
HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

EINLEITUNG

Hochfester Beton (High Strength Concrete, HSC)

- Festigkeitsklassen von **C 55/67** bis **C 100/115**
- Aufgrund besonderer **Dauerhaftigkeit** auch als Hochleistungsbeton (High Performance Concrete, HPC) bezeichnet
- **Voraussetzungen:** Verringerung des **w/z- Wertes** und Einsatz leistungsfähiger **Verflüssiger** seit den 70`er Jahren, Zugabe von **Silicatstaub** seit den 80`er Jahren
- **Betonnormen:** EN 206, DIN 1045-2 (2001-07) behandeln die Festigkeitsklassen bis C 100/115
- **Zustimmung im Einzelfall** für höhere Festigkeitsklassen bis zu 260 N/mm² (Ultra-hochfester Beton, UHPC) erforderlich
- Unter **Laborbedingungen** bereits Festigkeiten bis 800 N/mm² erreicht

EINLEITUNG

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Stoffliche Grundlagen

- 5 Stoffsystem mit den Ausgangsstoffen: Zement, Zuschlag, Wasser, Zusatzstoffe und Zusatzmittel
- Haupteinflussfaktoren auf die Betoneigenschaften: Die Art sowie Dosierung der Ausgangsstoffe
- Betonrezepturen normalfester Betone, hochfester Betone und ultra-hochfester Betone unterscheidet sich wesentlich voneinander



TECHNOLOGIE – Stoffliche Grundlagen

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Herstellung- und Verarbeitung

In den Betonnormen EN 206, DIN 1045-2 sind **Rezepturen für hochfeste Betone** bis zu Festigkeitsklassen C 100/115 enthalten. In Einzelfällen, bei örtlich vorhandenen Ausgangsstoffen mit besonderen Eigenschaften, muss die Betonrezeptur erneut Abgestimmt werden. Es ist dann eine bauaufsichtliche Zustimmung einzuholen.

Typischer Herstellungsprozess

- Durchmischen des Zuschlags und Zements
- Zugabe von Anmachwasser
- Zugabe der Silicatstaub- Suspension
- KonsistenzEinstellung durch Fließmittelzugabe
- Zugabe von Verzögerungsmitteln bei längeren Transportwegen vom Betonherstellungswerk zur Baustelle

Die **Verdichtung des Frischbetons** erfordert einen größeren Energieaufwand, die Eintauchabstände der Innenrüttler werden halbiert

Der **Güthenachweis** über die Druckfestigkeit ist durch eine häufigere Herstellung von Probekörpern zu erbringen

TECHNOLOGIE – Herstellung- und Verarbeitung

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Festigkeits- und Hydrationswärmeentwicklung

- Im Erhärtungsprozess entstehen **hohe Frühfestigkeiten** sowie eine **erhöhte Hydrationswärmeentwicklung**
- Die **hohe Betontemperatur** kann einen **Wassermangel** und daraus resultierende erhöhte Eigenspannungen und Mikrorissbildungen im jungen Beton auslösen, im ungünstigsten Fall treten Trennrisse auf
- Die Betontemperatur sollte 60°C nicht überschreiten

Maßnahmen zur Verminderung der Temperatur:

- Absenkung der Frischbetontemperatur
- Zemente mit langsamer Festigkeitsentwicklung, z.B. Zemente größerer Aufmahlung, Hochofenzemente CEM III, Portlandkompositzemente II

TECHNOLOGIE – Herstellung- und Verarbeitung

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung **beugt die Austrocknung des Betons** vor

- Die Austrocknung erhöht die Gefahr der Rissbildung, vermindert die Endfestigkeit und den Widerstand des Betons gegen äußere Angriffe
- Die Nachbehandlung dauert an bis eine Betonfestigkeit erreicht wird, die die Bildung von Rissen verhindert
- Bei hohen Frühfestigkeiten ist die Nachbehandlungsdauer dementsprechend kurz
- Die **Nachbehandlungsdauer resultiert aus** den Umgebungsbedingungen, der Betonrezeptur, sowie der Festigkeitsklasse- und der Festigkeitsentwicklung der Zementart
- In der Regel beträgt die Nachbehandlungsdauer 2 Tage für Innenbauteile und 2 bis 3 Tage für Außenbauteile



B4: Nachbehandlung der Betonoberfläche, Quelle 2

TECHNOLOGIE – Herstellung- und Verarbeitung

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Dauerhaftigkeit

Hochfeste Betone weisen gegenüber normalfesten Betonen eine weit **verbesserte Dauerhaftigkeit** auf. Insbesondere beim:

- Widerstand gegen chemische Angriffe
- Mechanischen Widerstand

Widerstand gegen chemisch Angriffe

Grundvoraussetzung für einen chemischen Angriff ist das Eindringen gasförmiger oder flüssiger Medien in den Beton

- Mit sinkender Porosität und feiner werdendem Porensystem ist der hochfeste Beton gegen den Transport von Gasen und Flüssigkeiten infolge des Druckgefälles und kapillaren Saugens zunehmend undurchlässig
- Intaktes Betongefüge ohne Materialfehler vorausgesetzt

Eigenschaften – Dauerhaftigkeit

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Widerstand gegen chemische Angriffe

Es ist zwischen **lösenden und treibenden Angriffen** zu unterscheiden

- **Lösender Angriff durch Säuren** mit sehr niedrigem PH- Wert wandelt die schwerlöslichen Calciumsalze (z.B. Calciumhydroxid) in leichtlösliche um, der Beton erleidet einen Masseverlust
- Die **puzzolanische Reaktion** (Silicatstaub, Flugasche, Hüttensand) bindet das Calciumhydroxid in relativ kalkarme CSH- Phasen ein

Der **treibende Angriff** verursacht die Bildung von Reaktionsprodukten mit höherem Volumenanspruch als bei den Ausgangsstoffen. Das ist der Fall beim **Sulfatangriff** und der **Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)**.

- **Sulfatangriff**: Die **puzzolanische Reaktion** bindet die Alkali- Ionen des Zements in die Hydrationsprodukte ein (Begrenzung der treibenden Ettringitbildung), Verminderung des Calciumhydroxidgehalts in der Poren (Verschlechterung der Bedingungen zur Ettringitbildung)
- **Alkali-Kieselsäure-Reaktion**: Einbindung der Alkali-Ionen in die Hydrationsprodukte

Eigenschaften – Dauerhaftigkeit

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Karbonatisierung und Korrosionsschutz der Bewehrung

Beim Vorgang der Karbonatisierung sind neben der **Porosität** des Betons auch **Diffusionsvorgänge** (Transport von Molekülen und Ionen durch Konzentrationsgefälle) zu beachten

- In der Luft enthaltene saure Gase (Kohlendioxid, CO_2) **neutralisieren das alkalische (basische) Milieu** des Betons. Auf den Stahleinlagen bildet sich keine Schutzschicht mehr
- Durch die höhere Dichte wird die **Karbonatisierungsgeschwindigkeit** stark vermindert.
Untersuchung von Guse: Bei Probekörpern mit einem w/z- Wert von 0,3 beträgt die Karbonatisierungstiefe nach 2,5 Jahren 10% der Karbonatisierungstiefe von Vergleichskörpern mit einem w/z- Wert von 0,5
- Die puzzolanische Reaktion des Silicatstaubs reduziert den PH-Wert und damit das **Chloridbindevermögen des Zementleims**. Gelangen Chloride (Cl^- -Ionen) durch Risse im Beton oder Diffusion bis zur Bewehrung, verursachen sie eine Chlorid- Korrosion. Dieser Effekt wird jedoch durch die erhöhte Dichtigkeit und elektrostatischen Widerstand des hochfesten Betons mit Silicatstaubzugabe kompensiert.

Eigenschaften – Dauerhaftigkeit

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Widerstand gegen Frost- Taumittleinwirkung

Der Frost- Taumittelwiderstand steigt mit sinkendem **w/z-Wert** und bei Zugabe von **Silicatstaub**

- Abweichend belegen einzelne Untersuchungen, dass in Einzelfällen von geringerer Verbesserung auszugehen ist
- Daher fordert die DAfSTB- Richtlinie für Zielwerte einen Nachweis im Rahmen einer Eignungsprüfung

Eigenschaften – Dauerhaftigkeit

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Brandschutz

Das Brandverhalten von Bauteilen aus hochfestem Beton **unterscheidet sich wesentlich** von Bauteilen aus normalfestem Beton

Hochfester Beton neigt im Brandfall zu **frühzeitigen Abplatzungen**

- **Ab etwa 150°C** wird das physikalisch gebundene Wasser freigesetzt und verdampft. Aufgrund des dichten Betongefüges kann der Dampf nicht ungehindert entweichen, der Abbau des Dampfdrucks erfolgt durch Abplatzungen der Betondeckung

- Im Bereich zwischen 150°C und 300°C entstehen **Festigkeitsverluste von bis zu 30%**

- Die schnellere Aufheizung des inneren Bauteilbereichs beschleunigt die Tragfähigkeitsminderung

Zugabe von **Polypropylenfasern** (Zusatzstoff) verbessert das Brandverhalten (Einordnung in die Feuerwiderstandsklasse F120)

- Die Kunststofffasern schmelzen bei 150°C und **hinterlassen röhrenförmige Poren**, durch die der Wasserdampf entweichen kann, die Dosierung beträgt 1,5 kg/m³ bis max. 4 kg/m³ Beton

- Größere Mengen wirken sich nachteilig auf die Druckfestigkeit des Betons sowie auf die Verarbeitbarkeit des Frischbetons aus

Eigenschaften – Brandschutz

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Eigenschaften

Brandschutz

Quarzistische Zuschläge schmelzen bei ca. 600°C, es tritt eine plötzliche Minderung Tragfähigkeit des Bauteils ein

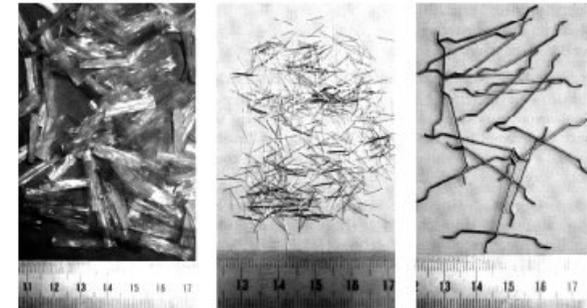
- Daher ist **Basaltgestein** vorzuziehen

Weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Brandverhaltens:

- Einbringen von **Stahlfasern** (aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit nicht sinnvoll)

- Einbringen einer Mischung von **Polypropylenfasern** und **Stahlfasern** (nur bei bestimmten Mengenverhältnissen sowie Länge der Stahlfasern sinnvoll)

- Einbau einer **zusätzlichen Netzbewehrung** im äußeren Bereich der **Betondeckung** (relativ aufwendig)



B5: Polypropylenfasern, gerade Stahlfasern, Stahlfasern mit Endhaken, Quelle 2



B6: Oberflächennahe Brandschutzbewehrung einer Stütze, Quelle 1

Eigenschaften – Brandschutz

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Anwendung

Anwendungsbereiche (Auszug Quelle: 1, Seite: 92/94)

- Druckbeanspruchte Bauteile
- Biegebeanspruchte Bauteile
- Bauteile mit hoher mechanischer und Umweltbeanspruchung, z.B. Tunnel, Industriefußböden, Wasser- und Abwasserbauten
- Verbundkonstruktionen

Die Erhöhung der Materialkosten bei Anwendung hochfester Betone bedarf einer **Wirtschaftlichkeitsprüfung**

Im **Hochbau** werden bereits seit den 70`er Jahren wirtschaftliche Lösungen mit hochfesten Betonen im Stahlbetonbau angeboten

Im **Brückenbau** steht die Entwicklung relativ am Anfang, es entstand aber bereits eine Vielzahl von Pilotprojekten

Anwendung – Anwendungsbereiche

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Zemente

Zunahme des Zementgehaltes

- Je nach Betonrezeptur zwischen 400 kg/m^3 und 550 kg/m^3
- Hoher Zementgehalt hat als negativen Nebeneffekt: Höhere Hydrationswärmeentwicklung, schlechtere Verarbeitbarkeit des Frischbetons (klebrige, gummiartige Konsistenz), größere Kriech- und Schwindverformungen

Zementart wird definiert nach der Zementnormfestigkeit, Korngrößenverteilung, Klinkerminerologie

- Grundsätzlich sind Zemente der drei Zementnormfestigkeiten ($32,5 \text{ N/mm}^2$, $42,5 \text{ N/mm}^2$, $52,5 \text{ N/mm}^2$) verwendbar, mit CEM I 32,5 ist die Beton- Festigkeitsklasse C 90/95 erreichbar
- In der Regel Portlandzement CEM I 42,5R (rapid) verwendet

TECHNOLOGIE – Zemente

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Anwendung

Druckglieder

Bei den Druckgliedern aus hochfestem Beton übernimmt die **äußere Betondeckung** einen großen **Traglastanteil**, dies steht im Zusammenhang mit größer werdenden **Sprödigkeit** des Materials bei einer Druckfestigkeitszunahme, die **Duktilität** des Betons nimmt ab

- Bei der **Überbeanspruchung** der Druckglieder (insbesondere Stützen) tritt ein **plötzliches Materialversagen** ohne Ankündigung auf (explosionsartiges Ausknicken nach Abplatzen der Betondeckung)

Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Duktilität:

- Umschnürrungsbewehrung
- Verbundstützen mit Stahlprofilumhüllung
- Längsbewehrung (erhöhte Duktilität nicht zu erwarten)
- Querbewehrung, Bügelbewehrung (erhöhte Duktilität ab einem Bewehrungsgrad von 3 Vol.-%)

Biegebauteile

Biegebauteile weisen durch den höheren Elastizitätsmodul eine **größere Biegesteifigkeit** auf



B7: Bruchbild von sprödem hochfestem Beton C 70/85 ohne und mit Fasercocktail, Quelle 2

Anwendung – Druckglieder

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Anwendung

Hochhaus Japan Center in Frankfurt am Main, 1993- 1996

Auswahl des Gebäudeentwurfs vom **Architekten Joachim Ganz**, nach Durchführung eines internationalen Architektenwettbewerbs

Gebäudemaße und Funktion

- Gebäudehöhe: 115,0m
- Seitenlänge: je 36,6m
- 4 Untergeschosse, für die Tiefgarage
- Erdgeschoss und 1.Obergeschoss, öffentlicher Bereich
- 2. Obergeschoss, Teil der Haustechnik
- 3. bis 23. Obergeschoss, Regelgeschosse mit Büronutzung
- 24. bis 26. Obergeschoss, weitere Technikräume und ein Restaurant



B8: Bauphase, Hochhaus Japan Center, Frankfurt am Main, Quelle 7

Anwendung – Hochhaus Japan Center in Frankfurt am Main, 1993- 1996

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Anwendung

Tube in Tube- System, in dem die Lochfassade als äußere Röhre über die Geschoßdecke mit dem Kern als innere Röhre zu einem **Rahmensystem** verbunden werden

- Die einwirkenden Kräfte aus den **Horizontallasten** werden gleichmäßig von beiden Röhren abgetragen
- Der gesamte Rohbau ist in **Stahlbeton** ausgeführt
- Erstes Gebäude, an dem Bauteile aus Beton mit der Festigkeitsklasse C 90/105 ausgeführt wurden
- Erstes Gebäude, an dem hochfester Beton neben den Druckgliedern auch für Biegebauteile angewendet wurde

Anwendung der Betone unterschiedlicher Festigkeitsklassen:

- B 35, Kern des Gebäudes
- **C 90/105, Fassadenelemente vom Erdgeschoss bis zum 11. Obergeschoss**
- B 45, Fassadenelemente vom 12. bis 26. Obergeschoss
- Die Geschossdecken bestehen hauptsächlich aus B35, nur im Anschlussbereich zur Lochfassade aus C 90/105 ist ein Teil der Geschossdecke auch in C 90/105 ausgeführt

Anwendung – Hochhaus Japan Center in Frankfurt am Main, 1993- 1996

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Anwendung

Einsatz des hochfesten Betons an den **Fassade - Rahmenkreuzen**

- Es werden die gewünschten Querschnittsabmessungen mit dem Ziel eines **Zugewinns der Nutzfläche** erreicht
- Die **Bauteildicke** wird auf 35 cm gegenüber 45 cm bei Anwendung des normalfesten Betons reduziert
- Niedrigerer Bewehrungsgrad (3,5%)
- Die Rahmenkreuze der Fassade sind einer kombinierten Beanspruchung aus Normalkraft, Biegung und Querkraft ausgesetzt

Betonrezeptur:

- Hoher Zementgehalt von 520 kg/m³, CEM I 52,5
- Basaltsplitt im Korngruppenbereich 8/11
- Zugabe von Silicatstaub, Polypropylenfasern, Fließmitteln

Hohe Festigkeitsentwicklung:

- 1d, 76,0 N/mm² (Würfel 150 mm²)
- 7d, 104,0 N/mm²
- 28d, 122,0 N/mm²

Anwendung – Hochhaus Japan Center in Frankfurt am Main, 1993- 1996

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

Quellenverzeichnis

1. Hochfester Beton, Hochleistungsbeton – Thomas Richter
2. Hochleistungsbeton – Gert König, Nguyen Viet Tue, Martin Zink
3. Baustoffe, Beton – Skript, Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie, BTU Cottbus
4. Baustoffkunde – Wendehorst Reinhard
5. Hochhaus „Taanustor“ in Frankfurt am Main [Beton- und Stahlbetonbau 92 (1997), Heft 7]
– Josef Hegger, Jürgen Burkhardt
6. Hochhaus Taanustor Japan Center in Frankfurt am Main [Tiefbau, 5/1997]
– Ph. Holzmann AG, Frankfurt/Main
7. www.taanustor.de - Bild 1 und 8
8. www.beton.org - Bild 2

Quellenverzeichnis

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Feingemahlene Zemente (CEM I 42,5R, CEM I 52,5R und CEM I 52,5)

- Entwickeln insbesondere eine höhere Frühfestigkeit und eine etwas höhere Endfestigkeit, die Festigkeitsentwicklung ist nach 2 bis 3 Monaten vollständig abgeschlossen
- In der kürzeren Haupterhärtungsphase (1 bis 7 Tage) entwickeln sie eine hohe Hydrationswärme. Es entstehen dadurch erhöhte Eigen- und Zwangsspannungen im jungen Beton sowie größere Schwind- und Kriechverformungen im erhärteten Beton
- Verbrauchen eine größere Fließmittelmenge

Gröber gemahlene Zemente (CEM I 32,5)

- Entwickeln keine Spitzen in der Hydrationswärmeentwicklung, verfügen über eine längere Nacherhärtungsphase

Veränderte Klinkermineralogie

- Hochofenzemente CEM III oder Portlandkompositzemente CEM II entwickeln eine geringere Hydrationswärme sowie geringere Früh- und 28-d-Festigkeiten, die Nacherhärtungsphase dauert 90 bis 360 Tage, ähnlich hohe Endfestigkeiten wie bei Portlandzementen
- Weisen geringere Schwind- und Kriechverformungen auf, verfügen über längere Verarbeitungszeiten

TECHNOLOGIE – Zemente

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Zuschlag

- **Kennwerte** für Zuschläge variieren je nach Lagerstätte, aber auch innerhalb einer Lagerstätte
- Mögliche **chemische Wechselwirkungen** von Zuschlägen mit bestimmter Zementart möglich
- In Zweifelsfällen ist eine **Zustimmung im Einzelfall** (Eignungsprüfung) einzuholen
- Verwendung von Recycling- Gesteinskörnungen nicht erlaubt

Zuschlageseigenschaften resultieren aus: Kornfestigkeit, E-Modul, Korngrößenverteilung (Sieblinie), Kornform und Oberflächenbeschaffenheit

Kornfestigkeit

- Bei **Naturgestein** im allgemeinen eine ausreichende Festigkeit gegeben, je nach Gesteinart 100-400 N/mm²
- Bevorzugt angewandt sind: **Basalte, Melaphyre und Diabase**
- Bei **künstlichen Zuschlägen**, z.B. Hochofenschlacke oder Blähschiefer ist grundsätzlich eine **Zustimmung im Einzelfall** einzuholen

TECHNOLOGIE – Zuschlag

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Korngrößenverteilung (Sieblinie)

- **Günstige Korngrößenverteilung** schließt bevorzugt die Korngruppe 0/2 und die Korngruppe 8/16 ein
- Vorteilhaft ist ein **gering vorhandener Mehlkorn- und Feinstsandanteil**, die Sande der Korngruppe 0/2 müssen aufbereitet werden (gewachsene Sande), Zuschlag der Korngruppe 8/16 darf keine anhaftenden Gesteinsmehle aufweisen
- **Hohe Mehlkorn- und Feinstsandgehalte** verursachen zähe, klebrige Frischbetone mit erhöhtem Wasser- bzw. Fließmittelanspruch, die Kriech- und Schwindverformungen nehmen zu
- **Größtkorn von 16 mm** bewirkt einen geringeren Wasseranspruch und beeinflusst die Mischbarkeit positiv
- Noch **größere Gesteinskörnungen** lösen allerdings zu hohe Spannungsspitzen im Beton aus

Kornform und Oberflächenbeschaffenheit

- Vorteilhaft ist eine **gedrungene Form**. Längliche oder plattige Körner erhöhen den Wasseranspruch, verringern die Packungsdichte und erschweren die Verarbeitbarkeit
- Unterscheidung zwischen **gebrochenen und ungebrochenen Sanden**: die glatte Kornoberfläche erfordert zwar weniger Bindemittel, die raue Oberfläche dagegen verbessert die Haftung

TECHNOLOGIE – Zuschlag

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Wasserzementwert

- **Zugabewasser:** In der Natur vorkommendes Wasser, das die Eigenschaften des Betons nicht negativ beeinflusst
- **Geringe w/z- Werte**, zwischen der technisch realisierbaren Untergrenze $> 0,2$ und der Obergrenze $< 0,35$
- Keine vollständige Hydratation des erhärteten Betons, **je kleiner der w/z- Wert, umso geringer der Hydrationsgrad**

Zunahme der Zementsteinfestigkeit bei Verringerung des w/z- Wertes

- Festigkeitsklassen bis **C 60/75**, durch Verringerung des w/z- Wertes sowie Fließmittelzugabe, aber **ohne Silicatstaubzusatz**
- **Gründe** für die Zunahme der Zementsteinfestigkeit: Feiner werdendes Porensystem, Abnahme der Kapillarporen, Eigenfestigkeit des unhydrierten Zements (200 – 400 N/mm²)

Dauerhaftigkeit erhöht sich, **Hydrationsreserve** für den Ausgleich von Fehlstellen und Mikrorissen

Gesamtwassermenge resultiert aus: Anmachwasser, Eigenfeuchte der Zuschläge (Kernfeuchte, Oberflächenfeuchte), Wasseranteil der Zusatzstoffe, Wasseranteil der Zusatzmittel

Beim **modifizierten w/z- Wert** wird bei der Berechnung die Zugabe von festigkeitssteigernden puzzolanischen Zusatzstoffen (z.B. Silicatstaub, Flugasche) berücksichtigt

TECHNOLOGIE – Wasserzementwert

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

TECHNOLOGIE

Zusatzmittel

- Konsistenzbeeinflussung des Frischbetons durch **Fließmittel**, vor dem Einbringen besitzt der Beton eine **fließfähige Konsistenz** bei Ausbreitmaßen von ca. 55 bis 65 cm (Setzfließversuch),
- Verlängerung der Verarbeitungszeit durch **Verzögerer**
- Auch der Einsatz von Fließmitteln mit zusätzlich verzögernder Wirkung möglich
- **Luftporenbildner** verbessern ebenfalls die Verarbeitbarkeit, aber es tritt je 1 Vol-% zusätzlicher Luftporen ein **Verlust der Druckfestigkeit** um 3% bis 5%

Sättigungsgrenzen bzw. max. erlaubte Zugabemenge für Zusatzmitteln

TECHNOLOGIE – Zusatzmittel

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE

Zusatzstoffe

- Wichtigster Zusatzstoff ist **Silicatstaub**, dieser fällt bei der Herstellung von Siliciummetallen als Kondensat an
- Als **Suspension** (engl. Slurry) verarbeitet, Anteile von 50% Feststoff und 50% Wasser
- 3 bis 5- fache Druckfestigkeitssteigerung als bei Zugabe gleicher Menge Zement (**3 bis 5- faches Zementäquivalent**)

Festigkeitssteigernde Wirkung

Die **Füllerwirkung** erhöht die Kompaktheit des Zementsteingefüges, Ausfüllen der Porenräume zwischen den Zementpartikeln

- **Mittlere Teilchengröße**: Silicatstaub 0,15 – 0,25 µm, synthetische Fällungskieselsäure 0,015 – 0,019 µm. Hierzu im Vergleich: Zement CEM I 42,5R 15 – 20 µm, Flugasche 10 – 30 µm

- Die Füllerwirkung macht den **Hauptanteil** an der zusätzlichen Festigkeitssteigerung aus (ca. 65% bis 80%), je feiner der Füller desto besser ist die Füllerwirkung

Puzzolanische Sekundärreaktion: Silicatstaub und Calciumhydroxid reagieren zu Calciumsilicathydraten (CSH-Phasen ähnlich)

- Verbesserung des Verbunds zwischen Zementstein und Zuschlag

TECHNOLOGIE – Zusatzstoffe

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis

HOCHFESTER BETON

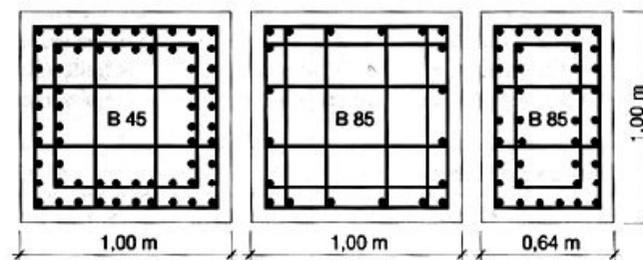
Mündliche Prüfung

BTU Cottbus, Sommersemester 2008
Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie
Lehrstuhlleiter, PD Dr. rer. nat. habil. Klaus- Jürgen Hänger
Prüfungsvorbereitung, Tomasz Bachlinski

TECHNOLOGIE



B2: Bruchflächenbildung Bei Betonen,
Quelle 8



B3: Bewehrungseinsparung bzw. Querschnittsverminderung durch hochfeste Betone am Beispiel von Stützen des Trianon- Hochhauses, Frankfurt am Main, Quelle 1

Die Zugabe von Silicatstaub ist **begrenzt auf 11 Gew.-%** der Zementmenge, die puzzolanische Reaktion vermindert die alkalische Porenlösung, die im Beton den Korrosionsschutz gewährleistet

Silicatstaub beeinflusst nicht die **Frühfestigkeitsentwicklung**, die puzzolanische Reaktion setzt erst nach einigen Tagen ein

Die Zugabe von Silicatstaub oder auch Fällungskieselsäure **unter 5 Gew.-%** der Zementmenge bewirkt zwar keine Festigkeitssteigerung, aber eine bessere Verarbeitung sowie verbesserte Dauerhaftigkeit

Es liegen bislang nur geringe Praxiserfahrungen mit gleichzeitiger Verwendung von Silicatstaub und anderen puzzolanischen Zusatzstoffen, wie z. B. Flugasche oder Hüttensand, insbesondere im Bezug auf die Dauerhaftigkeit

TECHNOLOGIE – Zusatzstoffe

Einleitung / Technologie / Eigenschaften / Anwendung / Quellenverzeichnis