Karbonatisierungsfront ins Betoninnere bewegt ist umso höher, je poröser der Beton ist. Der w/z-Wert ist damit in Bezug auf Geschwindigkeit und Tiefe der Karbonatisierung dominierend. Daneben beeinflussen eine Reihe weiterer Faktoren, wie Zementgehalt, Temperaturverlauf, alternierende, dauernde oder überhaupt keine Benetzung, die Karbonatisierungsgeschwindigkeit und damit die Karbonatisierungstiefe.

### ABLAUF DER KARBONATISIERUNG





## VORGANG DER KARBONATISIERUNG



- 1** CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) beginnt den Beton zu neutralisieren.
- 2** Von der Oberfläche dringt die Karbonatisierungsf front in den Beton ein.
- 3** Die Karbonatisierungsf front erreicht das Amierungsseisen. In Verbindung mit Wasser und Sauerstoff setzt die Stahlkorrosion ein.
- 4** Der Rost besitzt gegenüber Eisen ein mehrfach größeres Volumen und entwickelt große Druckkraft – die Betonüberdeckung wird abgesprengt, der Amierungsstahl liegt frei.

## KORROSION, AUSGELÖST DURCH CHLORIDE

Chloride sind farblose oder farbige Salze, die in unterschiedlichsten Kristallstrukturen vorkommen können. Für die Betontechnologie relevante Quellen von Chloriden sind unter anderem Streusalze und Meerwasser.

Obwohl Chloride den Beton nicht direkt angreifen, können sie - falls ausreichend Feuchtigkeit vorhanden ist - zur Lochfraßkorrosion der Bewehrungsstähle im Beton führen. Bei Eis- oder Schneebildung werden die befahrenen und begangenen Betonflächen mit Frosttaumitteln, in der Regel, mit Tausalzen bestreut. Das zur Verwendung kommende Salz (NaCl) enthält einen großen Anteil Chlorid.

## BETONKORROSION (XF, XA, XM)

### ANGRIFF DURCH FROST UND TAUMITTEL

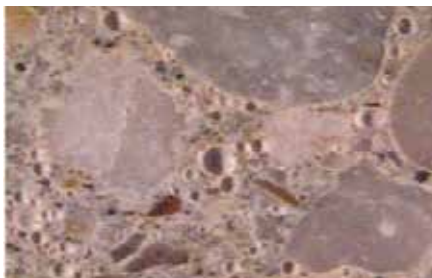
Bei Angriff durch Frost erfolgt die Schädigung des Betons durch periodisches Gefrieren und Tauen. Dabei wird das Wasser in den Kapillarporen des Zementgesteins und der Gesteinskörnung zu Eis umgewandelt. Die Eisbildung ist mit einer rund 9-prozentigen Volumenvergrößerung verbunden. Diese Volumenvergrößerung bewirkt im Betoninneren das Auftreten hoher innerer Drücke und Spannungen, die schließlich zu Abplatzungen an der Oberfläche und zum Zerbröckeln des Betons führen.

Bei Einwirkung von Taumitteln erfolgt die Schädigung des Betons durch einen in den oberflächennahen Schichten des Betons verursachten thermischen Schock. Die Taumittel entziehen dem Beton für das Aufschmelzen des Schnees oder Eises die notwendige Wärme. Dies verursacht einen besonders raschen Temperatursturz, der durch den gleichen Mechanismus wie bei der Frosteinwirkung hohe innere Drücke und Spannungen hervorruft, die zu Abplatzungen an der Betonoberfläche führen. Die schädigende Einwirkung der Taumittel ist sehr viel intensiver als nur bei Frosteinwirkung.



### ANGRIFF DER FROST UND TAUMITTEL - BETONZUSAMMENSETZUNG BEI FROST-UND TAUMITTELANGRIFF

Eine geeignete Betonzusammensetzung kann Schäden durch Frost und Taumittel weitestgehend vermeiden. Grundsätzlich gilt, dass sich mit zunehmender Dichte des Betongefüges der Widerstand gegen das Eindringen von Wasser oder Chloriden erhöht. Eine niedrige Kapillarität des Betons behindert die Wanderung des Wassers von außen in den Beton und die Bildung von Eis in den Kapillarporen. Durch Zusatzmittel (Luftporenbildner) werden künstlich kleine, fein verteilte, kugelförmige, geschlossene Mikroluftporen in den Beton eingeführt, die als Expansionsgefäße dienen. Des Weiteren wird das durchgängige Kapillarsystem des Betons unterbrochen und damit die Wasseraufnahme des Betons verringert.



Mindestluftgehalt [Vol.-%] im Frischbeton  
bei  $D_{\max}$  8 mm LP = 4,0–6,0 %

Je größer das Korn, desto geringer der Mindestluftgehalt.

Die Luftporen haben einen  $\varnothing$  von 10  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ .  
(Micrometer  $\rightarrow$  10  $\mu\text{m}$  = 0,01 mm / 300  $\mu\text{m}$  0,3 mm)

Neben der positiven Wirkung der Mikroluftporen kommt es zu einem Festigkeitsabfall des Betons.

### DIESER ENTSPRICHT ETWA FOLGENDER BEZIEHUNG:

+ 1 % Luftporengehalt  $\rightarrow$  Reduktion der Druckfestigkeit  $f_c$  um bis zu 5 N/mm<sup>2</sup> Grundsätzlich ist die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton sehr anspruchsvoll und wird von vielen Faktoren beeinflusst:

- Verwendete Betonausgangsstoffe
- Konsistenz des Betons
- Mischzeit und -intensität
- Temperatur
- Verdichtungsart und -dauer

## CHEMISCHER ANGRIFF

Es gibt keinen chemischen Angriff auf Beton ohne Feuchtigkeit. Trockene feste oder trockene gasförmige Stoffe greifen den Beton nicht an. (Kondensfeuchtigkeit ist jedoch ausreichend). Je nach der Wirkungsweise der betonangreifenden Stoffe unterscheidet man treibende und lösende Angriffe.

**Treibender Angriff** wird in erster Linie durch in Wasser gelöste Sulfate hervorgerufen, die mit bestimmten Bestandteilen des Zementsteins reagieren. Hiermit verbunden ist eine Volumenvergrößerung, die ein Zertreiben des Betons bewirken kann.

**Lösender Angriff**, die Kalkverbindungen aus dem Zementstein herauslösen, können durch Säuren, austauschfähige Salze sowie durch pflanzliche und tierische Fette und Öle verursacht werden. Die Oberfläche des Betons wird dabei meistens langsam abgetragen.

## BEI CHEMISCHEM ANGRIFF

Der Schutz des Betons vor dem Angriff chemischer Stoffe von außen erfordert:

- Die Herstellung und Verarbeitung eines dichten Betons mit einem  $w/z_{eq}$ -Wert von 0,45 bis 0,50
- Eine erhöhte Überdeckung des Betons, ohne jede Ausnahme auch bei Scheinfugen, Fugen und Abtreppungen.



## Grenzwerte für Expositionsklasse XA

CHEMISCHES MERKMAL	XA1	XA2	XA3
<b>GRUNDWASSER</b>	<b>SCHWACH ANGREIFEND</b>	<b>MÄSSIG ANGREIFEND</b>	<b>STARK ANGREIFEND</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 6.000
pH-Wert	≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> [mg/l]	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis zur Sättigung
NH <sub>4</sub> [mg/l]	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	≥ 300 und ≤ 1.000	> 1.000 und ≤ 3.000	> 3.000 bis zur Sättigung
<b>BODEN</b>			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	≥ 2.000 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 12.000	> 12.000 und ≤ 24.000
Säuregrad	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	in der Praxis nicht anzutreffen



## WIRKUNG VERSCHIEDENER CHEMISCHER STOFFE

CHEMISCHER STOFF	UNBEWEHRTER BETON			BEWEHRTER BETON
	KEINE SCHÄDIGUNG	LÖSENDER ANGRIFF CHEM. ZERSETZUNG	TREIBENDER ANGRIFF GEFÜGEZERSTÖRUNG	BEWEHRUNGSKORROSION
<b>Basen (Laugen)</b>				
Schwache Basen	•			
Starke Basen	•			
<b>Starke Säuren</b>				
Mineralsäuren (Schwefel-, Salz-, Salpetersäure)		◆ ◆		■
Schwache Säure				■
Organische Säuren (Essig-, Milch-, Buttersäure)		◆		■
Kalklösende Kohlensäure		◆		■
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	•			■
<b>Salze</b>				
Ammonium-, Magnesiumsalze		◆		■
<b>Öle, Fette</b>				
Natürliche tierische und pflanzliche Öle und Fette		◆		
Synthet. Mineralöle und -fette	•			
<b>Sulfate</b>				
Gelöste Sulfate (Sulfatreiben)			◆	■
<b>Chloride</b>				
Gelöste Chloride	•			◆
<b>Wasser</b>				
Regenwasser, destilliert, entmineralisiert		◆		■
Weiche Wässer, kalkarm		◆		■
Saure Wässer (pH < 6,5)		◆		■

- keine Schädigung
- ◆ direkter Angriff
- Korrosion als Folge der oberflächlichen Zerstörung des Betons oder seiner bis zur Bewehrung vorgedrungenen Karbonatisierung

Die Abbildung zeigt, ob und wie verschiedene – häufig mit Beton in Berührung kommende chemische Stoffe – auf diesen einwirken. Bei der Festlegung des Betons nach EN 206-1 müssen die einwirkenden Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden.

### Verschleißbeanspruchung (XM) mechanischer Angriff

Verschleißbeanspruchung kann durch schleifenden und rollenden Verkehr (z.B. auf Fahrbahnen, Hallenböden), durch rutschendes Schüttgut (z.B. in Silos), durch stoßartige Bewegung von schweren Gegenständen (z.B. in Werkstätten, auf Verladerampen) oder durch stark strömendes und Feststoffe führendes Wasser (z.B. in Tosbecken, Geschieberinnen) hervorgerufen werden. Diese Beanspruchungen können bei Beton ohne ausreichenden Verschleißwiderstand zu einem Oberflächenabtrag oder auch zu örtlichen Vertiefungen an der Betonoberfläche führen.



## ALKALI-KIESELSÄUREREAKTION

Allgemein wird unter der Alkali-Kieselsäurereaktion eine Reaktion zwischen Bestandteilen der Gesteinskörnung und der Porenlösung des Betons verstanden.

Bestimmte Gesteinskörner sind aufgrund ihrer Zusammensetzung im alkalischen Milieu des Betons instabil. Die aus der expansiven Reaktion resultierende Dehnung des Betons kann zu Betonschäden führen. Die Alkali-Kieselsäurereaktion läuft praktisch in jedem Beton ab. Alle Gesteinstypen reagieren mehr oder weniger mit den Alkalien in der Porenlösung des Betons, wenn die drei folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Reaktive Gesteinskörnung
- Wirksamer Alkaligehalt
- Ausreichend Feuchtigkeit

### EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE SCHÄDIGENDE AAR

#### Betonzusammensetzung

- Zement
- Gesteinskörnung
- Zusatzstoff
- Zusatzmittel
- w/z-Wert

#### Bauwerk

- Lage und Orientierung
- Art der Konstruktion
- Bauteilgeometrie und -dicke

#### Umgebung

- Feuchtigkeit
- Temperatur
- Frost- und chemischer Angriff
- Externe Alkalienzufuhr

↓  
**Alkali-Kieselsäurereaktion**

### Äußere Erkennungsmerkmale am Bauwerk

- Polygonales Rissmuster (dm- bis m- Bereich)
- Feuchtigkeit entlang der Risse
- Gelagerungen (gelig und glasig) entlang der Risse
- Gewellte Struktur der Betonoberfläche
- Abplatzungen über Gesteinskörnern
- Fleckige Farbmusterung auf der Betonoberfläche
- Reaktionsränder um Gesteinskörner

### Innere Erkennungsmerkmale

Wichtige Hinweise über Schadensursachen im Beton geben mikroskopische Untersuchungen an Dünn- oder Anschliffen. Anhand von Veränderungen im Mikrogefüge des Betons, wie beispielsweise Rissen und Gelagerungen, kann eine schädigende AAR im Beton identifiziert werden. Zudem kann festgestellt werden, welche Gesteinstypen und Mineralien betroffen sind.

**EMPFEHLUNGEN FÜR GRENZWERTE FÜR BETONZUSAMMENSETZUNGEN LT. DIN 1045-2:**  
**TABELLE F.2.1 - GRENZWERTE FÜR ZUSAMMENSETZUNG UND EIGENSCHAFTEN VON BETON - TEIL 1**

Zeile	Expositionsklassen	KEIN KORROSIONS- ODER ANGRIFFS-RISIKO	BEWEHRUNGSKORROSION									
			DURCH KARBONATISIERUNG VERURSACHTE KORROSION				DURCH CHLORIDE VERURSACHTE KORROSION					
							CHLORIDE AUSSER AUS MEERWASSER			CHLORIDE AUS MEERWASSER		
		X0 <sup>a</sup>	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
1	Höchstzulässiger w/z	-		0,75	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45			
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>b</sup> C (N/mm <sup>2</sup> oder in MPa)	8/10		16/20	20/25	25/30	30/37 <sup>d</sup>	35/45 <sup>d,e</sup>	35/45 <sup>d</sup>			
3	Mindestzementgehalt <sup>c</sup> in kg/m <sup>3</sup>	-		240	260	280	300	320	320	Siehe XD1	Siehe XD2	Siehe XD3
4	Mindestzementgehalt <sup>c</sup> bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m <sup>3</sup>	-		240	240	270	270	270	270			
5	Mindestluftgehalt in %	-		-	-	-	-	-	-			
6	Andere Anforderungen	-										

- a Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.
- b Gilt nicht für Leichtbeton
- c Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.
- d Bei Verwendung von Luftporenbeton, z.B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger. In diesem Fall darf Fußnote e nicht angewendet werden.
- e Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen (r<0,30) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse nach 4.3.1 ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. In diesem Fall darf Fußnote d nicht angewendet werden.

**TABELLE F.2.2 - GRENZWERTE FÜR ZUSAMMENSETZUNG UND EIGENSCHAFTEN VON BETON - TEIL 2**

Zeile	Expositionsklassen	BETONKORROSION												
		FROSTANGRIFF				AGGRESSIVE CHEMISCHE UMGEBUNG			VERSCHLEISSBEANSPRUCHUNG <sup>h</sup>					
		XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3			
1	Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55 <sup>g</sup>	0,50 <sup>g</sup>	0,55	0,50	0,50 <sup>g</sup>	0,60	0,50	0,45	0,55	0,55	0,45	0,45
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>b</sup> C (N/mm <sup>2</sup> oder in MPa)	25/30	25/30	35/45 <sup>g</sup>	25/30	35/45 <sup>g</sup>	30/37	25/30	35/45 <sup>d,e</sup>	35/45 <sup>d</sup>	30/37 <sup>d</sup>	30/37 <sup>d</sup>	35/45 <sup>d</sup>	35/45 <sup>d</sup>
3	Mindestzementgehalt <sup>c</sup> in kg/m <sup>3</sup>	280	300	320	300	320	320	280	320	320	300 <sup>i</sup>	300 <sup>i</sup>	320 <sup>i</sup>	300 <sup>i</sup>
4	Mindestzementgehalt <sup>c</sup> bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m <sup>3</sup>	270	270 <sup>g</sup>	270 <sup>g</sup>	270	270	270 <sup>g</sup>	270	270	270	270	270	270	270
5	Mindestluftgehalt in %	-	f	-	f	-	f,j	-	-	-	-	-	-	-
6	Andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositionsklassen XF1 bis XF4					-	-	I	-	Oberflächenbehandlung des Betons <sup>k</sup>	-	Einstreuen von Hartstoffen nach DIN 1100	
		F <sub>4</sub>	MS <sub>25</sub>	F <sub>2</sub>	MS <sub>18</sub>									

- f Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm ≥ 5,5 % (Volumenanteil), 16 mm ≥ 4,5 % (Volumenanteil), 32 mm ≥ 4,0 % (Volumenanteil) und 63 mm ≥ 3,5 % (Volumenanteil) betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 % (Volumenanteil) unterschreiten.
- g Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den Wasserzementwert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht auf den Zementgehalt oder den w/z angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikatstaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.
- h Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 verwendet werden.
- i Höchstzementgehalt 360 kg/m<sup>3</sup>, jedoch nicht bei hochfesten Betonen.
- j Erdfeuchter Beton mit w/z ≤ 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.
- k Z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.
- l Schutzmaßnahmen siehe 5.3.2.



## GRÖSSTKORN

Das Größtkorn der Gesteinskörnung ( $D_{max}$ ) ist der Nennwert des Größtkorns der größten Korngruppe der Gesteinskörnung im Beton. Die Wahl des Größtkorns hängt von konstruktiven Randbedingungen des Bauteils sowie betontechnologischen Aspekten ab. Beton wird in der Regel mit folgendem Größtkorn hergestellt: 4, 8, 16 oder 32 mm, z.B.  $D_{max}$  8 mm

### LUFT- UND MINDESTZEMENTGEHALT

	NENNWERT DES GRÖSSTKORN [MM]					
	8	16	22,5	32	45	63
<b>MINDESTLUFTGEHALT [VOL.-%]</b>	4,0	3,5	3,3	3,0	2,5	2,0
<b>MINDESTZEMENTGEHALT [M.-%]; S. TAB. SEITE 32</b>	+ 15 %	+ 10 %	+ 5 %	0	- 5 %	- 10 %

Wenn vom ausschreibenden Beton ohne oder mit weniger künstlich eingeführter Luft bestellt wird, gelten bis auf den Mindestluftgehalt alle Anforderungen an die Betonzusammensetzung für die Expositionsklasse XF4. Der maximale Luftgehalt darf höchstens 4 % über den Mindestluftgehalt liegen.

### MEHLKORNANTEIL

	NENNWERT DES GRÖSSTKORN [MM]					
	8	16	22,5	32	45	63
<b>RICHTWERTE DES MEHLKORNGEHALTS [KG/M<sup>3</sup>]</b>	450	400	375	350	325	300

Ein ausreichender Gehalt an Mehlkorn (Zement, Zusatzstoff und Anteile der Gesteinskörnung  $d < 0,125$  mm) ist zu gewährleisten.



## CHLORIDGEHALTSKLASSEN

Chloride sind in geringen Mengen in den Betonausgangsstoffen enthalten und sind daher unvermeidbar. Sie werden im Allgemeinen als natürlicher Chloridgehalt des Betons bezeichnet.

### Zulässige Höchstwerte für Chloridgehalte der Betonausgangsstoffe

CHLORIDGEHALTSKLASSEN		
BETON-VERWENDUNG	KLASSE DES CHLORIDGEHALTES	HÖCHSTZULÄSSIGER CHLORIDGEHALT, BEZOGEN AUF DEN ZEMENT IN MASSENANTEILEN
Ohne Betonstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall (mit Ausnahme von korrosionsbeständigen Anschlagvorrichtungen)	CI 1,0	1,0 M-%
Mit Betonstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall	CI 0,20	0,20 M-%
Mit Spannstahlbewehrung	CI 0,10	0,10 M-%

Werden Zusatzstoffe des Typs II verwendet und für den Zementgehalt berücksichtigt, wird der Chloridgehalt als der Chloridionengehalt [bezogen auf den Zement im Massenanteil und der Gesamtmasse die für die Berechnung des Wasserzementwertes zu berücksichtigenden Zusatzstoffe (= Zementmasse + k-Wert x Zusatzstoffmasse)] bezeichnet.

## KONSISTENZKLASSEN

Die Konsistenz ist ein Maß für die Steifigkeit des Frischbetons und definiert seine Verarbeitbarkeit. Wenn die Konsistenz des Frischbetons nicht stimmt, hat der Beton im ausgehärteten Zustand nicht die gewünschten Eigenschaften – insbesondere nicht die geforderte Festigkeit.

Die Konsistenz wird in Ausbreitmaß-Klassen (F1 – 6), Verdichtungsmaß-Klassen (C0 – 4) und Setzfließmaßklasse (SF1-SF3) eingeteilt.

AUSBREITMASS		VERDICHTUNGSMASS		SETZMASS		SETZFLIESSMASS		KONSISTENZ BESCHREIBUNG
Klasse	Wert[mm]	Klasse	Wert	Klasse	Wert[mm]	Klasse	Wert[mm]	
		C0*	≥ 1,46					erdfeucht
F1*	≤ 340	C1	1,45 – 1,26	S1	10 – 40			steif
F2	350 – 410	C2	1,25 – 1,11	S2	50 – 90			plastisch
F3	420 – 480	C3	1,10 – 1,04	S3	100 – 150			weich
F4	490 – 550	C4*	< 1,04	S4	160 – 210			sehr weich
F5	560 – 620			S5*	≥ 220	SF1	550 - 650	fließfähig
F6*	≥ 630					SF2	660 - 750	sehr fließfähig
						SF3	760 - 850	
EN 12350-5		EN 12350-4		EN 12350-2		EN 12350-8		Prüfnorm

\* Auf Grund fehlender Empfindlichkeit der Prüfverfahren nicht zu empfehlen.  
Eine allgemein verbindliche Korrelation zwischen den Konsistenzklassen existiert nicht, jedoch hat die Praxis eine annähernde Gleichwertigkeit gezeigt.



## ROHDICHTE

Die Rohdichte, auch Raumgewicht genannt, ist die Dichte eines porösen Festkörpers, basierend auf dem Volumen inklusive der Porenräume. Die Rohdichte des Betons hängt vom Zuschlag ab. Entsprechend seiner Trockenrohddichte wird Beton als Normal-, Leicht- oder Schwerbeton definiert.

- Leichtbeton > 800–2.000 kg/m<sup>3</sup>
- Normalbeton > 2.000–2.600 kg/m<sup>3</sup>
- Schwerbeton > 2.600 kg/m<sup>3</sup>

### Beispiel für Betonbezeichnung bei Normalbeton lt. EN 206-1

<b>FESTIGKEIT</b>	C 25/30	$F_{ck,cube} > 30$ (N/mm <sup>2</sup> oder MPa) nach 28 d
<b>EXPOSITION</b>	XC4, XF3	Außenbauteile mit direkter Beregnung - Horizontale Betonplatte, die Regen und Frost ausgesetzt ist
<b>KONSISTENZ</b>	F3	Ausbreitmaß zwischen 420–480 mm
<b>CHLORIDGEHALT</b>	Cl 0.20	Stahlbetonarbeiten
<b>GRÖSSTKORN</b>	$D_{max} 8$	Maximaler Korndurchmesser = 8 mm
<b>SONSTIGES</b>	pumpbar	Falls Pumpbeton

# FRISCHBETONPRÜFUNG

Art und Umfang von Frisch- und Festbetonprüfungen auf der Baustelle sind nicht genormt. Diese sind vertraglich zu vereinbaren. Im Kontroll- bzw. Prüfplan ist daher vorab festzulegen, welche und wie viele Frisch- bzw. Festbetonkontrollen auf der Baustelle durchzuführen sind und wer die Prüfkosten trägt. Prüfumfang und Häufigkeit sind auf das notwendige Minimum zu begrenzen, das zur Gewährleistung von Qualität und gestellten Anforderungen ausreicht. So wenig wie möglich, aber so viele Prüfungen wie nötig.

## Frischbeton sollte immer geprüft werden, um kostengünstig qualitative Fragen zu klären

- Entspricht die Bestellung dem gelieferten Beton?
- Erfüllt der Beton die geforderten Eigenschaften?
- Muss die Rezeptur angepasst werden?



<b>EINZELPROBE</b>	Mit einem einzigen Schaufelstich entnommene Betonmenge	Einzelproben werden mit der Probenahmeschaufel dem Mischer oder der Betonmasse entnommen und in einem geeigneten Behälter aufbewahrt.
<b>STICHPROBE</b>	Anzahl Einzelproben, einem Teil der Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen	
<b>SAMMELPROBE</b>	Summe aller gleichmäßig über die Mischerfüllung oder die Betonmasse entnommener Einzelproben.	Bei Sammelproben sollen weder vom ersten noch letzten Teil der Betonlieferung Proben entnommen werden. Es sollen an mind. fünf in Bezug auf Tiefe und Ort unterschiedlichen Stellen Einzelproben entnommen werden. Diese lokal repräsentative Probenahme gilt auch bei der Entnahme aus frei fallenden Betonströmen.

Die Proben sind jederzeit gegen Verunreinigung, Wasseraufnahme bzw. -verlust und extreme Temperaturen zu schützen. Anhand des Probenahmeplans sind Stich- oder Sammelproben zu entnehmen. Die Gesamtmenge der Proben muss mindestens das 1,5-fache der für die Prüfungen gebrauchten Menge betragen.



## AUSBREITMASS F (F = FLOW TABLE TEST)

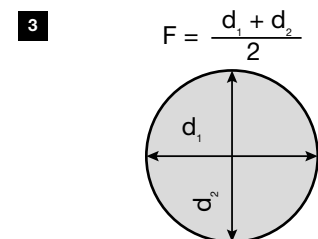
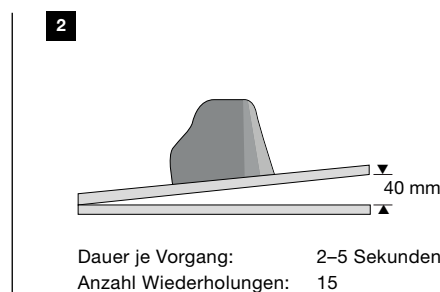
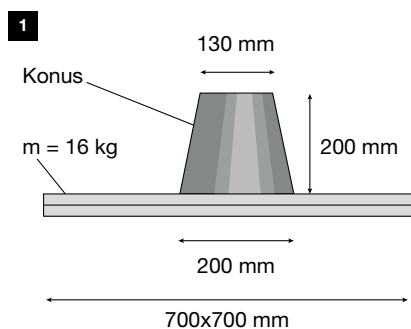
### Prüfeinrichtung

- **1** Ausbreittisch (eben und fest lagern)

### Prüfung

- Ausbreittisch und Konusinnenseite feucht abwischen
- Frischbeton mit Schaufel in zwei gleich hohen Lagen einfüllen
- Jede Lage mit 10 Stößen des Holzstampfers (40x40 mm) verdichten
- Abziehen der Betonoberfläche mit Stampfer sowie Reinigung der Tischplatte rund um den Konus
- 30 Sekunden warten und innerhalb 3–6 Sekunden Konus vertikal abheben
- **2** Tischplatte bis zum Anschlag heben und fallen lassen
- **3** Zwei zueinander senkrecht stehende Durchmesser  $d_1$  und  $d_2$  messen, Ausbreitmaß F bestimmen und auf die nächsten 10 mm aufrunden

Entsteht kein kompakter Kuchen oder liegen einzelne Körner neben dem Kuchen, ist die Prüfung zu wiederholen.



### Faustregel

ca. 12 kg Frischbeton

Ein um 10 mm größeres Ausbreitmaß F bedeutet:  
Wassergehalt = + 5 kg/m<sup>3</sup> →  $f_c$  = - 1 bis - 3 N/mm<sup>2</sup>





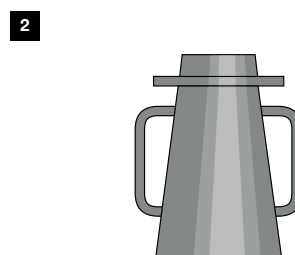
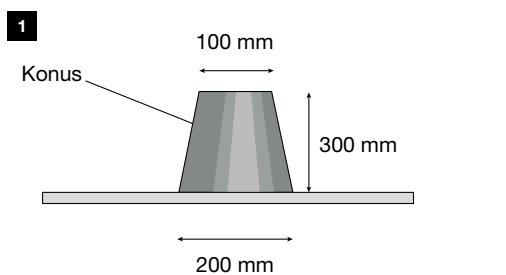
## SETZFLIESSMASS SF (SF = SLUMP FLOW)

### Prüfeinrichtung

- 1 Ausbreitplatte
- 2 Setzmaßtrichter mit oder ohne Kragen  
D = 100/200  
H = 300

### Prüfung

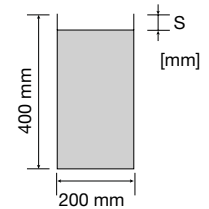
Wie Ausbreitmaß jedoch ohne zu klopfen und zu verdichten



## VERDICHUNGSMASSE C (C = COMPACTION TEST)

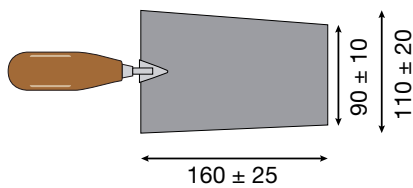
### Prüfeinrichtung

- Stabiler, prismatischer Behälter mit quadratischer Grundfläche von 200 mm und 400 mm Innenhöhe
- Kelle mit ebener Fläche
- Rütteltisch oder Innenvibrator mit einem Durchmesser von 25–40 mm



### Prüfung

- Behälter innen feucht abwischen und auf feste, ebene Unterlage stellen
- **1** Mit der Kelle abwechslungsweise über alle vier Kanten des Behälters Frischbeton lose einfüllen
- Den überstehenden Beton mit einem Lineal in einer Sägebewegung abstreichen (nicht verdichten)
- **2** Beton verdichten, bis keine Volumenverringering mehr festzustellen ist
- **3** Abstich in der Mitte der Seitenfläche auf 1 mm genau messen und Mittelwert  $s$  berechnen
- Das Verdichtungsmaß  $C$  ergibt sich wie folgt: 
$$C = \frac{400}{400 - s}$$



### Faustregel

ca. 40 kg Frischbeton

Ein um 0,1 kleineres Verdichtungsmaß  $C$  bedeutet:  
Wassergehalt = + 15 kg/m<sup>3</sup> →  $f_c$  = - 3 bis - 8 (N/mm<sup>2</sup> oder MPa)

## SETZMASS S (S = SLUMP TEST)

### Prüfeinrichtung

- Stabiler, 300 mm hoher Kegelstumpf mit einem unteren Innendurchmesser von 200 mm und einem oberen von 100 mm
- 600 mm langer Stahlstab mit abgerundeten Enden und einem Durchmesser von 16 mm
- Feste, ebene und nicht saugende Unterlage (z.B. Blech)

### Prüfung

- Die ganze Prüfung ist ohne Unterbrechung innerhalb von zweieinhalb Minuten auszuführen
- Innenfläche des Kegelstumpfs feucht abwischen
- **1** Frischbeton in drei gleich hohen Lagen einbringen, ohne den Kegelstumpf zu schieben
- **2** Jede Lage über ihre ganze Dicke (bis zur Oberfläche der tieferen Lage) mit 25 Stößen des Stahlstabes verdichten
- Den überstehenden Beton in einer Sägebewegung mit den Stahlstab abstreichen und Unterlage reinigen
- Kegelstumpf sorgfältig (ohne Drehen) senkrecht innerhalb 5 bis 10 Sekunden hochziehen
- **3** Messen der Setzung des Betons auf 10 mm genau
- Als Setzmaß S gilt die auf die nächsten 5 mm aufgerundete Setzung



**Zerfällt der Betonkegel, ist die Prüfung zu wiederholen.**

#### Faustregel

ca. 40 kg Frischbeton

Ein um 10 mm grösseres Setzmaß S bedeutet:

Wassergehalt = + 2 bis + 3 kg/m<sup>3</sup> →  $f_c$  = - 0,5 bis - 1,5 (N/mm<sup>2</sup> oder in MPa)

## TEMPERATUR

Die **Frischbetontemperatur** hat einen großen Einfluss auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften (Konsistenz, Erstarrungsbeginn, Festigkeitsentwicklung usw.) sowie die zu treffenden Nachbehandlungsmaßnahmen. Idealerweise sollte die Frischbetontemperatur zwischen 10° C und 25° C liegen. Beton lose einfüllen.



## LUFTGEHALT

Der **Luftgehalt** wird mit dem Luftporentopf gemessen

### Prüfeinrichtung

Zwischen einem mit Beton und einem mit Druckluft gefüllten Behälter wird ein Druckausgleich hergestellt. Der auf Grund der Luftporen im Beton resultierende Druckabfall lässt sich am Manometer des Luftporentopfs als Luftgehalt des Betons ablesen.

### Prüfung

- **1** Betonprobe in Behälter einfüllen und nach Vorschrift verdichten
- Deckel aufsetzen und festschrauben
- **2** Über eines der Ventile Wasser einfüllen, bis am anderen Ventil Wasser blasenfrei austritt
- Mit Luftpumpe Normdruck aufbringen
- Beide Ventile schließen und Daumenventil kurz betätigen, um Druckluft in den Topf zu lassen
- **3** Den Luftgehalt am Manometer auf 0,1 % genau ablesen

### Anwendungsbereich

Das beschriebene Verfahren gilt für Frischbeton mit normaler Gesteinskörnung und einem  $D_{\max}$  bis 63 mm. Nicht anwendbar ist das Verfahren für andere Gesteinskörnungen.



### Faustregel

Für 8 l Topf  
ca. 20 kg Frischbeton

Ein um 1 Volumenprozent höherer Luftgehalt bedeutet:  
 $f_c = - 2 \text{ bis } - 5 \text{ N/mm}^2$



## FRISCHBETONROHDICHTE

= **Masse** des verdichteten Frischbetons/Behältervolumens

### Prüfeinrichtung

- Wasserdichter Behälter mit ausreichender Biegesteifigkeit (beispielsweise Luftporentopf) mit einer glatten Innenfläche und einem glattgeschliffenen Rand. Rand und Boden müssen parallel verlaufen.
- Die kleinste Abmessung des Behälters muss mindestens das Vierfache der maximalen Nenngröße des Grobzuschlages im Beton betragen, darf jedoch nicht kleiner als 150 mm sein. Das Volumen muss mindestens 5 l betragen.

### Prüfung

- Gewicht des Behälters ( $m_1$ ) mit Waage (Genauigkeit auf 0,10 %) bestimmen. Betonprobe in Behälter einfüllen und nach Vorschrift verdichten.
- Den überstehenden Beton mit einem Lineal in einer Sägebewegung abstreichen
- Gefüllten Behälter ( $m_2$ ) abwägen (Genauigkeit auf 0,10 %) Bruttogewicht

**Frischbetonrohichte und Luftgehalt sind anhand der gleichen Probe zu ermitteln.**

**Die Berechnung der Dichte erfolgt nach folgender Gleichung:**

- D** Frischbetonrohichte;  $\text{kg/m}^3$
- $m_1$**  Masse des Behälters; kg
- $m_2$**  Masse des gefüllten Behälters; kg
- V** Volumen des Behälters;  $\text{m}^3$

$$D = \frac{m_1 - m_2}{V}$$





## WASSERGEHALT

w/z-Wert bzw. sofern zulässig des w/zeq Wertes  
w/b-Wert bzw. sofern zulässig des w/zeq Wertes

### Prüfeinrichtung

- Eine Frischbetonprobe wird gewogen und anschließend getrocknet, bis ihr Gewicht nicht mehr abnimmt. Aus der Differenz der beiden Messwerte ergibt sich der Wassergehalt des Frischbetons.

### Prüfung

- Frischbetonprobe (ca. 10 kg) entnehmen
- **1** Frischbeton mit Ablesegenauigkeit von 1 g wiegen:  $m_0$
- Trockene Probe (nach < 20 min) mit Ablesegenauigkeit von 1 g wiegen:  $m_1$
- 5 Minuten weiter trocknen und erneut wiegen:  $m_2$
- Falls  $m_1 - m_2 < 5$  g:  $m_2 = m_{tr}$   
Anderenfalls weitere 5 Minuten trocknen, bis die Differenz der letzten beiden Wiegungen < 5 g beträgt.

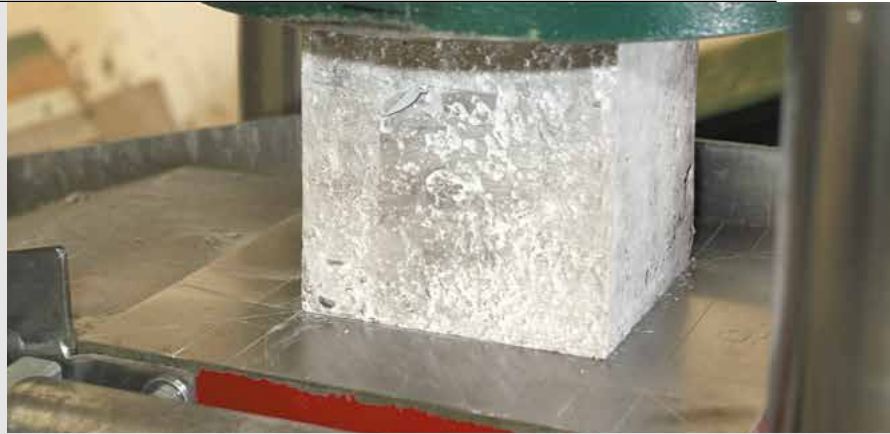
### Prüfergebnis (ca. 10 kg Frischbeton)

Der Wassergehalt der Frischbetonprobe errechnet sich mit Hilfe der Rohdichte des Frischbetons ( $\rho_o$ ) wie folgt:

$$W_o = \rho_o \cdot \frac{m_o - m_{tr}}{m_o} \quad \text{in kg/m}^3$$

Die Rohdichte ermittelt sich aus dem Verhältnis von Masse und Volumen der Betonprobe (z.B. Abwiegen der verdichteten Betonprobe im definierten Volumen des Luftporentopfs).

# FESTBETON- PRÜFUNG



## HERSTELLUNG UND LAGERUNG DER PRÜFKÖRPER FÜR FESTIGKEITSPRÜFUNGEN

### Prüfkörperherstellung

- Der Beton ist vor dem Einfüllen in die Prüfkörperform erneut zu mischen
- Das Einbringen muss mindestens in zwei Schichten < 100 mm erfolgen
- Der Beton ist mit einer Vibrationsnadel oder auf einem Rütteltisch zu verdichten

### Lagerung der Prüfkörper

- Die Prüfkörper sind mindestens 16 Stunden und höchstens 3 Tagen bei  $20 \pm 5 \text{ °C}$  in der Form zu belassen. Sie sind dabei gegen Stöße und Austrocknen (Sonne/Wind) zu schützen.
- Nach der Entnahme aus der Form sind die Prüfkörper bis zum Prüfbeginn unter Wasser oder in einer Feuchtkammer bei  $20 \pm 2 \text{ °C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $> 95 \%$  zu lagern.

## WÜRFELDRUCKFESTIGKEIT $f_c$

= maximale Kraft/belastete Fläche ( $\text{N/mm}^2$  oder MPa)

Am vorgängig hergestellten Würfel werden die Druckfestigkeiten zu verschiedenen Zeitpunkten, die Dichte und - nach Bedarf - weitere Eigenschaften erhoben.

### Prinzip

- In einer Druckprüfmaschine werden die Prüfkörper bis zum Bruch belastet. Aus der erzielten Höchstlast errechnet sich die Druckfestigkeit.

### Prüfung

- Die Prüfkörper müssen würfel- oder zylinderförmig sein
- Die Probeoberfläche ist von überschüssiger Feuchtigkeit zu befreien
- Die Prüfkörper sind normkonform zu lagern
- Die Prüflast ist erschütterungsfrei und gleichmäßig aufzubringen
- Die Prüflast wird stetig um 0,2 bis 1,0 ( $\text{N/mm}^2$  oder in MPa) gesteigert
- Aus der Prüflast in kN errechnet sich die Würfel- bzw. Zylinderdruckfestigkeit
- Der Bruchtyp muss anhand von Bildern beurteilt werden. Ungewöhnliche Bruchbilder sind zu dokumentieren.

### Anmerkung

Wird die Betondruckfestigkeit im Rahmen einer Konformitätskontrolle erhoben, erfolgt die Auswertung der Ergebnisse gemäß EN 206-1, Ziffer 8.2.1.2. Wird die Betondruckfestigkeit im Zuge einer Identitätsprüfung untersucht, gelten die Vorgaben gemäß EN 206-1, Anhang B.



KURZBESCHREIBUNG		ANFORDERUNGEN, HINWEISE
<b>BOHRKERNDRUCK-FESTIGKEIT</b>	= maximale Kraft/belastete Fläche (N/mm <sup>2</sup> )	Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton
<b>WASSEREINDRING-TIEFE UNTER DRUCK</b>	Wasser wird unter Druck (5 ± 0,5) bar für (72 ± 2) h auf die Oberseite des Prüfkörpers aufgebracht. Der Prüfkörper wird gespalten und der Verlauf der Wassereindringtiefe bestimmt.	Richtwert: Bei einer maximalen Eindringtiefe von < 50 mm gilt der Beton als wasserdicht. Anzahl der Prüfkörper und max. Wassereindringtiefe sind zu vereinbaren.
<b>CHLORIDGEHALT</b>	Quantitative Bestimmung des Chloridgehaltes. Rechnerische Bestimmung aus den Ausgangsstoffen Gesteinkörnung, Zement, Wasser, Zusatzmittel und Zusatzstoffe	Zuordnung des Betons in die Chloridklassen gemäss EN 206-1
<b>WASSERLEITFÄHIG-KEIT, QW</b>	Durch ein spezielles Tränk- und Trockenverfahren werden die Wasserleitfähigkeit q <sub>w</sub> , die füllbaren Poren und die Gesamtporosität bestimmt. $q_w = g/(m^2 \times h)$ ist die Wassermenge, die von einem Bauteil von 20 mm Dicke pro Sekunde und m <sup>2</sup> aufgenommen wird.	In der Regel gewährleistet ein Beton mit $q_w < 10 \text{ g}/(m^2 \times h)$ bei nicht drückendem Wasser und einer Lufttemperatur im Raum von > 15° C trockene Innenwände und wird als wasserdicht beurteilt.
<b>CHLORIDWIDER-STAND</b>	Chloridionen werden durch Anlegen einer Spannung in wassergesättigte Prüfkörper eingetragen. Am gespaltenen Prüfkörper wird die Eindringtiefe der Chloridionen bestimmt. Daraus, sowie aus weiteren Parametern, wird der Chloridmigrationskoeffizient DCI in m <sup>2</sup> /s berechnet.	
<b>FROSTAUSALZ-WIDERSTAND</b>	Aufbringen einer Wasserlösung auf die Oberfläche. 28 Frost-/Tauzyklen durchführen. Abgelöste Betonmenge nach 7, 14 und 28 Zyklen bestimmen. m = abgelöste Betonmenge nach 28 Zyklen in g/m <sup>2</sup>	Hoher Frost- und Tausalzwiderstand $m < 200 \text{ g}/m^2$ oder $200 \text{ g}/m^2 < m < 600 \text{ g}/m^2$ , wenn die Ablösungsmenge in den zweiten 14 Frostwechseln kleiner als in den ersten 14 Frostwechseln ist. Tiefer Frost- und Tausalzwiderstand $m > 3.800 \text{ g}/m^2$
<b>SULFATWIDERSTAND</b>	Prüfkörper werden wechselnd getrocknet und in einer sulfathaltigen Lösung gelagert. Eindringendes Sulfat kann mit Bestandteilen des Prüfkörpers reagieren und eine Volumenänderung bewirken. Berechnung der Sulfatdehnung $\Delta l$	Als Richtwert für Beton mit hohem Sulfatwiderstand gilt ein Serienmittelwert von $\Delta l < 0,5 \%$ .
<b>SCHWINDEN UND KRIECHEN</b>	Messen der Längenänderung an unbelasteten (Schwinden) bzw. belasteten (Kriechen) Prüfkörpern und Berechnung der Schwindmaße $\epsilon_{CS}$ (%) bzw. des Kriechmaßes $\epsilon_{CC}$ (%).	
<b>ELASTIZITÄTSMODUL</b>	Kennwert für das elastische Verformungsverhalten des Betons. Das E-Modul gibt das Verhältnis der Spannung $\sigma$ zur zugehörigen, elastischen Dehnung $\epsilon$ an. $E = \sigma / \epsilon$ (N/mm <sup>2</sup> )	Das E-Modul wird im 3. Belastungszyklus bestimmt. $d = \frac{\text{Massenverlust}}{\text{Rohdichte} \times \text{Fläche}}$
<b>FROSTBESTÄNDIG-KEIT</b>	Berechnung der Frostbeständigkeit FS des Festbetons mit Porenkennwerten aus der Prüfung der Wasserleitfähigkeit.	FS > 1,5 hohe Frostbeständigkeit FS < 1,0 tiefe Frostbeständigkeit
<b>ABRIEBVERHALTEN</b>	Der Gewichtsverlust beim definierten Abschleifen des Betonprüfkörpers wird bestimmt. Abtrag d in mm wird berechnet	
<b>FROSTWECHSEL-VERHALTEN N50</b>	Die Prüfkörper werden Frost- und Tauzyklen unterworfen. Das E-Modul wird periodisch gemessen N50 = Anzahl der Zyklen, bei 50 % E-Modul-Abfall	N50 > 100 hohe Frostbeständigkeit N50 < 20 geringe Frostbeständigkeit
<b>ARBEITSVERMÖGEN AN QUADRATPLATTEN (STAHLFASERBETON)</b>	Bestimmung der wirksamen Biegezugfestigkeit $f_{ctf}$ und Rechenwert der Bruchenergie G <sub>f</sub> .	Bruchenergie G <sub>f</sub> > 4.000 N/m, so gilt die Prüfung als erfüllt.
<b>STAHLFASERGEHALT AUS BETONPROBEN</b>	Zertrümmerung des Betons und Herausfiltern der Stahlfasern mittels Magnet.	Je nach Anforderung im Allgemeinen zwischen 20–40 kg/m <sup>3</sup> .





## BETONSCHUTZ

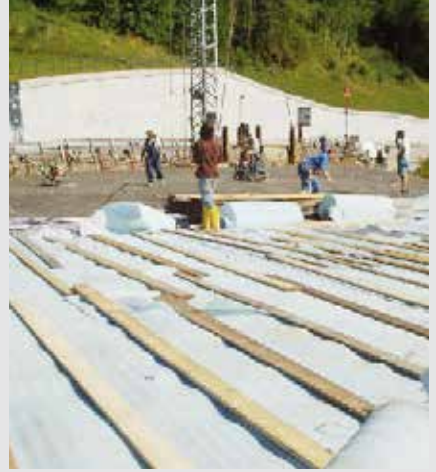
# GUTE UND SCHLECHTE POREN

**Poron im Beton** sind nicht gleich. Es gibt "gute" und "schlechte" Poren. Die "guten Poren sind die Gelporen und die Luftporen. Die Gelporen sind für den hohen pH-Wert verantwortlich und die Luftporen sind für die Frostbeständigkeit zuständig. Über die "schlechten" Poren (Kapillarporen) gelangen die Schadstoffe in den Beton und verursachen Beton- bzw. Bewehrungskorrosion. Verdichtungsporen entstehen durch den Einbau und können durch Verdichten nicht 100%ig eliminiert werden.

PORENADIUS	PORENART	ENTSTEHUNG	AUSWIRKUNGEN
> 1 mm	Verdichtungsporen Lunker (natürliche Luftporen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Während Einbringung</li> <li>Verdichtungsart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Einfluss auf</li> <li>Wassertransport</li> <li>Großer Einfluss auf Gastransport</li> </ul>
20 µm - 1 mm	Luftporen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Während Betonherstellung (Gehalt wird durch Zusatzmittel verändert)</li> <li>Kugelförmige Art</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Einfluss auf Wassertransport</li> <li>Großer Einfluss auf den Frost- und Frosttausalz-Widerstand, die Festigkeit</li> <li>Luftgefüllt</li> </ul>
0,05 µm - 20 µm	Kapillarporen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Während der Hydratation des Zementleims</li> <li>Volumen wird durch w/z beeinflusst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Großer Einfluss auf Wasser- und Gastransport</li> <li>Teilweise wassergefüllt (Kapillarwirkung)</li> <li>Großer Einfluss auf den Frost- und Frosttausalz-Widerstand, auf die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit</li> </ul>
0,05 µm	Gelporen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohlräume zwischen den Kristalliten des Zements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleiner Einfluss auf Wasser- und Gastransport</li> <li>Wassergefüllt (Adsorption)</li> </ul>

# NACHBEHANDLUNG

**Für die Dauerhaftigkeit** ist ein dichter Beton nötig. Dies betrifft vor allem die Betonrandzone (Bewehrungsüberdeckung), welche die Bewehrung schützt. Die Nachbehandlung hat das Ziel, den jungen Beton der Randzone vor Wasserverlust, Temperatureinwirkungen oder anderen schädlichen Einflüssen zu schützen.



## Die Nachbehandlung soll Schutz bieten vor

- Austrocknung durch Sonne, Wind und trockener Luft (auch im Winter)
- Großen Temperaturdifferenzen zwischen Betonkern und Betonoberfläche
- Hitze und Kälte sowie vor Temperaturwechsel
- Niederschlägen (Regen und Schnee)

## Zweckmäßige Verfahren für die Nachbehandlung

- Beton in der Schalung belassen
- Abdecken mit Folie (bei Sichtbeton Folie nicht direkt auf Beton legen)
- Aufsprühen eines Nachbehandlungsmittels (nicht geeignet, wenn anschließend ein Oberflächenschutzsystem aufgebracht werden soll, außer Beides ist aufeinander abgestimmt)
- Auflegen von feuchten Abdeckungen (ständig feucht halten oder zusätzlich mit Folie abdecken)
- Bei Temperaturen von 0 °C-10 °C Folien und Wärmedämm-Matten
- Bei Temperaturen von < 0 °C wie oben, zusätzlich Bauteil beheizen, so dass Betontemperatur ca. 10 °C beträgt



**Faustregel:** Dauer der Nachbehandlung mindestens 7 Tage

## Fehlende Nachbehandlung

Werden Nachbehandlungsmaßnahmen unterlassen oder setzen sie zu spät ein, sind die möglichen Folgen:

- Geringere Festigkeit des Randbetons
- Höhere Porosität des Randbetons und damit geringere Dauerhaftigkeit
- Fröhschwindrisse
- Kleinere Abriebfestigkeit, chemische Beständigkeit und Dichte
- Betonoberfläche sandet ab
- Beton gefriert und wird zerstört (Druckfestigkeit erholt sich nicht mehr)



## BETONIEREN BEI KALTEM WETTER

**Auch bei kaltem** Wetter kann betoniert werden, wenn notwendige Vorkehrungen getroffen werden.

### Maßnahmen bei Betonherstellung

- Anhebung des Zementgehalts und/oder Verwendung von Zement mit höherer Wärmeentwicklung bei sonst gleichen Ausgangsstoffen
- Herabsetzen des W/B-Werts durch Einsatz eines Fließmittels (FM)
- Beschleunigung der Festigkeitsentwicklung durch den Einsatz eines chlorid-freien Erhärtungsbeschleunigers, beispielsweise ein Frostschutzprodukt (HBE)
- Verlängerung der Ausschulfristen und der Nachbehandlungsdauer
- Verwendung von Materialien mit erhöhten thermischen Isolationseigenschaften für die Schalung (z.B. Holz) und für die Nachbehandlung (z.B. Thermomatten)
- Anhebung der Frischbetontemperatur durch gezielte Erwärmung des Zugabewassers und/oder Erwärmen der Gesteinskörnung
- Bauteil oder ganzes Gebäude vor Wärmeverlust und Luftzug schützen
- Junger Beton ist vor Frost zu schützen. Die Gefrierbeständigkeit des jungen Betons ist dann erreicht, wenn er eine Druckfestigkeit von 5 N/mm<sup>2</sup> aufweist.

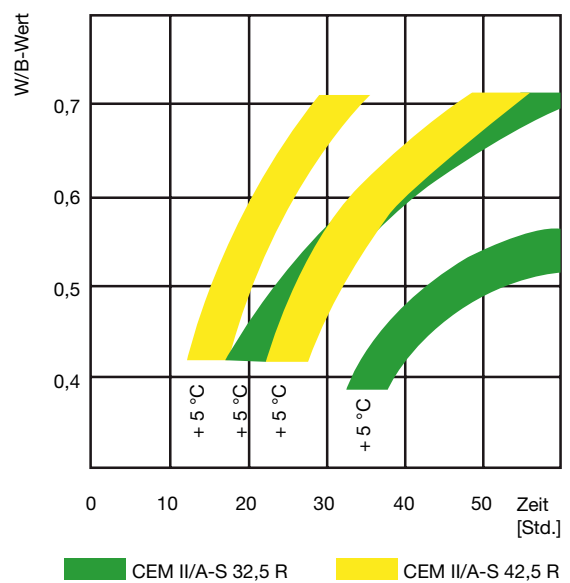
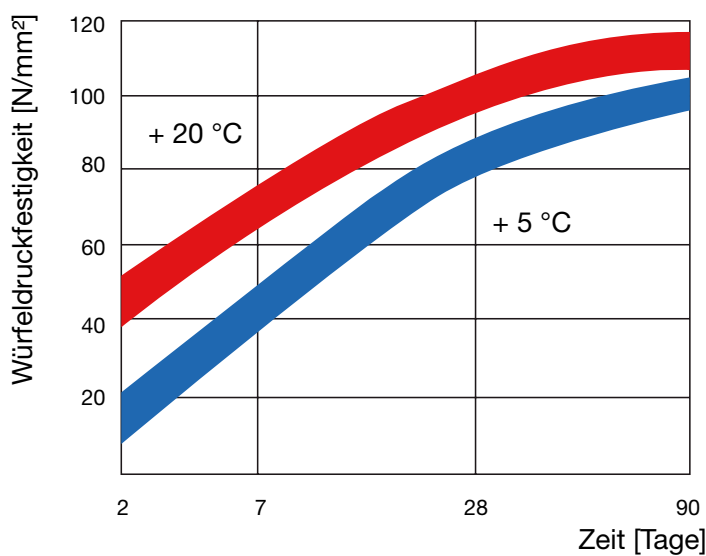
### Einbringen und Verdichten

- Auf gefrorenem Baugrund darf nicht betoniert werden, ebenso wenig auf gefrorenen Bauteilen
- Schalungsflächen und Bewehrungen frei halten von Eis und Schnee, jedoch nie mit Wasser, sondern durch Wärmebehandlung
- Der vorgewärmte Beton muss zügig in die von Schnee und Eis befreite Schalung eingebaut und sofort verdichtet werden
- Den jungen Beton nach Möglichkeit vor Wärmeentzug durch die Transportgeräte zur und auf der Baustelle schützen. Nach Möglichkeit keine Förderbänder verwenden.
- Im eingebrachten Beton sind Vorkehrungen zu treffen, um die Betontemperatur laufend messen zu können
- Beim Einbringen und während der Verarbeitung darf ohne besondere Maßnahmen der Frischbeton nicht kälter als + 5 °C sein
- Bei Betonoberflächen mit erhöhten Anforderungen wird empfohlen, die Frischbetontemperatur auf + 10 °C zu erhöhen. Das Anmachwasser und die Gesteinskörnung sind gegebenenfalls vorzuwärmen.



### Nachbehandlung

- Bei kalten Temperaturen muss der Beton unmittelbar nach dem Einbringen vor Wärmeentzug geschützt werden. Dazu eignet sich das Abdecken mit Thermomatten.
- Kann die Thermomatte nicht direkt auf die Betonoberfläche gelegt werden, ist der Beton vor Zugluft zu schützen
- Während der Erhärtungszeit muss der Beton nicht nur vor Wärme-, sondern auch vor Feuchtigkeitsverlust geschützt werden, da bei kaltem und/oder trockenem Wetter der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sehr gering ist.
- Art und Dauer der Nachbehandlung hängen ab von den Witterungsbedingungen, dem verwendeten Zement sowie der Geometrie der Bauteile
- Bauteil oder ganzes Gebäude während einiger Stunden oder Tage thermisch nachbehandeln – durch Heizen und Einhausen – bis die Gefrierbeständigkeit erreicht ist.



Festigkeitsentwicklung von Beton (mit CEM I 42,5 N) in Abhängigkeit der Betontemperatur

Erforderliche Zeit zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit des Betons. (Betondruckfestigkeit > 5 N/mm<sup>2</sup> in Abhängigkeit vom w/z-Wert bei verschiedenen Betontemperaturen und Zementarten)

### Frischbetontemperatur

Die gewünschte Frischbetontemperatur lässt sich durch Erwärmen der Ausgangsstoffe erreichen.

<b>VEREINFACHTE FORMEL FÜR DIE MISCHTEMPERATUR</b>	$T_b = 0,7 \times T_g + 0,2 \times T_w + 0,1 \times T_z$	Tb = Betontemperatur °C Tg = Temperatur der Gesteinskörnung in °C Tw = Wassertemperatur in °C Tz = Zementtemperatur in °C
--	--	--

### BEISPIEL

<b>VORGABEN</b>	Temperatur der Gesteinskörnung Wassertemperatur Zementtemperatur	Tg = 8 °C Tw = 10 °C Tz = 50 °C
<b>GESUCHT</b>	Betontemperatur Tb	
<b>LÖSUNG</b>	$T_b = 0,7 \times 8 + 0,2 \times 10 + 0,1 \times 50 = 12,6 \text{ °C}$ Betontemperatur	





## BETONIEREN BEI HEISSEM WETTER ODER STARKEM WIND

---

**Auch bei kaltem** Wetter kann betoniert werden, wenn notwendige Vorkehrungen getroffen werden.

### Maßnahmen bei Betonherstellung

- Die Frischbetonmengen müssen auf die Lieferintervalle und die Einbauleistungen abgestimmt werden. Es dürfen keine zeitlichen Verzögerungen entstehen.
- Die kühleren Tageszeiten sollen zum Betonieren genutzt werden und die Einbaustelle sollte nach Möglichkeit beschattet werden
- Genügend Personal einplanen
- Die Geräte für den Einbau sowie das Material für die Nachbehandlung müssen überprüft sein und bereit stehen
- Vor Einbaubeginn sollte die Bewehrung, Schalung oder der Untergrund vorgehäst werden. Entstehende Wasserpfützen sind zu beseitigen.

### Einbringen und Verdichten

- Lange Transport- und Liegezeiten des Betons vermeiden
- Rasches Entladen, Verarbeiten und Verdichten sind oberstes Gebot
- Bei Verzögerungen und längeren Standzeiten muss das Lieferwerk sofort benachrichtigt werden
- Angesteiften Beton nicht mehr einbringen
- Mit Zwischenbehandlungsmittel Arbeiten und nach Herstellerangaben verarbeiten und aufbringen

### Nachbehandlung

- Der Frischbeton muss unbedingt feucht gehalten werden. Als Schutz vor Wind und Regen muss der Frischbeton mit Folien oder feuchten Matten abgedeckt werden
- Flüssiges Nachbehandlungsmittel aufbringen
- Beton andauernd mit Wasser besprühen (Sprühnebel, nicht mit dem Wasserschlauch punktuell bewässern)
- Nicht zu früh ausschalen
- Wände schützen

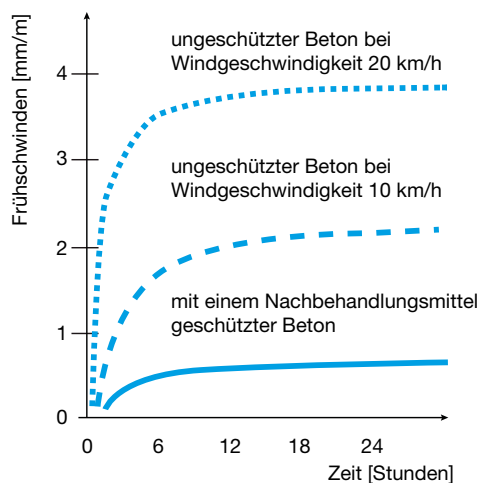
### Austrocknungsgeschwindigkeit

Die Austrocknungsgeschwindigkeit ist abhängig von der:

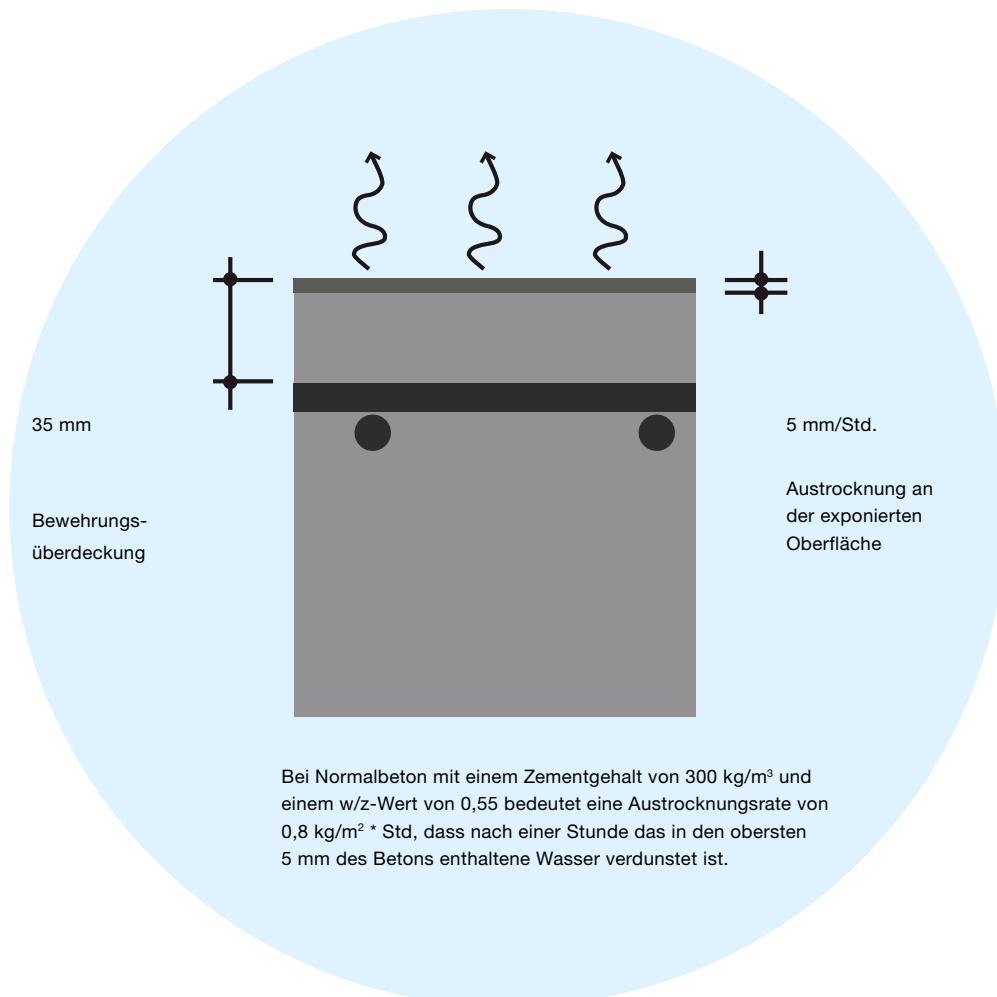
- Lufttemperatur
- Betontemperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Windgeschwindigkeit

### Frühschwinden

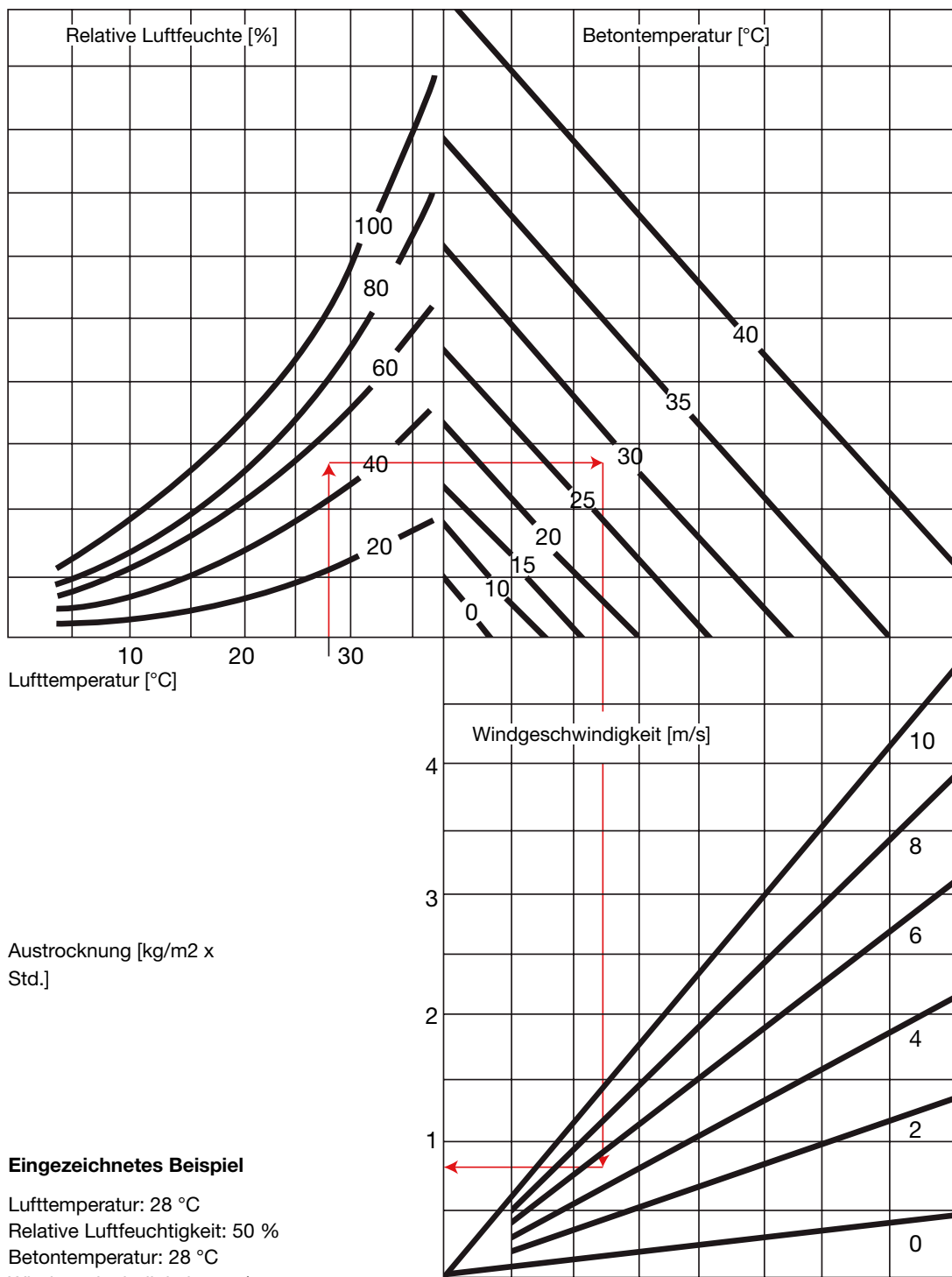
Frühschwinden als Folge mangelhafter Nachbehandlung bei extremen Witterungsbedingungen. Das Frühschwinden entwickelt sich hauptsächlich während der ersten Stunden und hängt von den vorhandenen Umweltbedingungen ab. Deshalb sind rasche Nachbehandlungsmaßnahmen notwendig.



### Diagramm zum Abschätzen der Austrocknungsrate an offen liegenden Betonflächen



**Diagramm zum Abschätzen der Austrocknungsrate an  
offen liegenden Betonflächen**



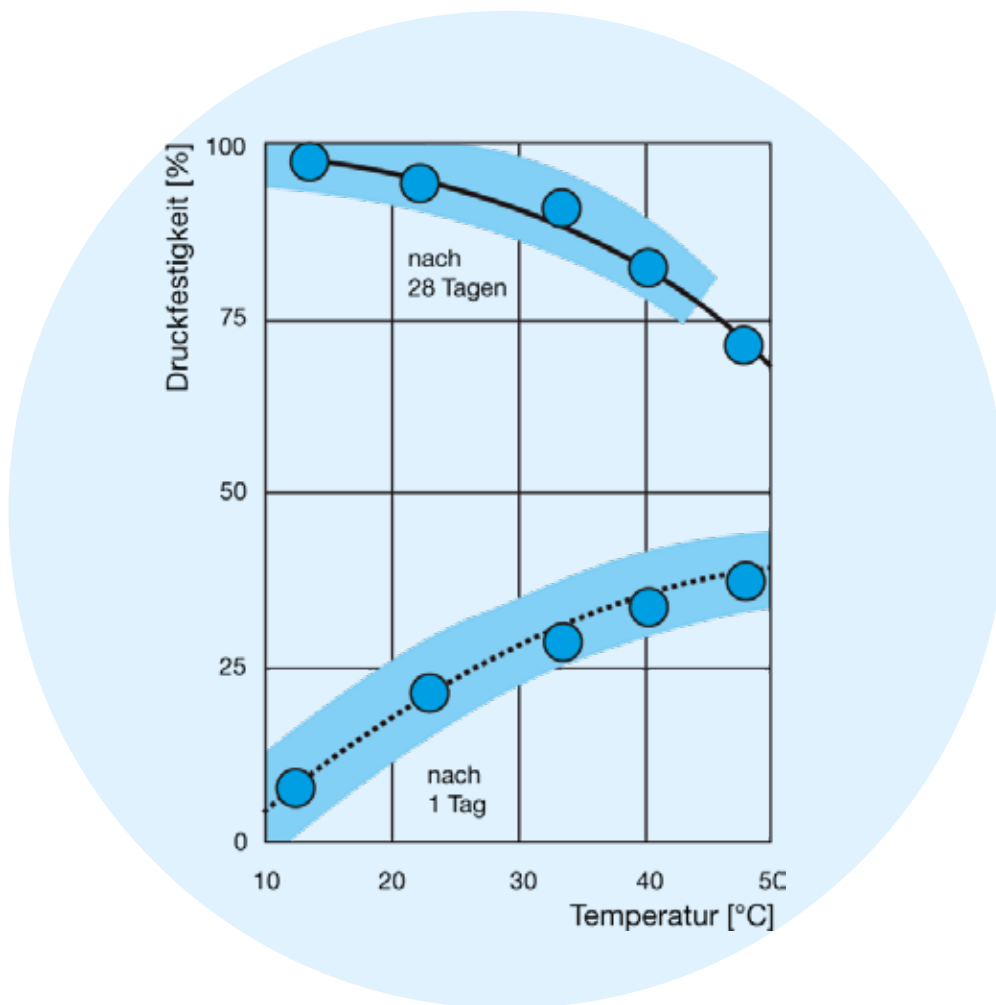
Austrocknung [kg/m<sup>2</sup> x Std.]

**Eingezeichnetes Beispiel**

Lufttemperatur: 28 °C  
 Relative Luftfeuchtigkeit: 50 %  
 Betontemperatur: 28 °C  
 Windgeschwindigkeit: 5 m/s

**Ergebnis**

Austrocknungsrate: 0,80 kg/m<sup>2</sup> \* h



Die im Allgemeinen höhere Betontemperatur bewirkt eine schnellere Zementhydratation.

Diese führt zu einer höheren Frühfestigkeit, da sich gegenüber niedrigeren Temperaturen rascher Zementhydratkristalle bilden, die allerdings kleiner sind.

Kleinere Kristalle können sich weniger intensiv verfilzen als größere. Es stellt sich eine höhere Porosität ein. Dies beeinflusst die Endfestigkeit des Betons



# BETONANWENDUNGEN

## SICHTBETON

**Unter Sichtbeton** werden im Allgemeinen Betonflächen verstanden, die für den Betrachter als Oberfläche sichtbar bleiben und an die hinsichtlich des Aussehens besondere Anforderungen gestellt werden.

Im Wesentlichen unterscheidet man bei der Erstellung von Sichtbetonflächen zwischen den Oberflächen, bei denen die Schalung als Gestaltungselement benutzt wird und Betonflächen, die nachträglich bearbeitet werden. In beiden Fällen kann die Farbe als weiteres gestalterisches Merkmal eingesetzt werden.

### Grundsätzlich sind beim Einsatz von Sichtbeton folgende Kriterien zu beachten

- Genaue Leistungsbeschreibung
- Schalungstruktur
- Materialauswahl – Farbgebung
- Bearbeitung der Betonoberfläche
- Erprobungs- und Referenzflächen
- Konstruktive Gestaltung

### Folgende Parameter beeinflussen die Qualität der Sichtbeton-Oberfläche

- Gleichmäßiger w/z-Wert → gleichmäßige Grautönung
- Alle Holzschalungen sollten gleich stark saugend sein, um eine gleiche Farbe der Oberfläche zu erzielen
- Überschüssiges Trennmittel auf der Schalung entfernen (Zementgehalt  $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ )
- Sorgfältiges Vibrieren ergibt eine gute Oberfläche
- Ausreichend hoher Mehlkornanteil (Zement, Zusatzstoffe und Anteile der Gesteinskörnung  $< 0,125 \text{ mm}$ )
- Kornzusammensetzung entspricht einer stetigen Kurve und ist im oberen Bereich der Kurve anzusetzen
- Gleichmäßige Betonzusammensetzung, gegebenenfalls unter Verwendung eines verflüssigenden Zusatzmittels
- Zementgehalt mind.  $350 \text{ kg/m}^3$
- w/z-Wert kleiner 0,50 und möglichst konstant (Abweichungen bewirken erkennbare Farbunterschiede an der Betonoberfläche)
- Ausreichender Zusammenhalt (kein Entmischen) und ausreichendes Wasserrückhaltevermögen (kein Bluten) des Frischbetons
- Die richtige Konsistenz ist eine wichtige Voraussetzung



## SELBSTVERDICHTENDER BETON SVB (SELF COMPACTING CONCRETE SCC)

SVB ist ein Beton, der trotz niedrigem w/z-Wert so fließfähig ist, dass er selbst fließt, sich ohne Vibrationsarbeit verdichtet und dabei keine Entmischung aufweist.



Stoffraum in dm <sup>3</sup>	FM	Luft	8,5 kg/m <sup>3</sup>
182 kg/m <sup>3</sup>	Wasser		175 kg/m <sup>3</sup>
545 kg/m <sup>3</sup> 30 %	Zuschlag 8/16		376 kg/m <sup>3</sup> 21 %
725 kg/m <sup>3</sup> 40 %	Zuschlag 2/8		376 kg/m <sup>3</sup> 21 %
545 kg/m <sup>3</sup> 30 %	Zuschlag 0/2		749 kg/m <sup>3</sup> 42 %
	Sand		297 kg/m <sup>3</sup> 16 %
	Gst-Mehl		297 kg/m <sup>3</sup> 16 %
330 kg/m <sup>3</sup>			330 kg/m <sup>3</sup>

### Vorteile von SCC sind

- Höhere Einbauleistung
- Geringerer Lärm beim Einbauen
- Freiere Formgebung
- Schlankere Bauteile
- Höhere Dauerhaftigkeit
- Weniger Nacharbeiten
- Leichteres Betonieren
- Größere Etappen
- Weniger Personal
- Keine Gesundheitsschäden aus Vibrationsbelastungen

## PUMPBETON

Pumpbeton kann praktisch für alle Bauteile eingesetzt werden und eignet sich besonders, wenn der Einbringungsort schwer zugänglich ist.

### Folgende Voraussetzungen sind erforderlich

- Größtkorn < 1/3 der Rohrleitung
- Eher eine sandige Kornzusammensetzung
- Korngruppe 4–8 mm weglassen, andernfalls diesen Anteil am Korngemisch auf 20 % begrenzen
- Mehlkornanteil: Zement + Kornanteil bis 0,125 mm + ggf. Zusatzstoffe bei Größtkorn von 16 mm etwa 450 kg/m<sup>3</sup>
- Konsistenz in der Regel: F3 (420–480 mm) C3 (1,10–1,04)  
Je nach innerem Zusammenhalt des Betons und der Förderhöhe ist die Konsistenz anzupassen.
- Zu beachten ist auch die maximale Pumplänge des Materials

## ABRIEBFESTER BETON

Abriebfester Beton ist gegenüber mechanischer Beanspruchung – insbesondere Reibung – widerstandsfähig.

### Folgende Voraussetzungen sind erforderlich

- Dichter Beton mit w/z-Wert von 0,40 bis 0,50
- Abriebfeste Gesteinskörnungen verwenden (Hartgesteine)





## FASERBETON

**Faserbeton ist Beton**, dem zur Verbesserung seiner Eigenschaften spezielle Fasern (Stahl, Kunststoff oder alkalibeständiges Glas) zugegeben werden. Dies führt unter anderem zur Verbesserung der Zugfestigkeit (Nachrisszugfestigkeit) und der Duktilität und damit des Bruch- und Rissverhaltens.

### Stahlfasern

- Bodenplatten, Industrieböden (fugenlos)
- Verkehrsflächen, Bushaltestellen
- Fertigteilelemente, Tübinge
- Felssicherung im Untertagebau

### Kunststofffasern

- Feuerbeständiger Beton
- Bodenplatten
- Mörtel für Unterlagsböden
- Schutzmörtel

### Vorteile

- Risse werden durch die Fasern verteilt → viele kleine Risse anstatt weniger großer
- Stahlfasern können bei gewissen Anwendungen die Bewehrung ganz oder auch teilweise ersetzen
- Kunststofffasern werden zusätzlich zur Bewehrung eingesetzt (Rissverteilung)
- Durch die Fasern bekommt der Beton zähe Eigenschaften, sein Arbeitsvermögen, (Lastaufnahme, auch nach dem Auftreten eines Risses) wird vergrößert

### Nachteile

- Konsistenz wird durch Fasern eventuell steifer. Dies ist bei der Rezeptur zu berücksichtigen.

## FEUERBESTÄNDIGER BETON

**Beton brennt** nicht und bietet einen Schutz gegen Feuer und hohe Temperaturen. Bei lang andauernder Feuereinwirkung kommt es zu Abplatzungen.

### Feuerbeständigkeit kann durch folgende Maßnahmen erhöht werden

- Zugabe von Kunststofffasern. Diese zerschmelzen bei Feuereinwirkung und hinterlassen Hohlräume, so dass sich der Dampfdruck abbauen kann.
- Feuerbeständige Gesteinskörnungen (Blähton, Blähschiefer, Basalt, Schamotte, etc.) anstelle der karbonatischen oder quarzhaltigen Gesteinskörnungen verwenden.
- Je höher die Festigkeit im Beton, desto schlimmer die Schäden bei einem Feuer, ein Feuchtigkeitsgehalt von < 2 % gilt als unkritisch.



# SPRITZBETON

**Spritzbeton ist ein Beton**, der in einer geschlossenen Rohr-/Schlauchleitung zur Einbaustelle gefördert, dort aus einer Spritzdüse pneumatisch aufgetragen und durch die Aufprallenergie verdichtet wird. Beim Auftreffen an der Auftragsfläche prallt ein Teil des Spritzguts, das Rückprallgut, zurück.

Grundsätzlich wird zwischen Trocken- und Nassspritzverfahren unterschieden. Beim **Trockenspritzverfahren** wird ein sogenanntes Trockengemisch im Dünnstromverfahren gefördert, dem erst an der Spritzdüse das Zugabewasser mit oder ohne Beschleuniger zugegeben wird.

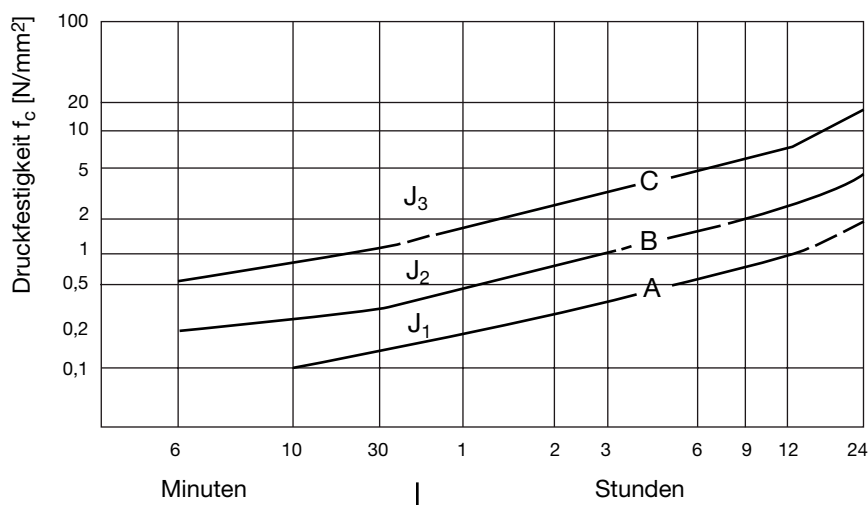
Beim **Nassspritzverfahren** ist das Zugabewasser bereits im Ausgangsgemisch des Spritzguts enthalten, die Förderung erfolgt im Dickstromverfahren.

## Anwendungen

- Spritzbeton wird für bewehrte und unbewehrte Bauteile verwendet
- Untertagebau für Sicherungsarbeiten bzw. für den Ausbau
- Auskleidung von Becken und Kanälen
- Zur Sicherung von Hängen, Böschungen und Baugruben
- Instandsetzung schadhafter Bauwerke aus Beton und Mauerwerk



## Frühfestigkeitsklassen



ZWISCHEN A UND B	Klasse J <sub>1</sub>
ZWISCHEN B UND C	Klasse J <sub>2</sub>
ÜBER C	Klasse J <sub>3</sub>

Hinsichtlich der Festigkeitsentwicklung innerhalb der ersten 24 h werden die drei Frühfestigkeitsklassen J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub> und J<sub>3</sub> unterschieden.

## Prüfmethoden zur Messung der Frühfestigkeit zu Spritzbeton

0,10–1,20 (N/MM <sup>2</sup> ) ODER (MPA)	Penetrationsnadel	Messung der Kraft, um eine 3 mm dicke Nadel bis 15 mm in den Spritzbeton eindringen zu lassen.
1–8 (N/MM <sup>2</sup> ) ODER (MPA)	Bolzensetzverfahren	Messung der Eindringtiefe von Schraubenbolzen, welche mittels eines Bolzensetzgeräts mit vordefinierter Einstellung in den Beton getrieben werden.
3–18 (N/MM <sup>2</sup> ) ODER (MPA)	Bolzensetzverfahren	Messung der erforderlichen Ausziehkraft von Bolzen, welche zuvor mittels eines Bolzensetzgeräts – mit vordefinierter Einstellung – in den Beton getrieben werden.

## Beachten Sie: Mehrverbrauch an Material bei Spritzbeton durch Rückprall

- Bei Wandarbeiten 25-30%
- Bei Überkopparbeiten bei 50%





## DRAINBETON

---

**Drainbeton** ist ein haufwerksporiger, hohlraumreicher Beton für Entwässerungsaufgaben. Die Haufwerksporen ergeben sich durch Verwendung einer eng begrenzten Korngruppe, z.B. 2/8 mm, wobei die Einzelkörner nur an den Kontaktstellen durch eine dünne Zementsteinschicht miteinander verkittet werden.

### Anwendung

- Entwässerung im Straßen-, Tief- und Wasserbau
- Betonfilterrohre, Filtersteine und Filterplatten
- Lärmschutzwände und lärmarme Straßenbetone
- Als Versetzbeton bei Pflastersteinen oder Platten





## ANWENDUNGSBEREICH FÜR HASIT TROCKENBETONE

Für alle Betonarbeiten im gewerblichen, landwirtschaftlichen, hochalpinen und privaten Bereich, egal ob die Einbaustelle leicht oder schwer zugänglich ist.

- Fundamente
- Wände
- Decken
- Aufbeton bei Fertigteildecken
- Gartenmauern
- Terrassen
- Stützmauern
- Stiegen
- Stützen
- Überlager
- Schwimmbäder
- Ausbesserungsarbeiten
- Renovierarbeiten
- Umbauten
- Bodenplatten
- Stallböden
- Jauchegrube
- Spritzbeton
- Bohrpfähle
- Ankerbalken
- Ankerwarzen
- Stützrippen
- Brücken
- Fertigteile





**HASIT Trockenmörtel GmbH**

**Zentrale**

Landshuter Straße 30  
85356 Freising  
Tel.: +49 8161 602-0  
Fax: +49 8161 602-70400  
kontakt@hasit.de

**Werk Schwarzenfeld**

Karl-Knab-Straße 44  
92521 Schwarzenfeld  
Tel.: +49 9435 92-0  
Fax: +49 9435 92-70761

**Geschäftsbereich Süd**

**Werk Eichenkofen**

Mooslerner Weg 12  
85435 Erding  
Tel.: +49 8122 120-0  
Fax: +49 8122 120-79862

**Werk Kissing**

Auenstraße 11  
86438 Kissing  
Tel.: +49 8233 7900-0  
Fax: +49 8233 7900-70561

**Geschäftsbereich Süd-Ost**

**Werk Regensburg**

Ditthornstraße 18  
93055 Regensburg  
Tel.: +49 941 79595-0  
Fax: +49 941 79595-70980

**Geschäftsbereich Mitte**

**Werk Crossen**

Am Rautenanger 6  
07613 Crossen an der Elster  
Tel.: +49 36693 494-0  
Fax: +49 36693 494-70164

**Geschäftsbereich Süd-West**

**Werk Ammerbuch-Altingen**

Berger Weg 1  
72119 Ammerbuch-Altingen  
Tel.: +49 7032 973-0  
Fax: +49 7032 973-70262

www.hasit.de