



WHITEPAPER TECHNIK

Beton



ÜBER DIESE WHITEPAPER-SERIE

Die Serie ORCA Whitepaper Technik bietet in jedem Whitepaper einen kurzgefassten Überblick über ein spezifisches Feld der Bau- und Gebäudetechnik. Jedes Whitepaper dient als erstes Nachschlagemedium, als technische Referenz oder als Kurz-Leitfaden für Planung und Ausschreibung.

Die inhaltliche Ausrichtung liegt weniger auf den Planungsgrundlagen, sondern auf dem aktuellen

Regelwerk, einschließlich der ATV-Normen, und auf den für die korrekte Ausschreibung benötigten Begriffen, Techniken und Hintergründen.

ÜBER DEN AUTOR

Mag.Ing. Franz Dam ist seit über 25 Jahren auf dem Gebiet der Bauausschreibung tätig. Mit seinem Expertenwissen berät er Unternehmen zur LPH 6 der HOAI. Seit 2016 ist er Partner der ORCA Software GmbH.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1. Beton nach Status	4
1.2. Normung von Beton	5
Rohdichte	5
1.3. Anforderungen an Beton	6
1.3.1. Beton nach Eigenschaften oder Zusammensetzung	6
1.3.2. Chemische Beständigkeit	7
2. Hinweise zur Planung	7
2.1. Checkliste Beton für Planer	7
2.2. Zemente	8
2.2.1. Zementarten	8
2.2.2. Bestandteile der Zemente	8
2.2.3. Normbezeichnungen und Kennzeichnung	9
2.2.4. Sonderzemente	10
2.3. Zuschläge – Gesteinskörnungen	11
2.3.1. Korngruppen	11
2.3.2. Sieblinien und Korneigenschaften	12
Kennzeichnung Sieblinien	13
2.3.3. Weitere Anforderungen	13
2.4. Grundlegende Klassifizierung: Exposition und Druckfestigkeit	14
2.4.1. Exposition und Feuchtebeanspruchung	14
2.4.2. Druckfestigkeitsklassen	15
2.5. Frischbeton	15
2.5.1. Zugabewasser	15
2.5.2. Der Wasserzementwert	15
w/z-Wert	16
2.5.3. Maximale Wasserzementwerte	17
2.5.4. Bereiten von Beton	18
2.5.5. Überwachen von Beton	18
2.5.6. Nachbehandlung von Beton	19
2.6. Betonzusätze	19
2.6.1. Betonzusatzstoffe	20
2.6.2. Betonzusatzmittel	20



3.	Vorschriften, Normen und Regelwerke	22
3.1.	Nationale Normen	22
3.2.	Eurocode-Normen	22
3.3.	Weitere internationale Normen	23
3.4.	Richtlinien und Merkblätter	24
3.4.1.	DAfStb-Richtlinien	24
3.4.2.	Zementmerkblätter	25
3.4.3.	Betonmerkblätter	26
3.4.4.	Arbeitsblätter Bewehrung	26
4.	Klassifizierungen und Bezeichnungen	26
4.1.	Bezeichnungen von Zementen	26
4.2.	Expositionsklassen und Feuchtebeanspruchung	27
4.3.	Druckfestigkeitsklassen von Normal- und Leichtbeton	30
4.4.	Konsistenzarten von Beton	31
4.5.	Wasseranspruch des Betons: Richtwerte	31
4.6.	Überwachungsklassen von Beton	32
5.	Planung und Ausführung	32
5.1.	Arten von Beton	32
5.1.1.	Normalbeton	32
5.1.2.	Leichtbeton	32
5.1.3.	Infraleichtbeton	33
5.1.4.	Porenbeton	33
5.1.5.	Selbstverdichtender Beton (SVB)	33
5.1.6.	WU-Beton	33
5.1.7.	Spannbeton	34
5.1.8.	Weitere Betone	35
5.2.	Bewehrung	35
5.2.1.	Betondeckung	35
5.2.2.	Betonstabstahl	36
5.2.3.	Betonstahlmatten	36
	Kennzeichnung von Lagermatten	37
5.2.4.	Bewehrungsdraht	38
5.2.5.	Gitterträger	38
5.2.6.	Faserbewehrungen	38
5.3.	Schalungen	39
5.3.1.	Saugende und nicht saugende Schalungen	39
5.3.2.	Besondere Schalungstechniken	39
5.4.	Betonoberflächen	40
5.4.1.	Sichtbeton nach Merkblatt	40
5.4.2.	Bearbeitung der Betonoberfläche	40
5.4.3.	Farbiger Beton	41
5.4.4.	Oberflächenschutz	42
5.5.	Betonfugen	42
	Kommentar	43



1. Einleitung

Beton ist zu einem der wichtigsten Baustoffe geworden. Beton ist wirtschaftlich und universell einsetzbar. Über Jahrzehnte und Jahrhunderte bestand Beton aus einem Gemisch aus Zement, Wasser und Gesteinszuschlag. Doch der heutige hochtechnisierte Beton hat bis zu sechs Komponenten: Zement, Zuschlag, Wasser, Zusatzmittel, Zusatzstoffe und Luft. Aufgrund der zahlreichen Modifizierungsmöglichkeiten kann Beton selbstverdichtend sein, kann hochfest oder säureresistent eingestellt werden. Auch alternative Bewehrungen werden eingesetzt und innovative Oberflächen (z.B. Fotobeton) sind möglich.

Wichtige Eigenschaften des Betons

- ▶ hohe Druckfestigkeit
- ▶ hoher Widerstand bei chemischen Angriffen
- ▶ hoher Strahlenschutz
- ▶ hoher Temperaturwiderstand
- ▶ hoher Verschleißwiderstand
- ▶ speichert Wärme und Kälte
- ▶ hervorragender Brandschutz
- ▶ Wasserundurchlässigkeit, Feuchtigkeitsschutz
- ▶ große Gestaltungsmöglichkeit (Form, Oberflächen)

1.1. Beton nach Status¹

- ▶ **Ortbeton**
Beton, der an der Baustelle verarbeitet wird und dort erhärtet.
- ▶ **Transportbeton**
Beton, der in frischem Zustand von jemandem geliefert wird, der nicht der Verwender ist. Gemäß Normdefinition ist Transportbeton auch: vom Verwender außerhalb der Baustelle hergestellter Beton; auf der Baustelle nicht vom Verwender hergestellter Beton.
- ▶ **Baustellenbeton**
Beton, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für seine eigene Verwendung hergestellt wird.
- ▶ **Fertigteilbeton**
Beton für Bauteile, die im Werk gefertigt, auf die Baustelle transportiert und dort zusammengefügt werden.
- ▶ **Frischbeton**
fertig gemischter Beton, der sich noch in einem verarbeitbaren Zustand befindet und verdichtet werden kann.
- ▶ **Festbeton**
Beton, der eine gewisse Festigkeit entwickelt hat.

¹ vgl. teils Abschnitt 3.1 in DIN EN 206

1.2. Normung von Beton

Beton wird insbesondere in zwei Normen standardisiert:

- ▶ DIN EN 206: *Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*
- ▶ DIN 1045-2: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*
- 💡 Die genannten Normen legen die Anforderungen an die Ausgangsstoffe fest, klassifizieren und beschreiben die Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton.

Der Anwendungsbereich der Normen umfasst

- ▶ Normalbeton
- ▶ Schwerbeton
- ▶ Leichtbeton (mit Rohdichte $\geq 800 \text{ kg/m}^3$)
- ▶ Beton für Fertigteile
- ▶ selbstverdichtenden Beton²
- 💡 Schaumbeton, Porenbeton, Infraleichtbeton mit Rohdichte $\leq 800 \text{ kg/m}^3$ sowie Spezialbetone wie Feuerfestbeton oder Spritzbeton fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Normen.

Rohdichte³

- 💡 Die Rohdichte von Normalbeton im ofentrockenen Zustand muss zwischen 2.000 und 2.600 kg/m^3 liegen.
- 💡 Für Leichtbeton muss die Rohdichte des ofentrockenen Betons unterhalb 2.000 kg/m^3 und innerhalb der Grenzwerte für die festgelegte Rohdichteklasse liegen.
- 💡 Für Schwerbeton muss die Rohdichte des ofentrockenen Betons mehr als 2.600 kg/m^3 betragen. Wenn bei Schwerbeton die Rohdichte als Zielwert festgelegt ist, gilt eine generelle zulässige Abweichung von $\pm 100 \text{ kg/m}^3$.

² Sofern dieser – abgesehen von künstlich eingeführten Luftporen – keinen nennenswerten Anteil an eingeschlossener Luft enthält.

³ vgl. Abschnitt 5.5.2 in DIN EN 206

1.3. Anforderungen an Beton

1.3.1. Beton nach Eigenschaften oder Zusammensetzung

Beton kann gemäß den Betonnormen entweder nach Eigenschaften oder nach Zusammensetzung beschrieben bzw. ausgeschrieben werden.

Beton nach Eigenschaften

In diesem Fall (Normalfall) wird der Beton anhand der gewünschten Eigenschaften beschrieben. Der Beton-Hersteller trägt die Verantwortung für das fertige Produkt und die Erfüllung der Anforderungen.

Die Festlegung des Betons muss Folgendes enthalten⁴

- ▶ Druckfestigkeitsklasse
- ▶ Expositionsklassen
- ▶ Größtkorn der Gesteinskörnung⁵
- ▶ Klasse des Chloridgehalts⁶
- ▶ für Leichtbeton gilt zusätzlich: Rohdichteklasse oder Zielwert der Rohdichte
- ▶ für Schwerbeton gilt zusätzlich: Zielwert der Rohdichte
- ▶ für Transportbeton und Baustellenbeton gilt zusätzlich: Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz

Zusätzliche Anforderungen

- ▶ besondere Arten oder Klassen von Zement
- ▶ besondere Arten oder Kategorien von Gesteinskörnungen
- ▶ Art, Funktion (d. h. tragend oder nicht tragend) und Mindestgehalt von Fasern oder Leistungsklassen von faserbewehrtem Beton
- ▶ erforderliche Eigenschaften für den Widerstand gegen Frosteinwirkung
- ▶ Festigkeitsentwicklung
- ▶ Wärmeentwicklung während der Hydratation
- ▶ verzögertes Ansteifen
- ▶ Wassereindringwiderstand
- ▶ Abriebwiderstand
- ▶ Spaltzugfestigkeit
- ▶ Trocknungsschwinden, Kriechen und Elastizitätsmodul
- ▶ zusätzliche Anforderungen für Beton für besondere geotechnische Arbeiten
- ▶ zusätzliche Anforderungen für selbstverdichtenden Beton
- ▶ andere technische Anforderungen (z. B. Anforderungen bezüglich des Erzielens einer besonderen Oberflächenbeschaffenheit, besonderer Einbringverfahren oder Ansteifverhalten der Konsistenz)

💡 Aufgrund der Vorteile für den Planer und Bauherrn wird Beton i.d.R. nach Eigenschaften beschrieben. Die Beschreibung von Beton nach Zusammensetzung wird nur in Einzelfällen angewandt.

⁴ vgl. Abschnitte 6.2 in DIN EN 206 sowie in DIN 1045-2; ebenso Abschnitt 11 in DIN EN 206

⁵ als kleinster und größter zulässiger Wert

⁶ An Stelle der Angabe der Klasse des Chloridgehaltes kann die Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton) angegeben werden.

Beton nach Zusammensetzung⁷

Bei Beton nach Zusammensetzung werden Zusammensetzung des Frischbetons und Eigenschaften der Ausgangsstoffe festgelegt⁸, nicht jedoch die Eigenschaften des resultierenden Betons.

- 💡 Der Beton-Hersteller ist nur für die Lieferung eines Betons in der geforderten Zusammensetzung verantwortlich, nicht jedoch für die Eigenschaften des Betons.

1.3.2. Chemische Beständigkeit

Gemäß DIN 1045-2 werden drei chemische Angriffsgrade auf Beton unterschieden. Sie werden entsprechenden Expositionsklassen zugeordnet:

- ▶ XA1: schwacher Angriff
- ▶ XA2: mäßiger Angriff
- ▶ XA3: starker Angriff

Beton muss durch Zusätze und Wahl der Ausgangsstoffe säurewiderstandsfähig gemacht werden. Die wesentlichen Faktoren für beständigen Beton sind ein niedriger Wasser-Zement-Wert und die daraus auch resultierende Dichtigkeit des Zementsteins. Zudem erhöht die Zugabe von Flugasche oder Silikastaub die Widerstandsfähigkeit weiter.

Korrosionsschutz

- 💡 Durch die vollständige Umhüllung mit Beton ist die Stahlbewehrung auch durch die Alkalität des Betons vor Korrosion geschützt. Doch können Karbonatisierungsprozesse bis zu einer gewissen Tiefe (Karbonatisierungstiefe) die Bewehrung durch Eindringen von Feuchte und Kohlendioxid sowie von Chloriden aus der Umgebung schädigen.
- 💡 Ein niedriger Wasser-Zement-Wert, eine entsprechende Nachbehandlung des Betons zusammen mit einer ausreichenden Überdeckung der Bewehrung, ist in Fällen entsprechender Exposition von entscheidender Bedeutung.

2. Hinweise zur Planung

2.1. Checkliste Beton für Planer⁹

Das muss berücksichtigt werden:

- ▶ Art der Anwendung des Frisch- und Festbetons
- ▶ Einwirkungen der Umgebung (Expositionsklassen, Feuchte)
- ▶ Bedingungen der Nachbehandlung
- ▶ Abmessungen des Bauwerks (bezüglich Wärmeentwicklung)

7 Eine dritte Möglichkeit ist die Definition von Beton als Standardbeton nach DIN EN 206/DIN 1045-2. Standardbeton besitzt eine weitgehend festgelegte Zusammensetzung, dessen Eigenschaften in geringem Umfang bestimmt werden können. In Deutschland wird von Standardbeton kaum Gebrauch gemacht.

8 Zementart, Zementgehalt, w/z-Wert, Gesteinskörnung, Zusatzmittel u.a.m.

9 vgl. Abschnitte 6.1 in DIN EN 206 und in DIN 1045-2

- ▶ vorgesehene Nutzungsdauer
 - ▶ Anforderungen an die Gesteinskörnung, die an der Bauteiloberfläche freiliegt (oder an bearbeitete Betonoberflächen)
 - ▶ Beschränkungen der Verwendung, die sich von Ausgangsstoffen und Exposition ergeben
 - ▶ gegebenenfalls Zweckmäßigkeit der Verwendung von Fasern
- 💡 Beton besteht aus vielen Komponenten, die – je nach Anforderungen – genauestens aufeinander abgestimmt sein müssen. Schwinden, Schrumpfen, Kriechen, Temperaturänderungen, Wasserentzug u.ä. können den Beton in seiner Tragfähigkeit und seinen anderen Funktionen beeinträchtigen.

2.2. Zemente

Zement ist als Bindemittel ein zentraler Bestandteil von Beton. Durch die Mischung mit Wasser entsteht aus Zement Zementleim; im ausgehärteten Zustand spricht man von Zementstein.

Die wichtigsten Zemente sind genormt in DIN EN 197-1, *Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*.

2.2.1. Zementarten

Es werden fünf Haupt-Zementarten unterschieden

- ▶ CEM I: Portlandzement
- ▶ CEM II: Portlandkompositzemente
- ▶ CEM III: Hochofenzement
- ▶ CEM IV: Puzzolanzement
- ▶ CEM V: Kompositzement

💡 Diese Hauptzementarten werden in 27 Unterarten eingeteilt.

DIN EN 14216 beschreibt darüber hinaus Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme

- ▶ Hochofenzement VLH III
- ▶ Puzzolanzement VLH IV
- ▶ Kompositzement VLH V

2.2.2. Bestandteile der Zemente

Zemente setzen sich zusammen aus den Hauptbestandteilen, aus Calciumsulfat und ggf. aus Nebenbestandteilen bzw. Zementzusätzen. Den Hauptbestandteilen des Zements können Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke), Silikastaub, Puzzolane, Flugasche, gebrannter Schiefer und Kalkstein hinzugefügt werden.

- ▶ Portlandzementklinker (K)
 - hydraulischer Stoff aus Calciumsilikaten. Portlandzementklinker wird durch Mahlen und Brennen der Rohstoffe Kalkstein oder Kreide und Ton hergestellt.
- ▶ Hüttensand (S)
 - Hochofenschlacke wird durch Granulation zu Hüttensand abgekühlt und gemahlen; hat hydraulische Eigenschaften.

- ▶ Puzzolane (P, Q)
 - kieselensäurehaltige und oft tonerdehaltige Stoffe. Aus Stoffen vulkanischen Ursprungs (z.B. Trass, Lava) oder aus Tonen, Schiefer oder Sedimentgesteinen gewonnen. Puzzolane verfestigen sich erst mit Wasser und Calciumhydroxid aus dem Portlandzementklinker. Sie werden als natürliches Puzzolan (P) oder als natürliches getempertes (thermisch behandeltes) Puzzolan (Q; z.B. Phonolith) eingesetzt.
- ▶ Flugaschen (V, W)
 - kieselensäure- oder kalkreiche, staubartige Partikel, die in Elektrofiltern zur Abgasreinigung von Kohlekraftwerken abgeschieden werden. Kalkreiche Flugaschen (W) sind feinkörnige Stäube mit hydraulischen und/oder puzzolanischen Eigenschaften.
- ▶ Gebrannter Schiefer (T)
 - wird in einem speziellen Ofen bei Temperaturen von etwa 800 °C aus natürlichen Schiefervorkommen hergestellt und fein gemahlen. Hat ausgeprägt hydraulische und puzzolanische Eigenschaften.
- ▶ Kalkstein (L, LL)
 - Gemahlener Kalkstein kann die Korngrößenverteilung des Zements im feinen Bereich verbessern. Er muss einen ausreichend hohen Gehalt an Calciumcarbonat sowie niedrige Gehalte an organischem Kohlenstoff und an Ton aufweisen.
- ▶ Silikastaub (D)
 - besteht aus sehr feinen, kugeligen Partikeln mit einem hohen Gehalt an amorphem Siliciumdioxid. Ausgangsstoff ist Quarz.

Nebenbestandteile der Zemente

Als Nebenbestandteil können Zemente bis zu 5% fein zerkleinerte anorganische, mineralische Stoffe enthalten, die aus der Klinkerproduktion (z.B. Rohmehl) stammen oder den anderen Hauptbestandteilen entsprechen.

Calciumsulfat

Zur Regelung des Erstarrens wird Zement in geringen Mengen Calciumsulfat (Gips und/oder Anhydrit) zugegeben.

2.2.3. Normbezeichnungen und Kennzeichnung

Die Zemente werden in Festigkeitsklassen hergestellt

- ▶ 22,5
- ▶ 32,5
- ▶ 42,5
- ▶ 52,5

Sie werden nochmals unterteilt nach ihrer Anfangsfestigkeit (ausgenommen 22,5):

- ▶ niedrige Anfangsfestigkeit: Kennbuchstabe L = Low
- ▶ normale, übliche Anfangsfestigkeit: Kennbuchstabe N = Normal
- ▶ hohe Anfangsfestigkeit: Kennbuchstabe R = Rapid

Nötig sind folgende Angaben bei Zement

- ▶ Zementart
- ▶ ggf. Normbezug
- ▶ Kurzzeichen der Zementart

- ▶ weitere vorhandene Hauptbestandteile¹⁰
- ▶ Festigkeitsklasse
- ▶ Anfangsfestigkeit

Beispiele Zementbezeichnung¹¹

- ▶ Portlandzement EN 197-1 – CEM I 42,5 R: Portlandzement der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit
- ▶ Portlandkalksteinzement EN 197-1 – CEM II/A-LL 32,5 R: Portlandkalksteinzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und 6 bis 20% Kalkstein (Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff 0,20%)
- ▶ Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 32,5 L: Hochofenzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit niedriger Anfangsfestigkeit und 66 bis 80% Hüttensand

2.2.4. Sonderzemente

Zusammensetzung und Anforderung an Sonderzemente werden in den jeweiligen Zementnormen geregelt. Sonderzemente entsprechen weitgehend DIN EN 197-1 für Normalzemente, weisen aber entweder zusätzliche Eigenschaften auf oder weichen in einer Eigenschaft von DIN EN 197-1 ab.¹²

- ▶ Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zemente, LH = low heat)
 - geeignet für massige Bauteile und zum Betonieren bei hohen Außentemperaturen.
- ▶ Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH-Zemente)
 - eignen sich insbesondere für massige Bauwerke mit großen Volumen aber kleinen Oberflächen (z.B. Staudämme).
- ▶ Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zemente, SR = sulfate resisting)
 - für Betone mit hohem Sulfatwiderstand
- ▶ Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt – Zemente (na)
 - haben einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt und werden bei Bauteilen verwendet, bei denen mit einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion gerechnet werden kann.¹³
- ▶ Zemente mit frühem Erstarren (FE-Zemente)
 - durch einen frühen Erstarrungsbeginn gekennzeichnet, z. B. für Betonfertigteile.
- ▶ Zemente mit schnellem Erstarren (SE-Zemente)
 - Erstarrungsbeginn nach weniger als 45 Minuten, z. B. Trockenspritzbeton.

¹⁰ d.h. neben Portlandzementklinker

¹¹ Zu Beispielen vgl. Merkblatt B1, *Zemente und ihre Herstellung*, in: Zement-Merkblätter.

¹² In DIN EN 197 und DIN EN 14216 werden Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR), niedriger Hydratationswärme (LH) und Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) beschrieben. Die nationalen Normen DIN 1164, Teile 11 und 12, unterscheiden Zemente mit frühem Erstarren (FE), mit schnellem Erstarren (SE) und mit erhöhtem Anteil organischer Bestandteile (HO).

¹³ Die Notwendigkeit des Einsatzes von Zementen (na) regelt die Richtlinie *Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-reaktion im Beton* („Alkali-Richtlinie“) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

- ▶ Zemente mit erhöhtem Anteil organischer Bestandteile (HO-Zemente)
 - enthalten bis zu 1 M.-% organische Bestandteile; verändern die Konsistenz des Zementleims.
- ▶ Weißzement
 - ein eisenoxidarmer Portlandzement, für eingefärbte Betone.
- ▶ Hydrophobierte Zemente
 - hauptsächlich bei der Bodenverfestigung angewendet.

2.3. Zuschläge – Gesteinskörnungen

Gesteinskörnungen bilden bis zu 80% des Betonvolumens.¹⁴ Die Eigenschaften des Betons werden in hohem Maße von der Gesteinskörnung und ihrer Sieblinie beeinflusst.

- 💡 Gesteinskörnungen unterscheiden sich nach ihrer Herkunft (natürlich oder industriell hergestellt), nach der Gesteinsart, der Rohdichte, der Kornform und der Korngröße. Sie nehmen wesentlichen Einfluss auf Verarbeitbarkeit, Zementleimanteil, Volumen, Festigkeit und Oberflächenbeschaffenheit des Betons.

Für die Herstellung von Normalbeton mit leichten Gesteinskörnungen und von Leichtbeton dürfen verwendet werden:¹⁵

- ▶ natürliche Gesteinskörnungen: Lava (Lavaschlacke), Naturbims, Tuff
- ▶ aus natürlichen Rohstoffen und/oder aus industriellen Nebenprodukten hergestellte Gesteinskörnungen: Blähglas, Blähglimmer (Vermikulit), Blähperlite, Blähschiefer, Blähton, gesinterte Steinkohlenflugasche-Pellets, Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln
- ▶ industrielle Nebenprodukte: Kesselsand

- 💡 Blähglas, Blähglimmer (Vermikulit), Blähperlite und Kesselsand dürfen in Spannbeton nicht verwendet werden.

- 💡 Für leichte Gesteinskörnungen muss der Feinanteil (Mehlkorn) bekannt sein.

- 💡 Zum Mehlkorn zählen alle Stoffe im Beton mit einer Korngröße von höchstens 0,125 mm. Mehlkorn bewirkt ein dichteres Gefüge des Betons.

2.3.1. Korngruppen

Die Gruppen von Gesteinskörnungen sind¹⁶

- ▶ feine Körnungen (Mehlkorn / Sand), z.B. 0/4
- ▶ grobe Körnungen (Kies / Splitt / Schotter), z.B. 8/16
- ▶ Korngemische (fein mit grob), z.B. 0/32

Die Gesteinskörnungen werden in Korngruppen (Lieferkörnungen) eingeteilt.

Die gebräuchlichsten Korngruppen/Lieferkörnungen sind

- 0/2
- 0/4
- 2/8

¹⁴ Für die Verwendung in Normal- und Schwerbeton müssen sie DIN EN 12620, *Gesteinskörnungen für Beton*, entsprechen. Für rezyklierte Gesteinskörnungen gelten zusätzlich DIN 4226-101 und DIN 4226-102.

¹⁵ vgl. Abschnitt 5.2.3 in DIN 1045-2

¹⁶ Die bisher üblichen Begriffe Sand/Brechsand, Kies/Splitt und Grobkies/Schotter werden zwar in den Normen nicht mehr oder nur zum Teil genutzt, sind aber im deutschen Sprachgebrauch noch üblich, da sie nicht zuletzt auch zwischen natürlich gerundetem und gebrochenem Korn unterscheiden.

- 5,6/11,2
- 8/16
- 11,2/22,4
- 8/31,5
- 16/31,5

2.3.2. Sieblinien und Korneigenschaften¹⁷

An Gesteinskörnungen werden Anforderungen an das Größtkorn, die Sieblinie, den Mehlkorngelalt und den Wasseranspruch gestellt.

- 💡 Größtkorn: so zu wählen, dass der Beton einwandfrei gefördert und verarbeitet werden kann. Seine Nenngöße darf 1/3 (besser 1/5) der kleinsten Bauteilabmessung nicht überschreiten.¹⁸

Sieblinien

- 💡 Der Kornaufbau soll ein möglichst dichtes Korngerüst ergeben, um den erforderlichen Zementleimgehalt gering zu halten. Auch die Kornoberfläche soll aus diesem Grund klein sein (grobe Gesteinskörnung verwenden).
- 💡 Die Kornzusammensetzung von Korngemischen wird durch Sieblinien gekennzeichnet.
- 💡 DIN 1045-2 definiert Regelsieblinien für ein Größtkorn von 8 mm, 16 mm, 32 mm und 63 mm. Anhand dieser Sieblinien kann eine Einschätzung der Kornzusammensetzung und daraus resultierender Beteigenschaften erfolgen.

Man unterscheidet fünf Bereiche:

- ▶ Grobkörnig
- ▶ Ausfallkörnung¹⁹
- ▶ Grob- bis mittelkörnig (günstiger Bereich)
- ▶ Mittel- bis feinkörnig (brauchbarer Bereich)
- ▶ Feinkörnig

17 vgl. hier Merkblatt B2, *Gesteinskörnungen für Normalbeton*, in: Zement-Merkblätter

18 Das Größtkorn sollte mindestens 5 mm kleiner sein als der kleinste Abstand der Bewehrungselemente untereinander oder zur Schalung.

19 Fehlen in einem Korngemisch eine oder mehrere Korngruppen zwischen der feinsten und der größten Gruppe, so bezeichnet man dieses Gemisch als Ausfallkörnung. Ausfallkörnungen können sinnvoll sein, da für gleiche Verarbeitbarkeiten (Konsistenzen) geringere Zementleimgehalte erforderlich sind. Jedoch ist die Gefahr einer Entmischung höher als bei stetigen Sieblinien.

Kennzeichnung Sieblinien

Die Sieblinien werden mit einem Großbuchstaben und mit dem entsprechenden Größtkorn als Beiwert gekennzeichnet.

▶ Beispiel: A32 = Sieblinie A, Größtkorn 32 mm

💡 Unabhängig vom Größtkorn des Korngemisches wird die untere Sieblinie mit A, die mittlere mit B und die obere mit C bezeichnet.

💡 Die Sieblinien A und B begrenzen den günstigen Bereich, B und C den brauchbaren Bereich. Als ungünstig gelten Korngemische, deren Sieblinie unter A oder oberhalb von C liegt.

2.3.3. Weitere Anforderungen²⁰

▶ Kornzusammensetzung

→ Die Kornzusammensetzung grober Gesteinskörnungen sollte so geregelt sein, dass mindestens 1%, aber nicht mehr als 20% Überkorn und nicht mehr als 20% Unterkorn auftreten können. Weit gestufte grobe Gesteinskörnungen müssen zudem zusätzliche Anforderungen an den Siebdurchgang eines mittleren Siebes erfüllen.

▶ Kornform

→ Die Form der Gesteinskörner soll möglichst gedungen sein. Die Form wird entweder durch die Plattigkeitskennzahl FI (Siebdurchgang durch ein Stabsieb) oder die Kornformkennzahl SI (Kornschieblehre) bestimmt.

→ Gesteinskörnungen dürfen in der Regel nicht mehr als 50% (Plattigkeitskennzahl) bzw. 55% (Kornformkennzahl) plattige oder schiefrige Anteile besitzen.

▶ Füller (Gesteinsmehle)

→ sind inaktive anorganische Zusatzstoffe. Es handelt sich um Gesteinsmehle (Quarzmehle, Kalksteinmehle), deren überwiegender Kornteil durch das 0,063-mm-Sieb hindurchgeht.

▶ Feinanteile

→ sind die Anteile von Gesteinskörnungen, die durch ein 0,063-mm-Sieb hindurchgehen. Sie sollen einen Massenanteil von 3% nicht übersteigen.

²⁰ vgl. Merkblatt B2, *Gesteinskörnungen für Normalbeton*, in: Zement-Merkblätter

Betonangriff

- ▶ F – Frost und Taumittel-Widerstand (XF)
- ▶ A – Chemischer Angriff (XA)²²
- ▶ M – Verschleißbeanspruchung (XM)

2.4.2. Druckfestigkeitsklassen

Die charakteristische Festigkeit eines Betons wird anhand von Probekörpern im Alter von 28 Tagen ermittelt.

- Normalbeton erhält die Abkürzung C.
- Leichtbeton erhält die Abkürzung LC.
- Danach folgen die Ziffern, welche die Druckfestigkeit quantifizieren.

💡 Es gibt Probekörper in Form eines Zylinders mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge ($f_{ck,cyl}$), und Probekörper in Form eines Würfels mit einer Kantenlänge von 150 mm ($f_{ck,cube}$).

💡 Die zwei Ziffern der Betonbezeichnung sind durch einen Schrägstrich getrennt (z.B. C 25/30). Die erste Zahl steht für die Zylinderfestigkeit, die zweite für die Würfeldruckfestigkeit. Letztere ist in Deutschland gebräuchlich.

2.5. Frischbeton

💡 Frischbeton muss in seinen Eigenschaften ebenso bestimmt werden wie der resultierende Festbeton. Der Einsatz von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen kann die erforderlichen Frischbetoneigenschaften mit den gewünschten Festbetoneigenschaften kombinieren.

💡 Der Wassergehalt (bzw. der Wasserzementwert) beeinflusst die Verarbeitbarkeit des Frischbetons ebenso wie die Festigkeit und Dichtigkeit des Zementsteins des Festbetons.

💡 Zudem wirkt die Oberflächengröße und die Porigkeit der Gesteinskörnungen auf die Frischbetoneigenschaften ein.

2.5.1. Zugabewasser

Als Zugabewasser für Beton eignet sich Trinkwasser sowie in der Natur vorkommendes Wasser und aufbereitetes Brauchwasser.²³ Für Normalbeton und Leichtbeton u.dgl. kann ebenso Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung verwendet werden.

2.5.2. Der Wasserzementwert

Zement kann eine Wassermenge von rund 40% seiner Masse binden. Weist der Zementleim einen höheren Wasserzementwert auf, kann das Wasser nicht gebunden werden und es entsteht Überschusswasser.

💡 Überschusswasser hinterlässt im Festbeton qualitätsmindernde Kapillarporen. Der Beton kann quellen, die Korrosionsgefahr für die Stahlbewehrung nimmt zu, die Frostempfindlichkeit erhöht sich.

²² Chemische Angriffe bei erhärtetem Beton erfolgen durch Betriebs- und Abwässer der Industrie, durch Abgase sowie durch Grundwässer und Böden.

²³ Soweit es nicht Bestandteile enthält, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons ungünstig beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen.

w/z-Wert

Der Wasserzementwert ist das Massenverhältnis des wirksamen Wassergehalts zum Zementgehalt (plus anrechenbaren Zusatzstoffen), bezogen auf 1 m³ verdichteten Frischbeton.²⁴

w/z = Gewicht des Wassers/Gewicht des Zements

165 kg Wasser auf 300 kg Zement (165/300): Wasserzementwert = 0,55

- 💡 Steigt die Wassermenge bei gleicher Zementmenge, steigt der Wasserzementwert.
- 💡 Für die jeweiligen Expositionsclassen des Betons ist der Wasserzementwert zu begrenzen, um eine ausreichende Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Zementsteingefüges zu erhalten.
- 💡 Bei Zugabe von Zusatzmitteln und -stoffen können sich deutliche Veränderungen der Abhängigkeiten zwischen Wasserzementwert, Zementdruckfestigkeit und Betondruckfestigkeit ergeben.
- 💡 Bei hochfesten Betonen liegt der w/z-Wert zwischen 0,2 bis 0,4.
- 💡 Frischbeton mit hohem Wasserzementwert sondert Wasser ab, die Zementpartikel setzen sich ab: man spricht von Sedimentation bzw. Ausbluten.
- 💡 Ein zu hoher Zementwert ebenso wie ein zu hoher Wassergehalt können das Schwinden und Austrocknen des Betons begünstigen.
- 💡 Ein zu niedriger w/z-Wert verhindert eine vollständige Wasserversorgung des Zements, die Bewehrung kann möglicherweise nicht vollständig von Beton umschlossen werden.

²⁴ DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*, setzt obere Grenzwerte für den Wasserzementwert des Frischbetons fest.

2.5.3. Maximale Wassermenge²⁵

Expositionsklassen, Betoneigenschaften	Wassermenge
XC1, XC2	0,75
XC3	0,65
XC4, XF1, XA1	0,60
XD1, XS1, XF2, XF3, XM1, XM2	0,55
XD2, XS2, XF2, XF3, XF4, XA2	0,50
XD3, XS3, XA3, XM2, XM3	0,45
WU-Beton	0,60

Konsistenz von Beton

Die Konsistenz des Betons muss vom Planer festgelegt werden.

Mit Konsistenz ist die Steifigkeit des Frischbetons gemeint, was auch bedeutet: seine Verarbeitbarkeit, seine Verdichtbarkeit, die Förderbarkeit und die Einbaubarkeit.

DIN EN 206 unterscheidet vier Methoden, um die Konsistenz des Betons zu ermitteln:²⁶

- ▶ Setzmaß nach EN 12350-2 (Klassen S1 bis S5)
- ▶ Setzfließmaß nach EN 12350-8 (Klassen V0 bis V4)
- ▶ Verdichtungsmaß nach EN 12350-4
 - Klasse C0 – sehr steif; C1 – steif; C2 – plastisch; C3 – weich
- ▶ Ausbreitmaß nach EN 12350-5

💡 In Deutschland wird i.d.R. das Ausbreitmaß zur Konsistenzbestimmung herangezogen, bei steiferen Konsistenzen auch das Verdichtungsmaß.

Konsistenzklassen nach dem Ausbreitmaß

- ▶ F1: Steifer Beton
Verdichten durch kräftige Rüttler oder durch kräftiges Stampfen.
- ▶ F2: Plastischer Beton
beim Schütten schollig bis knapp zusammenhängend, Feinmörtel weich, durch Rütteln verdichtet.
- ▶ F3: Weicher Beton
beim Schütten schwach fließend, Feinmörtel flüssig, leichtes Rütteln oder Stochern ist zweckmäßig.²⁷
- ▶ F4: Sehr weicher Beton
so weich, dass Verdichtung durch Stochern ausreicht; muss gutes Zusammenhaltevermögen besitzen; mit Fließmitteln herzustellen.
- ▶ F5: Fließfähiger Beton
so fließfähig, dass durch Stochern verdichtbar; muss mit Fließmittel FM hergestellt werden,
- ▶ F6: sehr fließfähiger Beton
allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließend bei dichtester Lagerung, bis zum Niveaueausgleich; muss mit Fließmittel FM hergestellt werden; muss über gutes Zusammenhaltevermögen und ausreichend hohen Mehlkorngesamt verfügen.
- ▶ Selbstverdichtender Beton

²⁵ vgl. Tafel 2 in Merkblatt 4, *Frischbeton – Eigenschaften und Prüfungen*; in: Zement-Merkblätter. Zu einigen Einschränkungen bei w/z-Wert 0,5 siehe das genannte Merkblatt.

²⁶ vgl. Abschnitt 5.4.1 in DIN EN 206

²⁷ Hochfester Ortbeton muss Klasse F3 oder weicher entsprechen.

Ausbreitmaß über 700 m, allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließend, entlüftend und Bewehrungshohlräume ausfüllend.

2.5.4. Bereiten von Beton

Die genaue Berechnung der verschiedenen Betonkomponenten und deren Einhaltung im Zubereitungsprozess ist von entscheidender Bedeutung. Endfestigkeit, Widerstandsfähigkeit des Betons und Tragfähigkeit der Betonkonstruktion hängen davon ab. Heute wird der Beton in digital gesteuerten Mischanlagen exakt hergestellt. Doch auch der Transport auf die Baustelle und die Einbringung und Verdichtung sind weiterhin von Bedeutung; sie stellen Fehlerquellen dar.

Vorgeschriebene Reihenfolge der Ausgangsstoffe beim Mischen von Beton

- ▶ Zuschläge (Gesteinskörnungen)
- ▶ Zement
- ▶ Zusatzstoffe
- ▶ Wasser und Zusatzmittel

Einbau und Verdichtung

- 💡 Beton muss nach dem Mischen bzw. nach der Anlieferung sofort eingebaut werden.
- 💡 Durch das Verdichtungsverfahren und das lagenweise Einbringen des Beton sollen Hohlräume zwischen den Gesteinskörnungen und Lunker zwischen Beton und Schalung vermieden werden. Bei Einbau und Verdichtungs Vorgang darf sich der Beton nicht entmischen.
- 💡 Die freie Fallhöhe des Betons sollte 2 Meter nicht überschreiten. Bei größeren Fallhöhen sind Schüttröhre zu verwenden.
- 💡 Beton sollte bei Temperaturen über +5°C eingebracht werden. Bei Unterschreitung dieser Temperatur müssen Kälteschutzmaßnahmen ergriffen werden.

2.5.5. Überwachen von Beton²⁸

Bauunternehmen müssen eine regelmäßige Überwachung aller Tätigkeiten bei der Herstellung von Beton und Betonbauwerken sicherstellen.

Je nach Baumaßnahme wird zur Qualitätssicherung des Betons ein unterschiedlich hoher Überwachungsaufwand gefordert.

Man unterscheidet 3 Überwachungsklassen²⁹

- 💡 Überwachungsklassen 1 und 2 regeln die Überwachung von Beton mit Druckfestigkeitsklassen bis C50/60³⁰
- 💡 Die Überwachungsklasse 3 betrifft hohe Druckfestigkeitsklassen für hochfeste Betone.
- 💡 Bei den Überwachungsklassen 2 und 3 muss zusätzlich eine anerkannte Überwachungsstelle herangezogen werden.

²⁸ vgl. Merkblatt B 5, *Überwachen von Beton auf Baustellen*, in: Zement-Merkblätter

²⁹ Gemäß DIN EN 13670 und DIN 1045-3

³⁰ Ebenso von Leichtbeton bis Druckfestigkeit LC25/28 (bis Rohdichteklasse D1,4) und LC35/38 (ab Rohdichteklasse D1,6).

- 💡 Es sind ebenso Anforderungen zu Schalung, Bewehrung, Verarbeitung und Nachbehandlung von Beton zu beachten. Diese gelten ungeachtet der Überwachungsklasse.

Überwachung des Betonierens

Neben den geforderten Frisch- und Festbetonprüfungen (gemäß Überwachungsklasse) sind folgende Daten z.B. im Bautagebuch aufzuzeichnen

- Lufttemperatur und Witterungsverhältnisse während des Betonierens einzelner Abschnitte
- Bauabschnitt und Bauteil
- Art und Dauer der Nachbehandlung

2.5.6. Nachbehandlung von Beton³¹

Der Erhärtungsprozess von Beton (Hydratation) ist vom Feuchtigkeitsgehalt im inneren Betongefüge abhängig. Die Hydratation kommt zum Stillstand, wenn der Feuchtegehalt des Betons unter 80 – 90% relative Feuchte absinkt. Die Hydratation ist nach 28 Tagen abgeschlossen.

Der frische Beton muss daher gegen Austrocknung geschützt werden.

Das umfasst Maßnahmen wie

- ▶ Abdecken der Betonbauteile mit Folien oder Matten
- ▶ Abdecken mit wasserspeichernden Abdeckungen
- ▶ Belassen der Betonbauteile in der Schalung
- ▶ Befeuchten (Bewässern) der Betonoberfläche
- ▶ Aufbringen von Nachbehandlungsmitteln

Beginn und Dauer der Nachbehandlung

- 💡 Nach Abschluss des Verdichtens und der Oberflächenbearbeitung des Betons muss die Oberfläche unverzüglich nachbehandelt werden.
- 💡 Die Mindestdauer der Nachbehandlung richtet sich nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons. Die Nachbehandlungszeit variiert zwischen 1 und 15 Tagen.³²
- 💡 Die Festigkeitsentwicklung wiederum hängt von der Betonzusammensetzung ab. Sie wird definiert durch das im Labor ermittelte Verhältnis der Mittelwerte der Druckfestigkeit nach 2 Tagen und 28 Tagen.
- 💡 Bei anspruchsvollen Umweltbedingungen (alle Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM) muss der Beton bis zum Erreichen von 50% seiner charakteristischen Festigkeit im oberflächennahen Bereich nachbehandelt werden.
- 💡 Bei Bauteilen mit besonders hoher Oberflächenbeanspruchung kann es ratsam sein, bei Auftragserteilung eine angemessen verlängerte Nachbehandlungsdauer zu vereinbaren, ähnlich der Praxis im Verkehrs- oder Wasserbau, z.B. mit verdoppelter Anzahl der Nachbehandlungstage.

2.6. Betonzusätze³³

Durch das Hinzufügen von Zusätzen können die Betoneigenschaften verändert werden. Das betrifft die Verarbeitbarkeit, die Festigkeit, die Dichtigkeit, wie ebenso die Betonoberfläche.

31 vgl. Merkblatt B 8, *Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons*, in: Zement-Merkblätter

32 vgl. hierzu Abschnitt 3 und insbesondere Tafeln 2 und 3 in erwähntem Merkblatt 8

33 vgl. in der Hauptsache Merkblatt B3, *Betonzusätze – Zusatzmittel und Zusatzstoffe*, in: Zement-Merkblätter

2.6.1. Betonzusatzstoffe

Bei Zusatzstoffen ist die Zugabemenge signifikant und wird bei der Stoffberechnung des Betons berücksichtigt.³⁴

DIN EN 206 und DIN 1045-2 unterscheiden

- ▶ Zusatzstoffe des Typs I
 - nahezu inaktive Zusatzstoffe wie Pigmente und Gesteinsmehle
- ▶ Zusatzstoffe des Typs II
 - puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe wie Steinkohleflugasche, Hüttensand oder Silikastaub
- ▶ Man kann organische Zusatzstoffe wie Polymerdispersionen, Bitumenemulsionen oder Wachsemissionen hinzufügen. Diese werden insbesondere bei Instandsetzungsmörteln und -betonen eingesetzt.

Beispiele mineralischer Betonzusatzstoffe

- ▶ Gesteinsmehl
 - feingemahlene, natürliche Gesteinsmehle, wie Quarz oder Kalksteinmehl
- ▶ Pigmente
 - zum Einfärben des Betons
- ▶ Trass
 - feingemahlener Tuffstein mit puzzolanischen Eigenschaften, im Wasserbau und bei Massenbeton eingesetzt
- ▶ Flugasche
 - feinkörniger, hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln bestehender Staub, puzzolanische Eigenschaften
- ▶ Silikastaub
 - extrem feinkörniger, mineralischer Zusatzstoff, ausgeprägte puzzolanische Eigenschaften. Mit Silikastaub können sehr hohe Betondruckfestigkeiten von über 100 N/mm² und eine Verbesserung der Dichtigkeit erzielt werden, ebenso Verbesserung des Widerstands gegen chemischen Angriff.
- ▶ Hüttensandmehl
 - glasartiges Material, hydraulische Eigenschaften
- ▶ Getempertes Gesteinsmehl³⁵
 - feinkörniger, mineralischer Zusatzstoff mit puzzolanischen Eigenschaften

2.6.2. Betonzusatzmittel

Es handelt sich um flüssige oder pulverförmige Stoffe, die z.B. Fließen und Erstarren, oder den Luftgehalt des Betons beeinflussen. Sie haben keinen Einfluss auf die Stoffberechnung des Betons.³⁶

- ▶ Betonverflüssiger
 - verbessern die Verarbeitbarkeit des Frischbetons bei gleichem Wassergehalt und/oder verbessern die Festbetoneigenschaften durch Verminderung der Wasserzugabe (mögliche Wassereinsparung zwischen 5 und 10 l/m³ Beton).
- ▶ Fließmittel
 - besonders stark verflüssigend wirkend, als Betonverflüssiger zugesetzt, bewirken eine erhebliche Verminderung des Wasseranspruchs und/oder eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit; werden z.B. bei

34 Zusatzstoffe dürfen das Erhärten des Zementes sowie die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons nicht beeinträchtigen und den Korrosionsschutz der Bewehrung nicht gefährden.

35 Benötigt eine bauaufsichtliche Zulassung.

36 Betonzusatzmittel müssen betonverträglich sein und dürfen den Korrosionsschutz der Bewehrung nicht beeinträchtigen. Aus diesem Grunde dürfen bestimmte chemische Verbindungen als Wirkstoffe (z.B. Halogene, Nitrite, Nitrate) nicht zugesetzt werden.

der Herstellung von sehr weichem und fließfähigem Beton (Konsistenzklassen F4 bis F6) und selbstverdichtendem Beton, aber auch zur Einstellung der Konsistenzen F2 und F3 eingesetzt.

- ▶ Verzögerer
 - Verzögerung beim Erstarren des Zementleims und damit längere Verarbeitbarkeit von Beton, z.B. für größere Bauteile, die ohne Arbeitsfugen betoniert werden müssen, bei heißem Wetter oder bei Transportbeton
- ▶ Beschleuniger
 - Beschleunigung des Erstarrens bzw. Erhärtens und damit aber auch eine schnellere Wärmeentwicklung. Man unterscheidet Erstarrungsbeschleuniger, Erhärtungsbeschleuniger und Spritzbetonbeschleuniger.
- ▶ Luftporenbildner
 - erzeugen kleine kugelförmige Luftporen im Beton, reduzieren das kapillare Wassersaugen und vermindern den Eisdruck im Winter. Die Luftporen erhöhen also den Widerstand des Betons gegen Frost- und Frost-Tausalzangriffe.
- ▶ Zusatzmittel für Einpressmörtel
 - wirken bei Spannbeton dem Absetzen des Zementmörtels im Spannkabel entgegen und bewirken ein mäßiges Quellen.
- ▶ Dichtungsmittel
 - vermindern die kapillare Wasseraufnahme.
- ▶ Stabilisierer
 - können das Zusammenhaltevermögen des Frischbetons erhöhen, seine Verarbeitbarkeit verbessern und das Wasserabsondern (Bluten) vermindern.
- ▶ Viskositätsmodifizierer
 - verbessern die Kohäsion und begrenzen die Entmischung ungünstig zusammengesetzter Betonmischungen und schützen Betonpumpen und Förderleitungen vor übermäßigem Verschleiß.
- ▶ Chromatreduzierer
 - dienen der Reduktion von aus dem Zement stammendem löslichem Chrom(VI) zu Chrom(III); bei Betonen und Mörteln eingesetzt, die in Bereichen mit Hautkontakt verarbeitet werden.
- ▶ Recyclinghilfen für Washwasser
 - sollen eine Wiederverwendung von Washwasser ermöglichen, das beim Reinigen von Mischfahrzeugen anfällt.
- ▶ Schaumbildner
 - dienen der Herstellung eines Schaumbetons bzw. eines Betons mit porosiertem Zementleim.
- ▶ Sedimentationsreduzierer
 - reduzieren das Sedimentieren von Betonbestandteilen im Frischbeton.
- ▶ Passivatoren (Korrosionsinhibitoren)
 - verzögern die chloridinduzierte Depassivierung der Stahlbewehrung in ungerissenem Beton.
- ▶ Schwindreduzierer
 - reduzieren das Schwinden des Zementsteins und vermindern die Neigung zum Reißen und Verformen des erhärtenden Bauteils.

3. Vorschriften, Normen und Regelwerke

3.1. Nationale Normen

- § **DIN 1045-2:** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- § **DIN 1045-3:** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670; mit Berichtigung 1 (2013)
- § **DIN 1045-4:** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen
- § **DIN 1045-1000:2022-07 – Entwurf:** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1000: Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ); Juli 2022
- § **DIN 1164:** Zement mit besonderen Eigenschaften, Teile 10 und 11
- § **DIN 18314:** VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Spritzbetonarbeiten
- § **DIN 18331:** VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten
- § **DIN 18349:** VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonerhaltungsarbeiten
- § **DIN 18541:** Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Beton, Teile 1 und 2
- § **DIN 18551:** Spritzbeton – Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen
- § **DIN 20000-2:** Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken, Teil 2: Industriell gefertigte Schalungsträger aus Holz

3.2. Eurocode-Normen

- § **DIN EN 1992-1-1:** Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; mit Änderung A1 (2015)
- § **DIN EN 1992-1-1/NA:** Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; mit Änderung A1 (2015)³⁷
- § **DIN EN 1992-2:** Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln

37 Der hier nicht angeführte Eurocode DIN EN 1992-1-2 beschreibt die Tragwerksbemessung für den Brandfall.

- § **DIN EN 1992-2/NA:** Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln
- § **DIN EN 1994-1-1:** Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau
- § **DIN EN 1994-1-1/NA:** Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau³⁸
- § **DIN EN 1994-2:** Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 2: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für Brücken
- § **DIN EN 1994-2/NA:** Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 2: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für Brücken

3.3. Weitere internationale Normen

- § **DIN EN 197-1:** Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement
- § **DIN EN 197-2:** Zement, Teil 2: Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit
- § **DIN EN 206:** Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; mit Änderung A2 (2021)
- § **DIN EN 450:** Flugasche für Beton, Teile 1 und 2
- § **DIN EN 934:** Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel, Teile 1, 2 und 5
- § **DIN EN 1168:** Betonfertigteile - Hohlplatten
- § **DIN EN 1504:** Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Güteüberwachung und Beurteilung der Konformität, Teile 1 bis 10
- § **DIN EN 10080:** Stahl für die Bewehrung von Beton - Schweißgeeigneter Betonstahl - Allgemeines
- § **DIN EN 10348-2:** Stahl für die Bewehrung von Beton - Verzinkter Betonstahl, Teil 2: Verzinkte Bewehrungsstahlerzeugnisse
- § **DIN EN 12620:** Gesteinskörnungen für Beton
- § **DIN EN 13055:** Leichte Gesteinskörnungen
- § **DIN EN 13224:** Betonfertigteile - Deckenplatten mit Stegen
- § **DIN EN 13225:** Betonfertigteile - Stabförmige tragende Bauteile
- § **DIN EN 13263-1:** Silikastaub für Beton, Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien

³⁸ Eurocode DIN EN 1994-1-2 beschreibt die Tragwerksbemessung für den Brandfall.

- § DIN EN 13369: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile
- § DIN EN 13377: Industriell gefertigte Schalungsträger aus Holz - Anforderungen, Klassifikation und Nachweis
- § DIN EN 13670: Ausführung von Tragwerken aus Beton
- § DIN EN 13747: Betonfertigteile - Deckenplatten mit Ortbetonergänzung
- § DIN EN 14216: Zement - Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
- § DIN EN 14843: Betonfertigteile - Treppen
- § DIN EN 14889-1: Fasern für Beton, Teile 1 und 2 (Stahlfasern und Polymerfasern)
- § DIN EN 14992: Betonfertigteile - Wandelemente
- § DIN EN 15037: Betonfertigteile - Balkendecken mit Zwischenbauteilen, Teile 1 und 2
- § DIN EN 15167-1: Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel, Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien
- § DIN EN 15564: Betonfertigteile - Kunstharzbeton - Anforderungen und Prüfverfahren

3.4. Richtlinien und Merkblätter

3.4.1. DAfStb-Richtlinien

Richtlinien herausgegeben vom *Deutschen Ausschuss für Stahlbeton e.V.* (DAfStb)

- ▶ DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen
- ▶ DAfStb-Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton)
- ▶ DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton
- ▶ DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
- ▶ DAfStb-Richtlinie Qualität der Bewehrung – Ergänzende Festlegungen zur Weiterverarbeitung von Betonstahl und zum Einbau der Bewehrung
- ▶ DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (**BUmwS**)
- ▶ DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (**SVB-Richtlinie**)
- ▶ DAfStb-Richtlinie Wärmebehandlung von Beton
- ▶ DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (**Alkali-Richtlinie**)

- ▶ DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (**WU-Richtlinie**)
- ▶ DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel
- ▶ DAfStb-Richtlinie Anforderungen an Ausgangsstoffe zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2
- ▶ DAfStb-Richtlinie Verwendung von siliziumreicher Flugasche und Kesselsand in Betonbauteilen in Kontakt mit Boden, Grundwasser oder Niederschlag
- ▶ DAfStb-Richtlinie Belastungsversuche an Betonbauwerken
- ▶ DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton

3.4.2. Zementmerkblätter

Merkblätter herausgegeben vom *Verein Deutscher Zementwerke e.V. (vdz)*

- ▶ Merkblatt B1: Zemente und ihre Herstellung
- ▶ Merkblatt B2: Gesteinskörnungen für Normalbeton
- ▶ Merkblatt B3: Betonzusätze, Zusatzmittel und Zusatzstoffe
- ▶ Merkblatt B4: Frischbeton – Eigenschaften und Prüfungen
- ▶ Merkblatt B5: Überwachen von Beton auf Baustellen
- ▶ Merkblatt B6: Transportbeton
- ▶ Merkblatt B7: Bereiten und Verarbeiten von Beton
- ▶ Merkblatt B8: Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons
- ▶ Merkblatt B9: Expositionsklassen für Betonbauteile im Geltungsbereich des EC2
- ▶ Merkblatt B11: Massige Bauteile aus Beton
- ▶ Merkblatt B13: Leichtbeton
- ▶ Merkblatt B18: Risse im Beton
- ▶ Merkblatt B19: Zementestrich
- ▶ Merkblatt B20: Zusammensetzung von Normalbeton – Mischungsberechnung
- ▶ Merkblatt B21: Betonieren bei extremen Temperaturen
- ▶ Merkblatt B27: Ausblühungen – Entstehung, Vermeidung
- ▶ Merkblatt B29: Selbstverdichtender Beton – Eigenschaften und Prüfungen
- ▶ Merkblatt H8: Sichtbeton – Gestaltung von Betonoberflächen
- ▶ Merkblatt H10: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton
- ▶ Merkblatt H11: Fugen und ihre Abdichtung in WU-Bauwerken aus Beton
- ▶ Merkblatt S1: Fahrbahndecken für Straßen
- ▶ Merkblatt S2: Der Bau von Betonfahrbahndecken für Straßen
- ▶ Merkblatt T1: Industrieböden aus Beton

3.4.3. Betonmerkblätter

Merkblätter herausgegeben vom *Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein e.V.* (DBV)

- ▶ DBV-Merkblatt Sichtbeton: DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton
- ▶ DBV-Merkblatt Betonschalungen und Ausschallfristen

3.4.4. Arbeitsblätter Bewehrung

- ▶ Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, hrsg. vom Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

4. Klassifizierungen und Bezeichnungen

4.1. Bezeichnungen von Zementen³⁹

Art des Zements			Zusätzliche Bestandteile	
Hauptart	Bezeichnung	Kurzzeichen	Bestandteil	Massenanteil %
Normalzemente				
CEM I	Portlandzement	CEM I	-	0
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	Hüttsand	6 - 20
		CEM II/B-S		21 - 35
	Portlandsilikastaubzement	CEM II/A-D	Silikastaub	6 - 10
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	Natürliches Puzzolan	6 - 20
		CEM II/B-P		21 - 35
		CEM II/A-Q	Natürlich getempertes Puzzolan	6 - 20
		CEM II/B-Q		21 - 35
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	Kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 - 20
		CEM II/B-V		21 - 35
		CEM II/A-W	Kalkreiche Flugaschen	6 - 20
		CEM II/B-W		21 - 35
	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	Gebrannter Schiefer	6 - 20
		CEM II/B-T		21 - 35
	Portlandkalksteinzement	CEM II/A-L	Kalkstein	6 - 20
CEM II/B-L		21 - 35		
CEM II/A-LL		6 - 20		
CEM II/B-LL		21 - 35		
Portlandkompositzement	CEM II/A-M	Alle genannten Bestandteile möglich	12 - 20	
	CEM II/B-M		21 - 35	

³⁹ vgl. Tabelle 1 in DIN EN 197-1

CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	Hüttensand	36 - 65
		CEM III/B		66 - 80
		CEM III/C		81 - 95
CEM IV	Puzzolanement	CEM IV/A	Silikastaub, Puzzolane, Flugaschen	11 - 35
		CEM IV/B		36 - 55
CEM V	Kompositzement	CEM V/A	Hüttensand	18 - 30
			Puzzolane, Flugasche (V)	18 - 30
		CEM V/B	Hüttensand	31 - 49
			Puzzolane, Flugasche (V)	31 - 49
Sonderzemente				
VLH III	Hochofenzement	VLH III/B	Hüttensand	66 - 80
		VLH III/C		81 - 95
VLH IV	Puzzolanement	VLH IV/A	Silikastaub, Puzzolane, Flugasche	11 - 35
		VLH IV/B		36 - 55
VLH V	Kompositzement	VLH V/A	Hüttensand	18 - 30
			Puzzolane, Flugasche (V)	18 - 30
		VLH V/B	Hüttensand	31 - 50
			Puzzolane, Flugasche (V)	31 - 50

4.2. Expositionsklassen und Feuchtebeanspruchung⁴⁰

Klasse	Umgebung	Beispiele	max. w/z Wert	mind. Druckfestigkeit ⁴¹	mind. Zementgehalt (kg/m ³) ⁴²
X0	Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall ⁴³	Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost; Innenbauteile ohne Bewehrung	-	C8/10 ⁴⁴	-
Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung					
XC1	trocken oder ständig nass	in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte; ständig in Wasser getauchter Beton	0,75	C16/20	240
XC2	nass, selten trocken	Gründungsbauteile u.ä.			
XC3	mäßige Feuchte	in Gebäuden mit mäßiger oder hoher Luftfeuchte (gewerbliche Küchen, Bäder, Wäschereien, Hallenbäder)	0,65	C20/25	260

40 vgl. Tabellen 1, F.2.1 und F.2.2 in DIN 1045-2; ebenso Tabelle 1 in DIN EN 206

41 Gilt nicht für Leichtbeton.

42 Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

43 Alle Umgebungsbedingungen, ausgenommen Frostangriff, Verschleiß oder chemischer Angriff.

44 Für tragende Bauteile gilt C12/15.

XC4	wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung	0,60	C25/30	280
Bewehrungskorrosion durch Chloride (ausgenommen Meerwasser)					
XD1	mäßige Feuchte	im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen	0,55	C30/37	300
XD2	nass, selten trocken	Solebäder; bei chloridhaltigen Industrieabwässern	0,50	C35/45	320
XD3	wechselnd nass und trocken	Brückenteile mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung; Fahrbahndecken; direkt befahrene Parkdecks	0,45		
Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser					
XS1	salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	0,45	C30/37	300
XS2	unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen		C35/45	320
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen			
Frostangriff mit und ohne Taumittel⁴⁵					
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	Außenbauteile (senkrecht)	0,60	C25/30	280
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen; im Sprühnebelbereich von Meerwasser (senkrecht)	0,55; 0,50	C25/30; C35/45	300; 320
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	offene Wasserbehälter; in der Wasserwechselzone von Süßwasser			
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	taumittelbehandelte Verkehrsflächen; überwiegend waagerechte Bauteile im Spritzwasserbereich von solchen Verkehrsflächen; in Meerwasserwechselzone	0,50	C30/37	320
Betonkorrosion durch chemischen Angriff⁴⁶					
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen; Güllebehälter	0,60	C25/30	280

⁴⁵ Bei durchfeuchtetem Beton, der erheblichem Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist.

⁴⁶ Chemischer Angriff durch natürliche Böden, Grundwasser, Meerwasser und Abwasser.

XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Berührung mit Meerwasser; in betonangreifenden Böden	0,50	C35/45	320
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Futtertische, Kühltürme mit Rauchgasableitung	0,45		
Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung					
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	0,55	C30/37	300
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler	0,55; 0,45	C30/37; C35/45	300;320
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler; Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden; Wasserbauwerke in geschiebebelasteten Gewässern, z. B. Tosbecken	0,45	C35/45	320
Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion					
WO	Beton, der nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt	Innenbauteile des Hochbaus; Bauteile, auf die Außenluft einwirkt ⁴⁷	-	-	-
WF	häufig oder über längere Zeit feuchter Beton	Ungeschützte Außenbauteile; Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume; Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung (Schornsteine, Wärmeübertragerstationen, Filterkammern und Viehställe); massive Bauteile über 80 cm	-	-	-

47 Nicht jedoch Bauteile, auf die z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder Bauteile, die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% ausgesetzt werden.

WA	wie Klasse WF, mit zusätzlicher häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen	bei Meerwassereinwirkung; unter Tausalzeinwirkung ohne hohe dynamische Beanspruchung (z.B. Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern); Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z. B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung	-	-	-
WS	hohe dynamische Beanspruchung und direkter Alkalieintrag	z.B. Betonfahrbahnen; nicht für Hochbau	-	-	-

4.3. Druckfestigkeitsklassen von Normal- und Leichtbeton⁴⁸

Normalbeton	Leichtbeton
Druckfestigkeitsklassen (N/mm ²) Zylinder/Würfel: $f_{ck, cyl} / f_{ck, cube}$	
C8/10	LC8/9
C12/15	LC12/13
C16/20	LC16/18
C20/25	LC20/22
C25/30	LC25/28
C30/37	LC30/33
C35/45	LC35/38
C40/50	LC40/44
C45/55	LC45/50
C50/60	LC50/55
C55/67	LC55/60
C60/75	LC60/66
C70/85	LC70/77
C80/95	LC80/88
C90/105	
C100/115	

⁴⁸ vgl. Tabellen 12 und 13 in DIN EN 206

4.4. Konsistenzarten von Beton⁴⁹

Konsistenzklassen							
Verdichtungsmaß	C0	C1	C2	C3			
	≥ 1,46	1,45 – 1,26	1,25 – 1,11	1,10 – 1,04	-	-	-
Ausbreitmaß in mm		F1	F2	F3	F4	F5	F6
	-	≤ 340	350 - 410	420 - 480	490 - 550	560 - 620	≥ 630
Beschreibung	sehr steif	steif	plastisch	weich	sehr weich	fließfähig	sehr fließfähig
Weitere Eigenschaften							
Mörteleigenschaften	erdfeucht	erdfeucht und etwas nasser	weich	flüssig	sehr flüssig		
Verdichtungsart	starke Rüttler und/oder Stampfen		Rütteln	Rütteln	Entlüften durch Stochern oder leichtes Rütteln		

4.5. Wasseranspruch des Betons: Richtwerte⁵⁰

Sieblinie	k-Wert (Körnungsziffer für Wasseranspruch)	D-Summe der Kornzu- sammensetzung	Wasseranspruch kg/m ³ Frischbeton	
			Konsistenz plastisch	Konsistenz weich
A32	5,48	352	150	170
B32	4,20	480	170	190
C32	3,30	570	190	210
A16	4,60	440	160	180
B16	3,66	534	180	200
C16	2,75	625	210	230
A8	3,63	537	180	200
B8	2,90	610	205	230
C8	2,27	673	230	250

49 vgl. Tafel 3 in Merkblatt B4, *Frischbeton – Eigenschaften und Prüfungen*, in: Zement-Merkblätter; sowie Tabellen 5 und 6 in DIN 1045-2

50 vgl. Tafel 21 in Merkblatt B2, *Gesteinskörnungen für Normalbeton*, in: Zement-Merkblätter

4.6. Überwachungsklassen von Beton⁵¹

Parameter		Überwachungsklassen		
		1	2	3
Druckfestigkeitsklasse Normal- oder Schwerbeton		≤ C25/30	≥ C30/37 ≤ C50/60	≥ C55/67
Druckfestigkeitsklasse Leichtbeton	Rohdichteklassen D1,0 bis D1,4	-	≤ LC25/28	≥ LC30/33
	Rohdichteklassen D1,6 bis D2,0	≤ LC25/28	LC30/33 und L35/38	≥ LC40/44
Expositionsklassen		X0, XC, XF1	XS, XD, XA, XM, XF2, XF3, XF4	-
Besondere Eigenschaften		Stahlfaserbeton Leistungsklasse ≤ L1 – L1,2	Spezialbetone wie: WU-Beton, Strahlen- schutzbeton, selbstverdichtender Beton, Spritzbeton u.a.	-

5. Planung und Ausführung

5.1. Arten von Beton

5.1.1. Normalbeton

Die Trockenrohddichte von Normalbeton beträgt von 2.000 kg/m³ bis zu 2.600 kg/m³. Wird nichts anderes in Ausschreibungsunterlagen erwähnt, ist stets Normalbeton gemeint.

5.1.2. Leichtbeton⁵²

Gefügedichte Betone mit einer Rohdichte unter 2.000 kg/m³ gelten als Leichtbetone. Leichtbetone besitzen eine bessere Dämmwirkung als Normalbeton.⁵³

- 💡 Leichtbeton entspricht in der Mischungszusammensetzung dem Normalbeton, jedoch werden leichte Gesteinskörnungen mit geringer Rohdichte verwendet (üblicherweise Blähton, Blähglas, Blähschiefer sowie Naturbims). Die Trockenrohddichte von Leichtbeton liegt zwischen 800 und 2.000 kg/m³.
- 💡 Gefügedichter Leichtbeton ist aufgrund der erreichbaren Festigkeit und Dauerhaftigkeit für Stahl- und Spannbetonbauwerke aller Expositionsklassen (außer bei XM) bis hin zu Brücken und Off-Shore-Bauwerken geeignet.

Haufwerksporiger Leichtbeton

Dieser Leichtbeton besitzt eine bessere Dämmwirkung als gefügedichter Leichtbeton. Er wird bei Fertigteilen, Mauersteinen und Stahlbetondielen für Dach- und Deckenplatten eingesetzt.

⁵¹ vgl. Tafel 2 in Merkblatt B5, *Überwachen von Beton auf Baustellen*, in: Zement-Merkblätter

⁵² vgl. auch Merkblatt B 13, *Leichtbeton*, in: Zement-Merkblätter

⁵³ Die Norm-Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit liegen im Bereich oberhalb von 0,44 W/(m·K).

5.1.3. Infraleichtbeton⁵⁴

Unterhalb einer Rohdichte von 800 kg/m³ handelt es sich um Infraleichtbeton. Er ist nicht genormt und erfordert eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

- 💡 Mit Infraleichtbeton kann die tragende und wärmedämmende Gebäudehülle monolithisch realisiert werden. Dazu werden auch Zusatzstoffe verwendet. Putz und Wärmedämmschichten können ggf. entfallen.
- 💡 Die geringe Rohdichte führt jedoch zu einer starken Reduktion der Betondruckfestigkeit und des E-Moduls. Die Druckfestigkeit liegt in der Regel bei LC8/9.
- 💡 Durch das poröse Gefüge des Infraleichtbetons ist der Karbonatisierungswiderstand gering, wodurch die Bewehrung durch die Betondeckung allein nicht ausreichend gegen Korrosion geschützt ist. Es muss daher Bewehrung aus verzinktem Stahl, Edelstahl oder Karbonstäben verwendet werden.

5.1.4. Porenbeton

Porenleichtbeton

Dieser Beton wird auf der Baustelle mittels Schaumbildner in fließfähiger Konsistenz hergestellt. Die Rohdichte variiert zwischen 400 und 2.000 kg/m³.

- 💡 Porenleichtbeton wird für wärmedämmende Bauteile, für leichte Ausgleichsschichten, für Verfüllungen von Hohlräumen aller Art bis hin zu Stollen und Tanks oder für Trag- und Sauberkeitsschichten eingesetzt.

Bauteile aus Porenbeton

bestehen aus werksgefertigtem Porenbeton. Es handelt sich um Mauersteine, Wandtafeln oder Deckenplatten.

- 💡 Porenbetonbauteile bieten eine gute Kombination von Rohdichte (250 bis 1.000 kg/m³), Festigkeit (2 bis 8 N/mm²) und Wärmeleitfähigkeit (ab 0,07 W/(m·K)).

5.1.5. Selbstverdichtender Beton (SVB)⁵⁵

Selbstverdichtender Beton (SVB) kommt bei dichter Bewehrungslage oder bei komplizierten Bauteilformen zum Einsatz. Normales Rütteln würde hier nicht das gewünschte Ergebnis erzielen. Hergestellt wird SVB durch ein Fließmittel auf Basis von Polycarboxylat-Ethern (PCE).

- 💡 SVB enthält bei gleichem Zementgehalt und Wasserzementwert mehr Fließmittel und mehr Mehlkorn als Normalbeton.
- 💡 Die Festbetoneigenschaften eines SVB entsprechen denen eines Normalbetons. Selbstverdichtender Beton kann normalfest und hochfest sein.
- 💡 SVB bildet selbst feinste Reliefs der Schalung im Negativ ab, was gestalterische Möglichkeiten eröffnet.

5.1.6. WU-Beton⁵⁶

WU-Konstruktionen verhindern den Durchtritt von flüssigem Wasser in Beton (von Bodenfeuchte bis zu drückendem Wasser). Der Bemessungswasserstand muss bei der Planung bekannt sein.⁵⁷

54 vgl. auch Merkblatt B 14, *Infraleichtbeton*, in: Zement-Merkblätter

55 vgl. auch Merkblatt B 29, *Selbstverdichtender Beton – Eigenschaften und Prüfung*, in: Zement-Merkblätter

56 vgl. Merkblatt H 10, *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton*, in: Zement-Merkblätter, sowie DAfStb-Richtlinie, *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton* („WU-Richtlinie“)

57 Neben dem hydrostatischen Wasserdruck muss ein eventueller chemischer Angriff durch Grundwasser oder Boden berücksichtigt werden.

Nutzungsklassen

- ▶ Die Nutzungsklasse A ist die Variante für hochwertig genutzte Bauwerke (Wohnbau etc.). Es dürfen keine Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche innen (luftseitig) als Folge eines Wasserdurchtritts auftreten.
- ▶ Bei Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche zulässig (z.B. Garagen, Schächte, Lagerräume). Feuchtstellen dürfen im Bereich von Trennrissen, Sollrissquerschnitten, Fugen und Arbeitsfugen auftreten.

Anforderungen an WU-Beton

- 💡 Zur Herstellung von WU-Bauwerken ist ein Beton mit hohem Wassereindringwiderstand zu verwenden. Die Mindestdruckfestigkeitsklasse beträgt C25/30, der Mindestzementgehalt 280 kg/m³. Die Einbaukonsistenz des Betons sollte der Konsistenzklasse F3 oder weicher entsprechen.

Beanspruchungsklassen WU-Beton

Beanspruchungsklasse 1	ständig oder zeitweise drückendes Wasser (Grundwasser, Schichtenwasser, Hochwasser), WU-Dächer	w/z-Wert $\leq 0,55$ ⁵⁸
Beanspruchungsklasse 2	Bodenfeuchte, an der Wand ablaufendes Wasser	w/z-Wert $\leq 0,60$

Empfohlene Mindestbauteildicken⁵⁹

	Beanspruchungs- klasse	D _{min} in mm		
		Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
Wände	1	240	240 (120) ⁶⁰	200
	2	200	240 (120)	100
Bodenplatte	1	250	-	200
	2	150	-	100
Dächer ohne Wärmedämmung	1	200	240 (180)	180
Dächer mit Wärmedämmung	1	180	220 (160)	160

5.1.7. Spannbeton

- 💡 Spannbeton unterscheidet sich von Normal-Stahlbeton durch eine Vorspannung der Stahleinlagen, der sogenannten Spannglieder. Durch den Betonverbund ermöglicht dies eine höhere Belastung des Betons. Zusätzlich werden Umlenkkräfte erzeugt, Betonzugspannungen werden vermieden, das Bauteil ist steifer und verformt sich weniger.
- 💡 Spannbeton findet im Brückenbau, im Behälterbau oder bei Bindern oder Flachdecken Anwendung.

⁵⁸ Dieser w/z-Wert gilt bei der Mindestbauteildicke (siehe folgende Tabelle); wird diese um mind. 15% überschritten, gilt ein w/z-Wert von 0,60. Ist die Bauteildicke größer als 400 mm, ist bei beiden Beanspruchungsklassen ein w/z-Wert von 0,70 möglich.

⁵⁹ vgl. Tafeln 2 und 3 in vorgenanntem Merkblatt H 10.

⁶⁰ In Klammern hier: Mindestwerte für die Ortbetonergänzung.

- 💡 Sonderfall Vorspannung ohne Verbund: Die Bewehrung kann sich zwischen den Ankerstellen zum Beton verschieben, sie liegt nicht im Beton und ist freigespannt.

5.1.8. Weitere Betone

- ▶ Dränbeton
 - ein haufwerksporiger Beton, der als Deckschicht zur Entwässerung und Lärminderung im Straßenbau eingesetzt wird.
- ▶ Lichtdurchlässiger Beton
 - schichtweise aus feinkörnigem Beton und Glasfasermatten hergestellt.
- ▶ Schleuderbeton
 - Beton mit zentralsymmetrischem Querschnitt (Betonrohre, Masten, Pfähle, Pfeiler).
- ▶ Schwebbeton
 - Beton mit einer Trockenrohddichte von mindestens 2.600 kg/m³; mit Körnungen wie Baryt (Schwerspat), Magnetit, Eisenerz oder Hämatit.
- ▶ Ultrahochleistungsbeton
 - weist neben einer hohen Tragfähigkeit oft auch einen großen Widerstand gegen physikalische oder chemische Einwirkungen auf; Druckfestigkeitsklassen über C50/60 bis C80/95.
- ▶ Feuerbeton
 - Durch ein Gemenge von wärme- und hitzebeständigen, feuerfesten oder porigen Zuschlagstoffen (z.B. Hüttensand, Hochofenschlacke, Tabulartonerde) kann die Hitzebeständigkeit des Betons bis zu 1500° C (oder sogar 2000°C) erhöht werden; Einsatzbereiche sind Kernreaktoren, Industrieanlagen, Schornsteine, Behälter.

5.2. Bewehrung⁶¹

Für Stahlbetonbewehrungen wird gerippter oder profilierter Stahl eingesetzt. Die Rippen bewirken eine Kraftübertragung zwischen dem Beton und dem Stahl. Bewehrungen werden als Stabstahl oder als verschweißte Matte verwendet.

- 💡 Bewehrungen dienen zur Aufnahme von Biege-, Torsions- und Zugkräften, in manchen Fällen (Stützen) nehmen sie auch Druckkräfte auf.

5.2.1. Betondeckung

Die Umschließung des Bewehrungsstahls durch Beton schützt ihn vor Korrosion. Bewehrungsstahl kann auch verzinkt oder mit Epoxid beschichtet werden; ebenso wird nichtrostender Stahl angewendet.

- 💡 Die Betondeckung soll i.d.R. 2,5 cm bis 5 cm betragen. Das Maß der Betondeckung hängt von den Umwelteinflüssen, den Korngrößen, den Betonoberflächen, dem geforderten Brandschutz und von den Durchmessern der Stahleinlagen ab.
- 💡 Die Berechnung der Betondeckung erfolgt nach DIN EN 1992-1-1 Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*.

61 vgl. auch die Arbeitsblätter: *Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01*, hrsg. vom Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.

Errechnete Betondeckung nach Eurocode 2⁶²

Expositionsklasse	Festigkeitsklasse f_{ck}	Stabdurchmesser Φ bzw. Φ_n (mm)	Mindestmaß C_{min} (mm)	Nennmaß C_{nom} (mm)
XC1	$\geq C16/20$	bis 10	$C_{min,dur}=10$	20
		12-14	$C_{min,b}=12-14$	25
		16-20	$C_{min,b}=16-20$	30
		25	$C_{min,b}=25$	35
		28	$C_{min,b}=28$	40
		32	$C_{min,b}=32$	45
XC2 XC3	$\geq C16/20$	bis 20	$C_{min,dur}=20$	35
	$\geq C20/25$	25	$C_{min,b}=25$	35
		28	$C_{min,b}=28$	40
		32	$C_{min,b}=32$	45
XC4	$\geq C25/30$	bis 25	$C_{min,b}=25$	40
		28	$C_{min,b}=28$	40
		32	$C_{min,b}=32$	45
XD1, XS1	$\geq C30/37$	bis 32	$C_{min,dur}^+$ $\Delta C_{dur,Y}=40$	55
XD2, XS2	$\geq C35/45$			
XD3, XS3	$\geq C35/45$			

5.2.2. Betonstabstahl

💡 Betonstabstähle der Sorte B500B werden aus Betonstahl aus abgewickelten, warmgewalzten (WR) Ringen hergestellt. Stabstähle der Sorte B500A werden aus abgewickelten, kaltverformten Ringen (KR) hergestellt.

Duktilitätsklasse A

- ▶ Duktilitätswerte: $R_m / R_e \geq 1,05$ $A_{gt} \geq 2,5\%$
- ▶ Bezeichnung: B500A
- ▶ Werkstoffnummer: 1.0438
- ▶ Lieferform: Ringmaterial (KR) von $\varnothing 6$ mm bis $\varnothing 12$ mm

Duktilitätsklasse B

- ▶ Duktilitätswerte: $R_m / R_e \geq 1,08$ $A_{gt} \geq 5,0\%$
- ▶ Bezeichnung: B500B
- ▶ Werkstoffnummer: 1.0439
- ▶ Lieferformen: Stabstahl von $\varnothing 6$ mm bis $\varnothing 40$ mm
- ▶ Ringmaterial (WR) von $\varnothing 6$ mm bis $\varnothing 16$ mm

5.2.3. Betonstahlmatten

Betonstahlmatten sind eine werkmäßig vorgefertigte flächige Bewehrung. Sie werden daher vorzugsweise als Bewehrung für flächige Bauteile eingesetzt. Betonstahlmatten bestehen aus zwei rechtwinklig sich kreuzenden Drahtscharen, die scherfest miteinander verschweißt sind.

62 vgl. Tafel 16 in Merkblatt B 9, *Expositionsclassen für Betonbauteile im Geltungsbereich des EC2*, in: Zement-Merkblätter. Es gelten hierbei zahlreiche Ausnahmen; es liegt die Anforderungsklasse S3 für Deutschland zugrunde.

- 💡 Es können Betonstähle der Sorten B500A und / oder B500B mit den Durchmessern 6 mm bis 14 mm verwendet werden.
- 💡 Betonstahlmatten (Lagermatten) werden in Längen von 5 m und 6 m und in der Breite von 2,30 m (2,35 m) geliefert.
- 💡 Sie werden vorzugsweise zur Bewehrung von Platten und Wänden herangezogen. Platten können einachsiger oder zweiachsiger gespannt sein.
- 💡 Mattensysteme (R-Matten und Q-Matten) lassen sich einlagig oder mehrlagig verlegen, um auf den erforderlichen Stahlquerschnitt zu kommen.

Lagermatten und Listenmatten

Bei den Betonstahlmatten unterscheidet man zwischen zwei Typen: Lagermatten und Listenmatten.

- ▶ Der Aufbau von Listenmatten wird vom Konstrukteur gewählt und an die besonderen Bewehrungsaufgaben angepasst.
 - Listenmatten werden auf Bestellung in Längen von 3 m bis 12 m (ggf. bis zu 14 m) und in Breiten bis zu 3 m (ggf. bis zu 3,20 m) geliefert.
- ▶ Lagermatten werden nach einem fest vorgegebenen Typenprogramm in Längen von 6,0 m bei einer Breite von 2,30 m mit Stahlquerschnitten von 1,88 cm²/m bis zu 6,36 cm²/m hergestellt.
 - Man unterscheidet Q-Matten mit gleichem Stabquerschnitt in beide Richtungen, und R-Matten mit verschiedenen Stabquerschnitten

Kennzeichnung von Lagermatten

- Art der Lagermatten, R- und Q-Matten
- Angabe der Stahlquerschnittsfläche in mm²/m
- Angabe der Duktilitätsklasse

Kennzeichnungsbeispiel: Baustahlmatte Q 257 A

5.2.4. Bewehrungsdraht

- 💡 Bewehrungsdraht ist kein Betonstahl im Sinne der einschlägigen Normung.
- 💡 Bewehrungsdraht gilt nicht als Bewehrung mit hohem Verbund und darf daher nur für Sonderzwecke eingesetzt werden.
- 💡 Bewehrungsdrähte sind glatt (G) oder profiliert (P) und werden in den Durchmessern 6 mm bis 12 mm hergestellt. Die Festigkeitseigenschaften entsprechen B500A.

5.2.5. Gitterträger

- 💡 Gitterträger sind zwei- oder dreidimensionale, industriell vorgefertigte Bewehrungselemente. Sie bestehen aus einem Obergurt und einem Untergurt (oder mehreren Untergurten) sowie kontinuierlich verlaufenden oder unterbrochenen Diagonalen.
- 💡 Gitterträger dienen im Wesentlichen als Verbund-/Schubbewehrung von Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht.
- 💡 Bei punktförmig gestützten Platten können sie als Durchstanzbewehrung eingesetzt werden.

5.2.6. Faserbewehrungen

Im Vergleich zu Stahl- und Stahlfaserbewehrungen haben Glas- und Karbonfaserverstärkungen den Vorteil, nicht zu korrodieren. Daher fällt auch die nötige Betonüberdeckung deutlich geringer aus, was schlankere Bauteile und einen niedrigeren Materialverbrauch ermöglicht.

Glasfaserbewehrung

- 💡 Man spricht von glasfasermodifiziertem Beton oder von Glasfaserbeton – je nach Menge der zugesetzten Fasern. Ab ca. 5 Vol.-% übernehmen die alkaliresistenten Fasern wesentliche Funktionen der Bewehrung.
- 💡 Glasfaserbewehrungen kommen beispielsweise bei Fassadenbekleidungs-elementen zum Einsatz.

Textilbewehrung

- 💡 Textilbewehrung besteht aus den Stoffen Glas, Basalt, Aramid oder Karbon. Textilbewehrungen können zum Teil hohe Lasten aufnehmen. Zur Verklebung der Filamente werden die Gelege mit einem Reaktionsharz oder einer Dispersion getränkt.
- 💡 Textile Bewehrung ist nicht korrosionsempfindlich und kann exakt positioniert werden. Eine geringe Betonüberdeckung reicht aus.
- 💡 Eingesetzt werden Textilbewehrungen bei Betoninstandsetzungen, Brückenkonstruktionen, Fassadenbekleidungen, Sandwichpaneelen, Schallschutzelementen, Betonmöbeln und Skulpturen.

5.3. Schalungen

Schalungskonstruktionen setzen sich zusammen aus

- ▶ Stützkonstruktion
- ▶ Schalhaut
- ▶ Aussteifungskonstruktion
- ▶ Verbindungsmitteln und Zubehör (Abstandhalter, Hülsen, Schalungsanker etc.)

💡 Schalhäute und Schalkonstruktionen bestehen meist aus Holz, Stahl, Aluminium oder Kunststoff.

💡 Bei objektabhängigen Schalungen ist ein individueller Schalelemententwurf notwendig.

💡 Bei objektunabhängigen Schalungen ist die sichtbare Oberfläche eher zweitrangig. Standardisierte Schalelemente werden objektunabhängig eingesetzt. Es gibt Rahmenschalungen, Stützenschalungen, Trägerschalungen, Paneelschalungen und Unterzugsysteme oder Deckentische.

5.3.1. Saugende und nicht saugende Schalungen

💡 Saugende Schalungen entziehen dem Beton während des Abbindeprozesses im oberflächennahen Bereich Wasser.

💡 Nicht saugende Schalungen werden aus kunststoffvergüteten Holzelementen, Stahlelementen oder Kunststoffelementen unterschieden. Auf diese Weise können glatte Oberflächen hergestellt werden, da Überschusswasser nicht abgeleitet werden kann.

💡 Trennmittel werden eingesetzt, um den festen Kontakt zwischen Schalhaut und Frischbeton zu verhindern. Zudem schützen sie die Schalelemente.

5.3.2. Besondere Schalungstechniken

Kletterschalung

💡 Kletterschalungssysteme sind Wandschalungssysteme (Träger- oder Rahmenschalung) mit auf dem Bauwerk abgestützten Kletterkonsolen. Sie werden in regelmäßigen Abständen (nach Abbinden des Betons) versetzt = nach oben gezogen.

💡 Kletterschalungen können mit dem Kran versetzt werden oder werden mit Seilzügen oder hydraulischen Hubsystemen gehoben (selbstkletternde Schalung).

💡 Gleitschalungen werden kontinuierlich versetzt.

Verlorene Schalung

💡 Verlorene Schalung wird an der Konstruktion befestigt und nach Abbinden des Betons nicht entfernt.

5.4. Betonoberflächen⁶³

5.4.1. Sichtbeton nach Merkblatt

Sichtbetonflächen unterliegen genauen Definitionen und werden im Merkblatt Sichtbeton in allen Anforderungen beschrieben.

Sichtbetonklassen

- ▶ SB 1: Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen, z.B. Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung
- ▶ SB 2: Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z.B. Treppenhausräume, Stützwände
- ▶ SB 3: Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z.B. Fassaden im Hochbau
- ▶ SB 4: Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, repräsentative Bauteile im Hochbau

Die definierten Klassen von Sichtbeton hängen ab von

- ▶ Textur
- ▶ Porigkeit
- ▶ Farbtongleichmäßigkeit
- ▶ Ebenheit
- ▶ Fugenausbildung (Arbeitsfugen, Schalhautfugen)
- ▶ Schalhautausbildung

Sichtbetonklasse		Textur	Porigkeit				Ebenheit	Arbeitsfugen, Schalhautfugen	Zusätzlich: Schalhaut- klasse	
			Gleichmäßigkeit Farbton		Arbeitsfugen, Schalhautfugen					
			s	ns	s	ns				
Anforderungen Sichtbeton	geringe	SB 1	T1	P1		FT1		E1	AF1	SHK1
	normale	SB 2	T2	P2	P1	FT2		E1	AF2	SHK2
	besondere	SB 3	T2	P3	P2	FT2		E2	AF3	SHK3
		SB 4	T3	P4	P3	FT3	FT2	E3	AF4	SHK4

5.4.2. Bearbeitung der Betonoberfläche

- 💡 Die Sichtbetonfläche kann aber auch durch nachträgliche Bearbeitung, strukturierte Schalung, Auswaschung, Pigmente u.a. gestaltet werden.
- 💡 Die Betonoberfläche kann mit mechanischen oder chemischen Mitteln oder aber mit steinmetzartigen Mitteln bearbeitet werden.

⁶³ vgl. u.a. Merkblatt H 8, *Sichtbeton – Techniken der Flächengestaltung*, in: Zement-Merkblätter, sowie Merkblatt Sichtbeton, hrsg. vom DBV

Oberflächen hergestellt bei Betonherstellung

- ▶ Absäuern
 - Mittels verdünnter Säuren, z.B. Salzsäure, wird die oberste Zementhaut entfernt.
- ▶ Waschbeton
 - Durch Auswaschen des Zementleims werden mithilfe eines flächendeckenden Verzögerers unterschiedliche Gesteinskörnungen an der Oberfläche sichtbar.
- ▶ Fotobeton
 - Mittels Siebdruckverfahren und Abbindeverzögerer werden Folien beschichtet und in die Fertigteilform eingelegt.

Oberflächen durch mechanische Bearbeitung

- ▶ Schleifen
 - Die Zementhaut und die Gesteinskörnung werden an- bzw. abgeschliffen; danach Auftrag einer Lasur.
- ▶ Polieren
 - Die Oberfläche wird durch feine Schleifmittel glänzend geschliffen.
- ▶ Sandstrahlen
- ▶ Flammstrahlen
- ▶ Höchstdruckwasserstrahlen
 - mit einem Druck von über 1.500 bar

Handwerkliche Bearbeitung

- ▶ Bossieren
 - Bearbeitung mit einem Bossierhammer oder dem Setzeisen ca. 5 bis 6 mm tief.
- ▶ Spitzen
 - Fläche wird mit Spitzeisen und Hammer Schlag für Schlag 5 bis 10 mm tief bearbeitet.
- ▶ Scharrieren
 - Betonoberfläche wird mittels eines Scharriereisens oder einer Scharriermaschine gleichmäßig aufgeschlagen.
- ▶ Stocken
 - Mithilfe eines Stockhammers beziehungsweise einer Stockmaschine oder eines Pressluftmeißels entsteht eine grobkörnige ebene Struktur.

5.4.3. Farbiger Beton

Farbiger Beton lässt sich durch die Eigenfarbe des Betons, durch Pigmente oder Beschichtungen herstellen.

Herstellung von Farbe durch Verwendung von

- ▶ Portlandzement: mittelgrau bis dunkelgrau
- ▶ Portlandölschieferzement: rotbraun
- ▶ Weißzement: nahezu weiß

- ▶ Basalt: schwarz
- ▶ Eisen und Kupfer: grün und bräunlich
- ▶ Farbpigmenten: fast beliebig

5.4.4. Oberflächenschutz

- 💡 Beschichtungen können auch Schutz gegen mechanische und chemische Einflüsse bieten oder Risse überbrücken. Die Systeme basieren meist auf Polymerdispersionen, Polyurethanen, Epoxidharzen und Siloxanen.

Graffitienschutz

- ▶ Permanentsysteme wirken ca. zehn Jahre lang. Sie sind wetterbeständig, hitze- und kälteresistent, wasser-, öl- und schmutzabweisend.
- ▶ Semipermanente und temporäre Systeme hingegen sind sogenannte Opferschichtsysteme. Sie müssen nach einer Reinigung neu aufgetragen werden.

Hydrophobierung

- 💡 Durch eine Hydrophobierung werden die oberflächennahen, kapillarsaugenden Poren von Baustoffen temporär gegen das Eindringen von Feuchtigkeit imprägniert. Hydrophobierungen besitzen – je nach Bauteilbelastung – verschiedene Eindringtiefen.

5.5. Betonfugen

Fugen können Gestaltungselement (Schalungsstöße o.dgl.) oder technische Notwendigkeit sein.

- ▶ Fugenbänder
 - Die Fugen von Ingenieurbauwerken müssen wirkungsvoll gegen eindringendes Wasser abgedichtet werden.
- ▶ Fugenbandtypen
 - Fugenbänder aus thermoplastischem oder elastomerem Werkstoff werden zur Abdichtung von Dehnungs- und Bewegungsfugen sowie zur Abdichtung von Arbeitsfugen eingesetzt.
- ▶ Fugenbänder für Bewegungsfugen
 - Zur Abdichtung von Fugen mit Dehn- und Scherbewegungen werden Fugenbandformen mit Mittelschlauch verwendet. Bewegungs- bzw. Dehnungsfugenbänder bestehen normalerweise aus einem Dehn- und einem Dichtteil.
- ▶ Fugenbänder für Arbeitsfugen
 - Zur Abdichtung von Arbeitsfugen werden außen und innen liegende Fugenbänder verwendet.

Fugenbleche

Fugenbleche werden zur Abdichtung in Arbeitsfugen mit durchlaufender Bewehrung eingebaut. Die Blechschlenkel werden in den Beton eingebettet.

Kommentar

Zement gehört zu den meistgenutzten Substanzen auf der Erde. Beton ist verantwortlich für 6% der globalen Kohlendioxidemissionen. Kohlendioxid fällt jedoch weniger beim Energieverbrauch im Herstellungsprozess von Beton an, sondern als Resultat einer chemischen Reaktion im verwendeten Kalkstein.

Die Emissionen aus dieser Reaktion lassen sich nur senken, wenn der Kalkstein ersetzt wird durch andere Substanzen. Doch sind Hüttensand, Flugasche und diverse Zuschlagstoffe nur begrenzt verfügbar und erfordern überdies oft lange Transportwege.

Aus diesem Grund wird an Alternativstoffen geforscht. Eisenhaltige Schlacken oder Magnesiumsilikat, gewonnen aus Olivin, kommen in Frage. Ebenso die Nutzung des anfallenden Kohlendioxids zur Herstellung von Wasserstoff, oder aber die Zerlegung von Kalk im Vorfeld in seine Elemente. Am Ende muss die Bilanz des Betons verbessert werden, um Nachhaltigkeit und Klimaschutz Genüge zu tun und den wichtigsten Baustoff der Welt guten Gewissens weithin nutzbar zu halten.