

Probeklausur

Baustoffe und Bauchemie I

Universität: Technische Universität Berlin
Kurs/Modul: Baustoffe und Bauchemie I
Bearbeitungszeit: 180 Minuten
Erstellungsdatum: September 20, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Baustoffe und Bauchemie I

Bearbeitungszeit: 180 Minuten.

Aufgabe 1.

- (a) Skizzieren Sie grob die Herstellung von Portlandzement. Nennen Sie die wesentlichen Rohstoffe und erläutern Sie deren Rolle.
- (b) Beschreiben Sie die Hydratation von Zementmineralien. Geben Sie an, welche Hydratationsprodukte typisch auftreten und wie sich diese auf die Festigkeitsentwicklung auswirken.
- (c) Formulieren Sie die Grundidee der Porenstruktur in einem zementgebundenen Baustoff und erläutern Sie, wie Verdichtung und Zuschläge die Gebrauchsfestigkeit beeinflussen.

Aufgabe 2.

(a) Gegeben seien Zement und Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton. Definieren Sie das Verhältnis Wasser/Zement (w/c) und erläutern Sie dessen Einfluss auf Viskosität, Verarbeitbarkeit und Ersteigenschaft.

(b) Erklären Sie grob die Rolle von Gesteinskörnungen in Beton hinsichtlich Dichte, Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit. Welche Kriterien sind bei der Auswahl der Gesteinskörnungen zu beachten?

(c) Zeigen Sie eine einfache, grobe Beziehung zwischen dem w/c -Verhältnis und der erwarteten Druckfestigkeit auf. Formulieren Sie Ihre Aussage rein qualitativ und verwenden Sie eine passende Gleichung zur Veranschaulichung, z.B. $w/c = \frac{m_{\text{Wasser}}}{m_{\text{Zement}}}$ und eine bildhafte Abhängigkeit von Festigkeit zu w/c .

Aufgabe 3.

- (a) Beschreiben Sie drei gängige Mörtel-/Putzarten im Bauwesen und erläutern Sie deren typische Einsatzgebiete sowie wesentliche Eigenschaften in Bezug auf Haftung, Wasseraufnahme und Verarbeitung.
- (b) Gegeben sei ein Mauermörtel auf Zementbasis. Diskutieren Sie Vor- und Nachteile gegenüber einem Kalkmörtel in Bezug auf Struktur, Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit.
- (c) Nennen Sie Aufbau und typische Schichten eines Außenputzes inklusive eines Grundsatzes zur Untergrundvorbereitung.

Aufgabe 4.

- (a) Stellen Sie drei gängige Dämmstoffe vor und charakterisieren Sie deren Wärmeleitfähigkeit, Aufbau und Anwendungsbereiche.
- (b) Diskutieren Sie ökologische Aspekte von Baustoffen mit Fokus auf Nachhaltigkeit. Welche Kenngrößen sind hier zentral, und wie lassen sich sie für eine pragmatische Bewertung verwenden?
- (c) Geben Sie eine kurze, typische Praxisaufgabe zur Bewertung der Umweltfreundlichkeit eines Dämmstoffsystems an und erläutern Sie, welche Daten hierfür benötigt werden.

Lösungen

Bearbeitungszeit: 180 Minuten.

Aufgabe 1.

(a) Lösung: Die grobe Herstellung von Portlandzement umfasst drei zentrale Schritte:

- Rohstoffaufbereitung und -messen: Die wesentlichen Rohstoffe sind Kalkstein (CaCO_3) als CaO-Quelle und Ton bzw. kaolinartige Materialien (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3). Kalkstein liefert Calciumoxid (CaO); Ton liefert Silikate-Aluminosalze (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wird später als Fließmittelzugabe verwendet.
- Brennen des Rohmaterials zum Klinker: Rohstoffe werden in einem Rotations- oder Wirbelofen bis ca. 1400–1500 °C erhitzt und zu Klinker umgewandelt. In dieser Sinterstufe bilden sich die charakteristischen Minerale C_3S , C_2S , C_3A und C_4AF , die eine zentrale Rolle in der späteren Hydratation spielen.
- Zementherstellung durch Mahlung: Der Klinker wird gemeinsam mit einer geringen Menge Gypsum gemahlen, wodurch Portlandzement entsteht. Gypsum reguliert das Erstarrungsverhalten und verhindert zu schnelles Abbinden durch die Bildung zu großer Mengen von Ettringit.

Rohstoffe und ihre Rollen zusammengefasst:

- CaCO_3 (Kalkstein): Hauptquelle für CaO; liefert Bausteine für die späteren Hydratationsprodukte.
- $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$: Dienen als Rohstoffe für die Formulierung der clinkerminerale (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) und beeinflussen Frühfestigkeit sowie Hydratationsverhalten.
- Gypsum: Reguliert das Abbindeverhalten (verhindert zu rasche Bildung von Ettringit) und steuert damit Setzzeit und Erstfestigkeit.

Für ein typisches Schema: Rohstoffe → Brennen zum Klinker → Klinker + Gypsum → Zement, Mahlprozess.

(b) Lösung: Hydratation der Zementmineralien ist der primäre Treiber der Festigkeitsentwicklung. Die wichtigsten Hydratationsreaktionen betreffen:

- C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) + H_2O → C–S–H (Calcium-Silicat-Hydrogel) + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + Wärme
- C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) + H_2O → C–S–H + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + Wärme (langsamer als C_3S)
- C_3A ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) reagiert mit Wasser und Gypsum zu Ettringit (Aft, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) bzw. später Monosulfat, je nach Gypsum-Verfügbarkeit

Wichtige Folgen:

- Die primären Hydratationsprodukte C–S–H und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bilden ein dichtes Gel/Porensystem, das die Festigkeit aufbaut.
- C–S–H liefert die Festigkeitseigenschaften im Frühstadium und langfristig weiter; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trägt zur chemischen Stabilität bei, erhöht jedoch die Porosität, falls zu viel verbleibt.
- Ettringit bildet sich zu Beginn und beeinflusst Volumenänderungen sowie die Festigkeitseigenschaften; Gypsum reguliert dies, um Rissbildung zu minimieren.

Hydratation ist mit einer charakteristischen Wärmeentwicklung verbunden (Hydratationswärme), die eine Rolle bei Textur und Festigkeitsentwicklung spielt.

(c) Lösung: Grundidee der Porenstruktur in zementgebundenen Baustoffen ist, dass sich ein Mehrphasen-Porzess in Paste und Zuschlägen ausbildet:

- Gelporen ($< 2 \text{ nm}$): sehr feine Poren, im Hydratationsgel enthalten; tragen zur Feuchtecharakteristik bei.
- Kapillarporen (ca. $0,01 \text{ m}$ bis 10 m): dominieren das Transportverhalten und die mechanische Festigkeit; ihre Größe-Verteilung bestimmt Permeabilität und Verformungsverhalten.
- Grobporen ($> 10 \text{ m}$): führen zu größerer Durchlässigkeit und beeinflussen das Abschwächen der Festigkeit.

Ein gravierender Einflussfaktor ist Verdichtung: Je besser verdichtet, desto geringer das Porenvolumen, vor allem die Kapillarporen, was zu erhöhter Festigkeit und geringerer Permeabilität führt. Zuschläge beeinflussen die Porenverteilung durch deren Geometrie, Packungsdichte und Oberflächenzustand:

- Gut abgestufte Zuschläge verringern die Kapillarporen durch bessere Packung.
- Grobkörnige Zuschläge erhöhen die Bruchlastübertragung, können aber die Porenvernetzung erhöhen, wenn die Paste nicht ausreichend verdichtet wird.
- Die Porenstruktur beeinflusst maßgeblich Gebrauchsfestigkeit (Festigkeit, Dauerhaftigkeit, Wasseraufnahme) und Transportprozesse (Diffusion, Permeabilität).

Zusammenfassend: Verdichtung und Zuschläge formen das Porensystem; eng verdichtete, gut abgestufte Zuschläge führen zu einer engen, weniger durchlässigen Pore-Struktur mit erhöhter Festigkeit, während zu grobe Verdichtung bzw. schlecht abgestufte Zuschläge zu einer ungünstigen Porenführung führen können.

Aufgabe 2.

(a) Lösung: Das Verhältnis Wasser/Zement (w/c) ist definiert als das Verhältnis der Masse des hinzugemessenen Wassers zur Masse des Zements:

$$w/c = \frac{m_{\text{Wasser}}}{m_{\text{Zement}}}.$$

Einfluss:

- Verarbeitbarkeit (Frischbeton): Höheres w/c erhöht die Verarbeitbarkeit bzw. Fließfähigkeit (z.B. Slump), da die Paste viskoser wird.
- Früh- und später Festigkeit: Höheres w/c erhöht die Porosität der hydratisierten Matrix, senkt die Dichte und reduziert die Druckfestigkeit signifikant.
- Hydratationsprodukte und Porenstruktur: Mehr Wasser führt zu größeren Kapillarporen, was die Dauerhaftigkeit beeinflusst.

Hinweis: Die optimale Balance zwischen Verarbeitbarkeit und Festigkeit richtet sich nach der konkreten Anwendung (Betonrezeptur, Pumpbarkeit, Oberflächenbild etc.).

(b) Lösung: Rolle der Gesteinskörnungen (Aggregates) in Beton:

- Dichte: Normal- (z. B. Ziegel- bzw. Sandsteingriffe) bis Leicht- bzw. Schwerzuschläge; Dichte beeinflusst das Gesamtgewicht und die thermische Trägheit.

- Wärmeleitfähigkeit: Aggregate beeinflussen die Wärmeleitung; schwere, dichte Gesteine erhöhen oft die Wärmeleitfähigkeit im Porenraum, während leichte Zuschläge die Wärmedämmeigenschaften verbessern können.
- Festigkeit: Hochwertige, gut abgestufte Zuschläge erhöhen die Festigkeit durch bessere Lastübertragung und reduzierte Rissbildung; grob-oxydierte Körner können die Porosität erhöhen, wenn die Paste nicht dicht verdichtet wird.

Auswahlkriterien:

- Korngrößenverteilung (Größenverhältnis/Zusammensetzung) und maximale Körnung.
- Form und Oberflächenbeschaffenheit (kantig vs. glatt) zur Verbesserung der Verankerung mit der Paste.
- Poren- und Feuchtigkeitsaufnahme (Lagerung, Risiko der Nacherniedrigung durch Feuchtigkeit).
- Chemische Beständigkeit und Alkali-Reaktivität (AAR) mit dem Zement.
- Kosten, Verfügbarkeit und Umweltaspekte.

(c) **Lösung:** Grobe, qualitative Beziehung zwischen w/c und erwarteter Druckfestigkeit:

$$F_{\text{Druck}} \propto \frac{1}{(w/c)^m},$$

mit einer typischen, grob angenommenen Exponent m im Bereich von 0.5–1 (je nach Zement, Zusatzstoffen und Mischungsverhältnis). Bildhaft:

- Kleinere w/c (z. B. 0.4–0.5) → hohe Festigkeit (Starke Paste, geringe Porosität).
- Größere w/c (z. B. 0.7–0.9) → deutlich geringere Festigkeit (höhere Porosität, schlechtere Bindung).

Zur Verdeutlichung einer konkreten Gleichung:

$$F_{\text{Druck}} \approx F_0 \left(\frac{(w/c)_{\text{ref}}}{w/c} \right)^m,$$

wobei $(w/c)_{\text{ref}}$ ein Referenzverhältnis ist (z. B. 0.5) und m eine grobe Konstante ($0.5 \leq m \leq 1$). Hinweis: Diese Beziehung ist stark vereinfacht und dient der bildhaften Veranschaulichung; reale Mörtel-/Beton-Systeme müssen mit empirischen Kurven und Normprüfungen validiert werden.

Aufgabe 3.

(a) **Lösung:** Drei gängige Mörtel-/Putzarten im Bauwesen mit typischen Eigenschaften:

- Zementputz (Zementmörtel): Hochfest, geringe Wasseraufnahme, gute Haftung auf festen Untergründen; Verarbeitung relativ zügig; geringe Atmungsaktivität.
- Kalkputz (Kalkmörtel): Höhere Dampfdurchlässigkeit (Atmungsaktivität), gute Haftung auf historischen Substraten, flexible Verformung; längere Abbindezeit, größere Putzstabilität bei Bewegung.
- Kalk-Zementputz (Hybridputz, oft als Kalkzementputz bezeichnet): Mischung aus Vorteilen beider Systeme, bessere Haftung als reiner Kalkputz, bessere Verarbeitbarkeit und verlässliche Festigkeit; geeignet für Außen- und Innenputzsysteme.

Typische Einsatzgebiete und Eigenschaften:

- Haftung: Zementputz sehr gut auf festen, staubfreien Untergründen; Kalkputz bevorzugt bei alter oder poröser Substratstruktur.
- Wasseraufnahme: Kalkputz permeiert seine Diffusionsfähigkeit besser; Zementputz ist weniger diffusionsoffen.
- Verarbeitung: Kalk- und Kalk-Zementputze oft langsamer im Abbinde, aber besser an Dampfdruckspiegel angepasst; Zementputz bietet schnellere Festigkeit und schnelleren Aufbau.

(b) Lösung: Mauermörtel auf Zementbasis vs. Kalkmörtel – Vor- und Nachteile in Bezug auf Struktur, Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit:

- Struktur/Festigkeit: Zementmörtel bietet höhere Druckfestigkeit und geringeren Wasseraufnahme. Kalkmörtel ist in der Regel weicher, flexibler und besser geeignet für historische Bausubstanz, aber mit geringerer Festigkeit.
- Nachhaltigkeit: Kalkmörtel hat tendenziell geringeren Energieeinsatz in der Herstellung und ist atmungsaktiver, was zu besserem Feuchteverhalten beitragen kann. Zementmörtel hat höheren Energieaufwand und größere CO₂-Emissionen pro Masse, aber oft bessere Dauerhaftigkeit unter bestimmten Bedingungen.
- Dauerhaftigkeit: Zementmörtel ist resistenter gegen Druck, aber in feuchtkalten Umgebungen anfälliger für Frost-Treibung, wenn Kapillarporen hoch sind. Kalkmörtel reagiert besser auf Feuchtewechsel, ist aber anfälliger für Salzanreicherung und Abplatzungen, sofern er nicht ordnungsgemäß geschützt ist.

In der Praxis entscheidet die Substratstrategie (Alt/Neu), Feuchteverhalten, historische Bausubstanz und Nachhaltigkeitsziele über die Wahl.

(c) Lösung: Aufbau und typische Schichten eines Außenputzes inkl. Untergrundvorbereitung:

- Untergrundvorbereitung:
 - Sauberkeit sicherstellen (staubfrei, frei von losen Partikeln).
 - Poren öffnen/rauh machen (Schab-, Bürsten- oder Hochdruckreinigung), ggf. Grundierung.
 - Untergrundfeuchte kontrollieren; das Substrat muss tragfähig und frei von Abplatzungen sein.
- Putzträger (Unterputz): Haftbrücke oder Klebeputz als erste Schicht, ggf. Armierung mit Gewebe oder Glasfasern in der Zwischenschicht.
- Zwischenschicht (Armierungsschicht): Dünnschichtputz mit Armierungseinsatz (Gitter-/Glasfasergewebe) zur Sekundärbindung und Rissvermeidung.
- Oberputz (Final-/Deckputz): Mineralischer oder kunstharzbasierter Deckputz; Feine Oberflächenstruktur je nach gewünschtem Finish.
- Abschluss: Schutzanstriche oder Endbeschichtungen (z. B. elastische Schutzsysteme) je nach Witterungseinflüssen.

Typische Schichtenfolge in Kürze: Untergrund → Grundputz (Klebe-/Zementputz) → Armierung → Oberputz (Deckputz) → Oberflächenfinish.

Aufgabe 4.

(a) Lösung: Drei gängige Dämmstoffe mit kurzer Charakterisierung:

- Polystyrol-Hartschaum (EPS): Aufbau aus expandiertem Polystyrol; geringe Wärmeleitfähigkeit (λ ca. 0.032–0.040 W/(m·K)); leicht, formstabil, kostengünstig; vielseitig einsetzbar in Außendämmung.
- Mineralwolle (Glas- oder Steinwolle): Faseriges Material aus Mineralfasern; λ typischerweise ca. 0.040–0.043 W/(m·K); gute Schalldämmung, nicht brennbar, feuchtigkeitsresistent; gute Wärmepolsterung.
- Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR): Hochleistungsdämmstoff mit sehr niedriger Wärmeleitfähigkeit (λ ca. 0.025–0.034 W/(m·K)); gute Druckfestigkeit, sehr gute Dämmleistung pro Dicke; empfindlich gegenüber Brandverhalten, Umweltwirkungen bei Herstellung.

Aufbau, Anwendungsbereiche:

- EPS: Platten oder Slabs, Wärmedämmsysteme für Wände, Dächer; kostengünstig, einfache Handhabung.
- Mineralwolle: Schlitz- und Fassadendämmung, Dämmplatten, gute Brandsicherheit; häufig in Fassaden- und Dachkonstruktionen eingesetzt.
- PUR/PIR: Hochleistungsdämmung, oft in Dachdämmung, Dämmplatten mit geringer Dicke; Anwendungen dort, wo maximale Dämmleistung pro Dicke benötigt wird.

(b) Lösung: Ökologische Aspekte von Baustoffen mit Fokus auf Nachhaltigkeit:

- Zentrale Kenngrößen: Embodied Energy (EE), Global Warming Potential (GWP), Ressourcenverbrauch, Recyclingfähigkeit, Lebensdauer, Feuchtigkeits- und Brandsicherheit, Auswirkungen auf Innenraumluft.
- Pragmatische Bewertung: Lebenszyklusanalyse (LCA), Energieeinsparungen durch Dämmung vs. Energieaufwand für Herstellung, Transport und Entsorgung; Bewertung der Brand- und Gesundheitsaspekte; Berücksichtigung erneuerbarer Rohstoffe.

(c) Lösung: Typische Praxisaufgabe zur Bewertung der Umweltfreundlichkeit eines Dämmstoffsystems und benötigte Daten:

- Typische Aufgabe: Vergleich zweier Dämmstoffsysteme (z. B. EPS vs. Mineralwolle) hinsichtlich Umweltfreundlichkeit über die Lebensdauer; Primäres Ziel ist die Gesamtkohlenstoffbilanz (CO₂-Äquivalente) und der Energiebedarf über Lebensdauer.
- Benötigte Daten:
 - Wärmeleitfähigkeit (λ) und Dichte (ρ) der Dämmstoffe.
 - Herstellungs- und Transportemissionen (EE, GWP) je Einheit Masse bzw. Volumen.
 - Lebensdauer (Nutzungsdauer) und Instandhaltungsbedarf.
 - Erwartete Heiz-/Kühlenergieeinsparungen durch die Dämmwirkung.
 - End-of-Life-Optionen (Recycling, Entsorgung) und deren Emissionen.
 - Oberflächen- bzw. Systemeffekte (z. B. Gefährdungen durch Brandverhalten, Innenraumluftqualität).