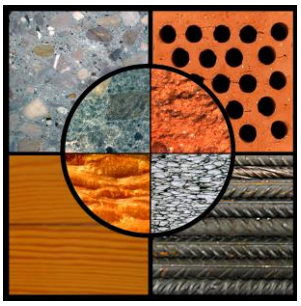

Institut für Werkstoffe des Bauwesens
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen

Praktikumsskript Werkstoffe des Bauwesens

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Frühjahrstrimester

der Bundeswehr
Universität München

I. Inhaltsverzeichnis

I. Inhaltsverzeichnis 1
1. Künstliche Steine 3
1.1. Praktikumsinhalt 3
1.2. Die Bezeichnung der Mauerziegel (aus DIN 105-100) 3
1.3. Ziegelformate 3
1.4. Bestimmung der Ziegelrohdichte (nach DIN EN 772-13) 5
1.5. Bestimmung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 772-1) 5
1.6 Ermittlung von Kenngrößen an Mauersteinen 7
2. Mineralische Bindemittel 8
2.1. Praktikumsinhalt 8
2.2. Baugips und Bestimmung der Einstreumenge (Auszug aus DIN 1168) 8
2.3. Versteifung 9
2.4. Baukalk (Auszug aus DIN EN 459) 9
2.5. Prüfung der Schüttdichte von Baukalk 10
2.6. Zement (DIN EN 196 und 197) 10
2.7. Bestimmung der Festigkeit von Zement (DIN EN 196-1) 12
2.8. Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit nach DIN EN 196-3 12
2.9. Bestimmung der Mahlfeinheit des Zementes (spez. Oberfläche) nach DIN EN 196-6 13
3. Gesteinskörnung & Siebanalyse 15
3.1. Praktikumsinhalt 15
3.2. Unterscheidung der Gesteinskörnungen 15
3.3. Probennahme 16
3.4. Schüttdichte 17
3.5. Kornformanalyse 17
3.6. Kornrohdichte 18
3.7. Bestimmung unerwünschter organischer Bestandteile 19
3.8. Sieblinie und k – Wert Bestimmung 20
k-Wert Berechnung 20
Zusammenstellung einer Sieblinie/Unterkornverfahren 22
4. Betonieren und Frischbeton 24
4.1. Praktikumsinhalt 24
4.2. CM-Methode 24
4.3. Einwiegen der Bestandteile 24
4.4. Bestimmung des Ausbreitmaßes 24
4.5. Bestimmung des Verdichtungsmaßes 25
4.6. Frischbetonrohdichte 26
4.7. Bestimmung des Luftporengehaltes 26
4.8. Wassergehalt/Wasserzementwert 27
5. Festbeton 28
5.1. Praktikumsinhalt 28
5.2. Unterscheidung von Betonen 28
5.3. Expositionsklassen 29
5.4. Konformitätsprüfungen 29
5.5. Prüfkörperlagerung 30
5.6. Druckfestigkeit 30
5.7. Spaltzugfestigkeit 31
5.8. Biegezugfestigkeit 32

1. Künstliche Steine

1.1.Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
  - Vorstellen und Zeigen künstlicher Steine (Mauer-, Vormauerziegel, Klinker, Dachziegel, Kalksandstein, Porenbetonstein, Leichtbetonstein, Sonderformen wie Putzträger, HWL-Platte, Sonstiges wie Gipskarton, Dränstein)
  - Baukonstruktive Aspekte
  - Schäden am Stein und Mauerwerk
  - Vergleich der Baustoffeigenschaften

- Praktischer Teil:
  - Herstellung von Porenbeton
  - Bestimmung der Ziegelformate
  - Bestimmung der Dichten
  - Druckversuch mit Mauerziegel, Vormauerziegel, Kalksandstein, Porenbeton

1.2.Die Bezeichnung der Mauerziegel (aus DIN 105-100)

Für die verschiedenen Ziegelarten gelten folgende Kurzzeichen:

Mz	Vollziegel
HLz	Hochlochziegel
VMz	Vormauer-Vollziegel
VHLz	Vormauer-Hochlochziegel
KMz	Vollklinker
KHLz	Hochlochklinker

1.3.Ziegelformate

Die Ziegelformate leiten sich vom Dünnformat (DF) und vom Normalformat (NF) ab. Für weitere Formate werden Kurzbezeichnungen nach DIN 105-100:2012-01 Tabelle A.12 angegeben.

Tabelle 1: Kurzbezeichnungen für Ziegelformate nach DIN 105-100

Formatkurz-zeichen	**DF**	**NF**	**2DF**	**3DF**	**5DF**	**6DF**	**10DF**	**12DF**	**16DF**	**20DF**	**21DF**
Länge [mm]	240	240	240	240	300	365	300	365	490	490	425
Breite [mm]	115	115	115	175	240	240	240	240	240	300	365
Höhe [mm]	52	71	113	113	113	113	238	238	238	238	238

Durchführung:
Länge, Breite und Höhe werden als arithmetische Mittel aus je zwei Messungen am einzelnen Stein angegeben. Die Messungen sind mit einem Messschieber nach Abbildung 1 durchzuführen. Das Verfahren nach a), b) oder c) wird in der DIN EN 771 festgelegt.

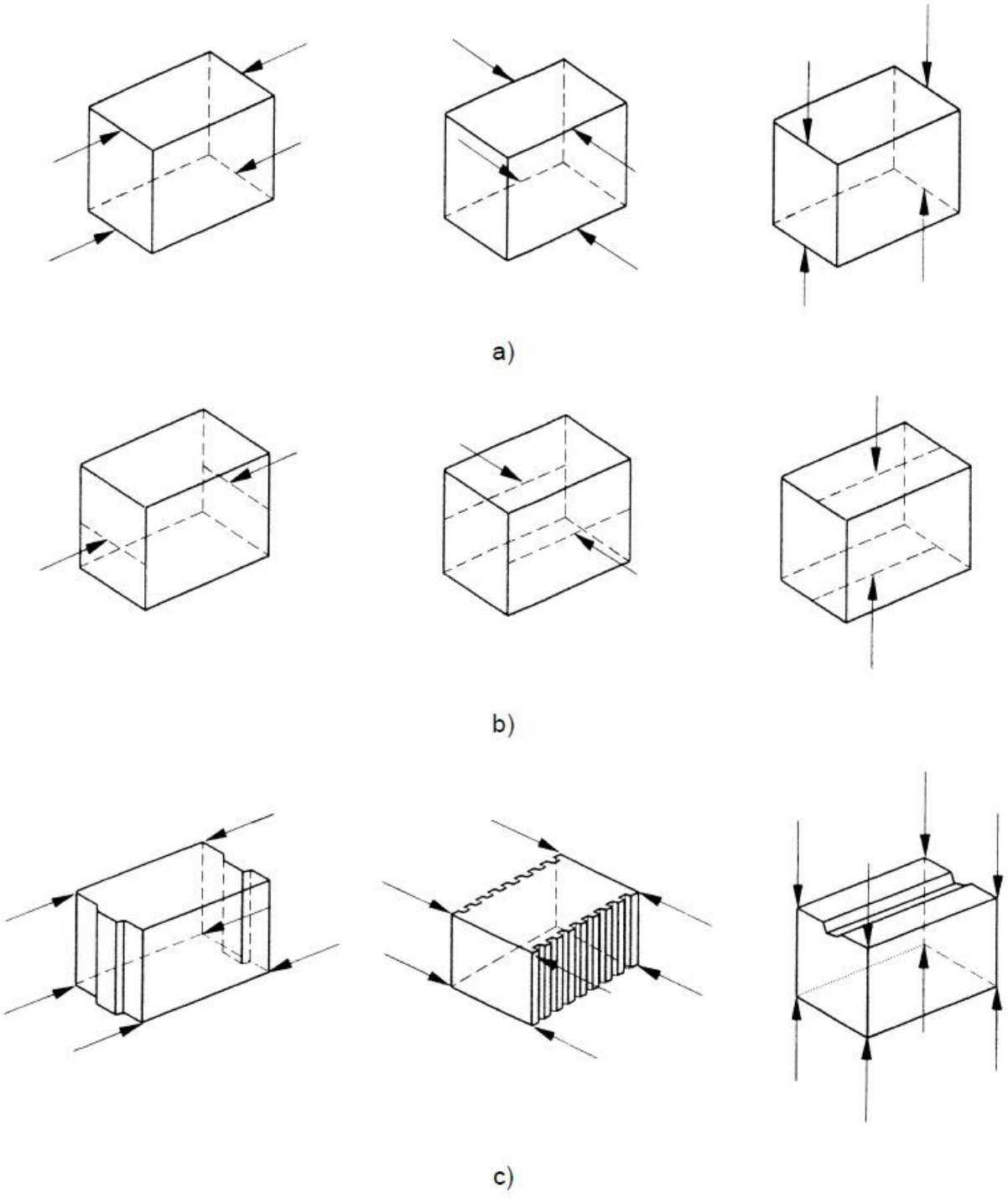

Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Vermessung von Mauersteinen (aus DIN EN 772-16:2000 + A2:2005 (D))

1.4.Bestimmung der Ziegelrohdichte (nach DIN EN 772-13)

Die Rohdichte ρ_z ist die Masse des getrockneten Ziegels bezogen auf das äußere Volumen, einschließlich etwaiger vorhandener Lochkanäle, Grifflöcher und Mörteltaschen.

Durchführung:
Zur Bestimmung der Trockenmasse m_d wird der bei einer Temperatur von 105 ± 5 °C bis zur Massekonstanz (mindestens 24 h) getrocknete und wieder abgekühlte Ziegel gewogen. Das Ziegelvolumen V_Z berechnen Sie mit den Probenabmessungen aus Tabelle 1.

$$\rho_z = \frac{m_d}{V_z}$$

Tabelle 2: Ziegelrohdichte nach DIN 105-100

Rohdichteklasse	**Mittelwert der Ziegelrohdichte in kg/dm³**
0,8	0,71 bis 0,80
0,9	0,81 bis 0,90
1,0	0,91 bis 1,00
1,2	1,01 bis 1,20
1,4	1,21 bis 1,40
1,6	1,41 bis 1,60
1,8	1,61 bis 1,80
2,0	1,81 bis 2,00
2,2	2,01 bis 2,20
2,4	2,21 bis 2,40

1.5.Bestimmung der Druckfestigkeit (nach DIN EN 772-1)

Vorbereitung der Probekörper:
Die zu prüfenden Probekörper müssen Anforderungen an die Ebenheit und Planparallelität erfüllen. Entsprechen die Probekörper nicht den genannten Anforderungen, können die Oberflächen durch Abschleifen oder Abgleichen mit Mörtel bearbeitet werden. Wird eine Höhe von 40 mm bzw. ein h/b-Verhältnis von 0,4 durch das Abschleifen unterschritten, so muss ein zusammengesetzter Probekörper hergestellt werden.

Durchführung:
Die obere Druckplatte der Prüfmaschine muss frei beweglich sein, die andere Platte dient als ebene und unbewegliche Auflagerfläche. Der Druck muss stets senkrecht zu der Ziegelfläche wirken, die im Bauwerk als Lagerfläche dient. Der Baustoffprüfer muss dabei an der Maschine die Belastungsgeschwindigkeit an die zu erwartende Druckfestigkeit anpassen. Die lufttrockenen Probekörper werden bis zum Bruch belastet.

Die Druckfestigkeit ergibt sich aus der Höchstlast, die der Probekörper vor dem Bruch aushält, geteilt durch die volle umschlossene Querschnittsfläche des Probekörpers. Die Druckfestigkeit des Probekörpers ist in N/mm² auf eine Stelle nach dem Komma gerundet anzugeben.

Einstufung in die Druckfestigkeitsklassen:
Maßgebend für die Anforderungen an die Druckfestigkeit nach Tabelle 4 ist die umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st}. Sie ergibt sich aus der Druckfestigkeit des Probekörpers $f_{st,1}$ und dem Formfaktor f nach Tabelle 3.

$$f_{st} = f_{st,1} \times f$$

Nach DIN 105-100 dürfen weder die mittlere Mindestdruckfestigkeit noch die kleinsten Einzelwerte einer Druckfestigkeitsklasse unterschritten werden. Ein Klinker muss mindestens einer Druckfestigkeitsklasse 28 zuordnenbar sein. Hochfeste Ziegel und Klinker müssen mindestens der Festigkeitsklasse 36, Keramikklinker müssen der Festigkeitsklasse 60 entsprechen.

Tabelle 3: Formfaktoren nach DIN 105-100:2012-01, Tabelle A.9

Zeile	**Nennmaß der Ziegehöhe h in mm**	**Faktor *f***
1	40 ≤ h < 52	0,6
2	52 ≤ h < 75	0,8
3	75 ≤ h < 100	0,9
4	100 ≤ h < 175	1,0
5	175 ≤ h < 238	1,1
6	≥ 238	1,2

Tabelle 4: Druckfestigkeitsklassen von Ziegel nach DIN 105-100:2012-01, Tabelle A.10

Zeile	**Druckfestigkeitsklasse**	**Kleinster Einzelwert [N/mm²]**	**Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]**
1	4	4,0	5,0
2	6	6,0	7,5
3	8	8,0	10,0
4	10	10,0	12,5
5	12	12,0	15,0
6	16	16,0	20,0
7	20	20,0	25,0
8	28	28,0	35,0
9	36	36,0	45,0
10	48	48,0	60,0
11	60	60,0	75,0

1.6 Ermittlung von Kenngrößen an Mauersteinen

Probennr.	Länge in mm	Breite in mm	Höhe in mm	Ziegelformat	Masse in kg	Rohdichte in kg/dm³	Rohdichteklasse

Probennr.	Fläche in mm²	Lochanteil In %	Druckfläche in mm²	Druckkraft in kN	Druckfestigkeit in N/mm²	Formfaktor	Druckfestigkeitsklasse

2. Mineralische Bindemittel

2.1. Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
  - Vorstellen mineralischer Bindemittel (Gips, Kalk, Zement)
  - Zementarten und Bezeichnungen
  - Herstellung
  - Bestimmung der Zementfestigkeit

- Praktischer Teil:
  - Prüfung der Einstreumenge (Gips)
  - Ermittlung des Versteifungsbeginns und – endes (Gips)
  - Prüfung der Schüttdichte von Kalk

2.2. Baugips und Bestimmung der Einstreumenge (Auszug aus DIN 1168)

Der Gipskreislauf:

Die Norm behandelt folgenden Baugips:

- Stuckgips, Putzgips
- Fertigputzgips, Haftputzgips, Maschinenputzgips
- Ansetzgips, Fugengips, Spachtelgips

Tabelle 5: Anforderungen an Baugips nach DIN 1168

Baugipssorte	Kornfeinheit Rückstand auf Drahtsiebboden nach DIN 4188 Blatt 1			Versteifungsbeginn	Biegezugfestigkeit	Druckfestigkeit	Härte
	3,15	1,25	0,2	Minuten	MN/m²		MN/m²
	%						
Stuckgips	0	0	≦ 12	8 bis 25 [1]	≧ 2,5	–	≧ 10
Putzgips	0	–	–	≧ 3	≧ 2,5	–	≧ 10
Fertigputzgips	0	–	–	≧ 25	≧ 1,0	≧ 2,5	–
Haftputzgips	0	–	–	≧ 25	≧ 1,0	≧ 2,5	–
Maschinenputzgips	0	–	–	≧ 25	≧ 1,0	≧ 2,5	–
Ansetzgips	0	–	–	≧ 25	≧ 2,5	≧ 6,0	–
Fugengips	0	0	≦ 1	≧ 25	≧ 1,5	≧ 3,0	–
Spachtelgips	0	0	≦ 2	≧ 15	≧ 1,0	≧ 2,5	–

[1] Bei werksmäßiger Weiterverarbeitung, z. B. zu Gipsbauplatten, darf der Versteifungsbeginn früher eintreten.

Die Einstreumenge ist die Gipsmenge in Gramm, die beim Einstreuen in 100 cm^3 Wasser durchfeuchtet wird. In ein mit 100 cm^3 Wasser gefülltes Becherglas wird in 2 Minuten so viel Gips gestreut bis der Wasserspiegel verschwunden ist.

Masse Becher + Wasser [g]	Masse Becher + Wasser + Gips [g]	Einstreumenge = Masse Gips [g]	W/G

2.3. Versteifung

Der Versteifungsbeginn ist der Zeitpunkt, in dem die Ränder eines durch den Gipsbrei geführten Messerschnittes nicht mehr zusammenfließen.
Zur Ermittlung des Versteifungsbeginns werden 100 cm^3 Wasser mit der gleichen Gipsmenge wie bei der ermittelten Einstreumenge vermengt. Den Gipsbrei lässt man 15 Sekunden durchweichen und rührt ihn dann während 1 Minute mit dem Löffel langsam durch.
Etwaige Knollen sind mit dem Löffelrücken an der Gefäßwand zu zerdrücken. Dann wird der Gipsbrei unter ständigem Rühren auf eine ebene, glatte Glasplatte aufgegossen, so dass 3 Kuchen von 10 bis 12 cm Durchmesser und etwa 5 mm Dicke entstehen.
Die Annäherung an den Versteifungsbeginn wird durch Probeschnitte am ersten und dritten Kuchen ermittelt. Die Prüfschnitte werden am zweiten und dritten Kuchen ermittelt. Der Versteifungsbeginn ist erreicht, wenn die Schnittränder – auch am Kuchenrand – nicht mehr zusammenfließen.

Das Versteifungsende ist der Zeitpunkt, in dem bei 2 Eindrücken, die unmittelbar nacheinander auf dem Gipskuchen erzeugt werden, kein Wasser mehr am Eindrückrand erscheint. Der Druck soll mit dem Zeigefinger ausgeführt werden und etwa 5 kg betragen.
Die Annäherung an das Versteifungsende erkennt man durch Abtasten des ersten und dritten Kuchens. Die Prüfdrücke werden am zweiten Kuchen durchgeführt.

Versteifungsbeginn	Versteifungsende

2.4. Baukalk (Auszug aus DIN EN 459)

Baukalk ist ein Material, das alle physikalischen und chemischen Formen beinhaltet, in denen Calcium- und Magnesiumoxid (CaO und MgO) und/oder Calcium- und Magnesium-hydroxid ($Ca(OH)_2$ und $Mg(OH)_2$) auftreten können.

Brennen:

Löschen:

Erhärten:

2.5. Prüfung der Schüttdichte von Baukalk

Vor Beginn der Prüfung sind Kalkhydrate, Hydraulischer Kalk und Hochhydraulischer Kalk bei etwa 105°C zu trocknen.
Der Baukalk ist dann durch den Drahtsiebboden 2,0 nach DIN 4188 Teil 1 zu sieben. Baukalkklumpen sind soweit wie möglich zwischen den Fingern zu zerkleinern und dem Siebgut durch das Sieb beizufügen *(diese Schritte sind bereits vorbereitet)*.
Von dem so vorbehandelten Kalkpulver ist mit einer Schaufel so viel in den Füllaufsatz des Einlaufgerätes zu schütten, dass das über dem Rand stehende Pulver unter seinem natürlichen Böschungswinkel abfällt. Durch Betätigung des Verschlusshebels am Füllsatz ist die Verschlusskappe zu öffnen. Nach einer Wartezeit von 2 Minuten ist der entleerte Füllaufsatz abzuheben, der überstehende Teil des in das Gefäß eingelaufenen Kalkpulvers mit dem Lineal abzustreichen und die Masse des Gefäßinhaltes zu bestimmen.

Volumen [cm^3]	**Masse des Gefäßes [g]**	**Masse des Gefäßes + Kalk [g]**	**Schüttdichte [g/cm^3]**

2.6. Zement (DIN EN 196 und 197)

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel, das heißt, ein fein gemahlener anorganischer Stoff, der mit Wasser gemischt Zementleim ergibt, welcher durch Hydratation erstarrt und erhärtet und nach dem Erhärten auch unter Wasser fest und raumbeständig bleibt.

Rohstoffe:

Bezeichnungen z.B. CEM III/A 42,5 R (SR)

- **CEM III:**
- **A:**
- **42,5:**
- **R:**
- **SR:**

Tabelle 6: Zementarten nach DIN EN 197 [s. auch „Betontechnische Daten“]

Hauptzementarten	Bezeichnung der 27 Produkte (Normalzementarten)		Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent)[a]										
			Hauptbestandteile										Nebenbestandteile
			Portlandzementklinker	Hüttensand	Silicastaub	Puzzolane		Flugasche		Gebrannter Schiefer	Kalkstein		
						natürlich	natürlich getempert	kieselsäurereich	kalkreich				
			K	S	D[b]	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Portlandzement	CEM I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	–	–	–	–	–	0–5
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	80–94	–	–	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-P	65–79	–	–	21–35	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/A-Q	80–94	–	–	–	6–20	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-Q	65–79	–	–	–	21–35	–	–	–	–	–	0–5
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	80–94	–	–	–	–	6–20	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-V	65–79	–	–	–	–	21–35	–	–	–	–	0–5
		CEM II/A-W	80–94	–	–	–	–	–	6–20	–	–	–	0–5
		CEM II/B-W	65–79	–	–	–	–	–	21–35	–	–	–	0–5
	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	80–94	–	–	–	–	–	–	6–20	–	–	0–5
		CEM II/B-T	65–79	–	–	–	–	–	–	21–35	–	–	0–5
	Portlandkalksteinzement	CEM II/A-L	80–94	–	–	–	–	–	–	–	6–20	–	0–5
		CEM II/B-L	65–79	–	–	–	–	–	–	–	21–35	–	0–5
		CEM II/A-LL	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	0–5
		CEM II/B-LL	65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35	0–5
	Portlandkompositzement[c]	CEM II/A-M	80–94	<---------- 6–20 ---------->									0–5
		CEM II/B-M	65–79	<---------- 21–35 ---------->									0–5
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35–64	36–65	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/C	5–19	81–95	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM IV	Puzzolanzement[c]	CEM IV/A	65–89	–	<---------- 11–35 ---------->					–	–	–	0–5
		CEM IV/B	45–64	–	<---------- 36–55 ---------->					–	–	–	0–5
CEM V	Kompositzement[c]	CEM V/A	40–64	18–30	–	<---------- 18–30 ---------->			–	–	–	–	0–5
		CEM V/B	20–38	31–50	–	<---------- 31–50 ---------->			–	–	–	–	0–5

a Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.
b Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 % begrenzt.
c In den Portlandkompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M, in den Puzzolanzementen CEM IV/A und CEM IV/B und in den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B müssen die Hauptbestandteile außer Portlandzementklinker durch die Bezeichnung des Zementes angegeben werden (Beispiel: siehe Abschnitt 8).

Tabelle 7: Zemente mit besonderen Eigenschaften

Bezeichnung des Zementes	**Zementeigenschaft**	**Norm(en)**
(V)LH	(sehr) niedrige Hydratationswärme („**v**ery **l**ow hydration **h**eat“)	DIN EN 197 DIN EN 14216
SR	Hoher Sulfatwiderstand („**s**ulphate **r**esisting“)	
NA	**N**iedriger wirksamer **A**lkaligehalt	DIN 1164 Teile 10-12
FE	**F**rühes **E**rstarren	
SE	**S**chnelles **E**rstarren	
HO	Er**h**öhter Anteil **o**rganischer Bestandteile	

2.7. Bestimmung der Festigkeit von Zement (DIN EN 196-1)

Das Verfahren umfasst die Bestimmung der Druckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit an prismenförmigen Prüfkörpern mit den Maßen 40 x 40 x 160 mm^3. Diese Prüfkörper werden aus einer Mörtelmischung von plastischer Konsistenz hergestellt und enthalten nach Massenanteilen 1 Teil Zement und 3 Teile Normsand bei einem Wasserzementwert von 0,50. Der Mörtel wird durch maschinelles Mischen gemischt und in der Form mit Hilfe eines genormten Schocktisches verdichtet (alternativ: „Vibrationstisch“).
Die Prüfkörper werden in den Formen 24 Stunden in feuchter Luft und dann die entformten Prüfkörper bis zur Prüfung der Festigkeit unter Wasser gelagert.
Zum vorgesehenen Zeitpunkt werden die Prüfkörper aus dem Wasser entnommen und durch Biegebelastung in zwei Hälften gebrochen. Jede dieser Prüfkörperhälften wird auf Druckfestigkeit geprüft.

Tabelle 8: Mechanische Anforderungen an Zement nach DIN EN 197-1

Festigkeitsklasse	Druckfestigkeit MPa				Erstarrungs-beginn	Raumbeständigkeit (Dehnungsmaß)
	Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit			
	2 Tage	7 Tage	28 Tage		min	mm
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

2.8. Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit nach DIN EN 196-3

Das Erstarren des Zementes ist eine Vorstufe der Erhärtung. Als Erstarrungszeit gilt der Zeitraum, nach dem eine Nadel bis zu einer bestimmten Tiefe in einen Zementleim von Normsteife eingedrungen ist (Vicat-Versuch).

Zemente müssen raumbeständig sein. Die Raumbeständigkeit wird durch Messen der Volumenänderung des Zementleims von Normsteife bestimmt, die durch die Änderung des Abstands zwischen zwei Nadeln angegeben wird (Le-Chatelier-Ring).

2.9. Bestimmung der Mahlfeinheit des Zementes (spez. Oberfläche) nach DIN EN 196-6

Die DIN EN 196-6 beschreibt zwei Verfahren zur Bestimmung der Mahlfeinheit des Zementes. Das Siebverfahren *(wird hier nicht erklärt)* und das Luftdurchlässigkeitsverfahren nach Blaine. Die hierdurch ermittelten Kennwerte dienen hauptsächlich der Kontrolle der Gleichmäßigkeit im Herstellungsprozess (Mahlprozess). DIN EN 197 stellt keine Anforderungen an die Mahlfeinheit (jedoch ergänzende Vorschriften, z.B. ZTV Beton – StB 93). Die Mahlfeinheit ist aber gerade bei der Bestimmung des Wasseranspruchs von großer Bedeutung.
Die spezifische Oberfläche des Zementes in cm^2/g wird aus der Luftdurchlässigkeit (Permeabilität) eines Zementbettes, seiner Porosität, der Dichte des Zementes und der Viskosität der Luft errechnet. Das Maß für die Luftdurchlässigkeit ist die Zeit, in der eine bestimmte Luftmenge unter festgelegten Bedingungen das Zementbett durchströmt. Zur Durchführung der Messung dient das in Abbildung 2 dargestellte Blaine-Gerät.

Durchführung:
Auf die in der Durchlässigkeitszelle liegende Siebplatte wird eine Filterpapierscheibe gelegt, darauf die Zementmenge eingefüllt und diese mit einer zweiten Filterpapierscheibe abgedeckt. Nun werden die Manometerflüssigkeit über das Seitenrohr bis zur Marke 1 hochgesaugt und dann der Hahn geschlossen. Im Manometer herrscht jetzt ein Unterdruck. Die durch das Zementbett strömende Luft gleicht diesen Unterdruck wieder aus. Gemessen wird dann die Zeit, die der Flüssigkeitsmechanismus braucht, um von der Marke 2 zur Marke 3 abzusinken (Marke 4 ist die Ruhelage).

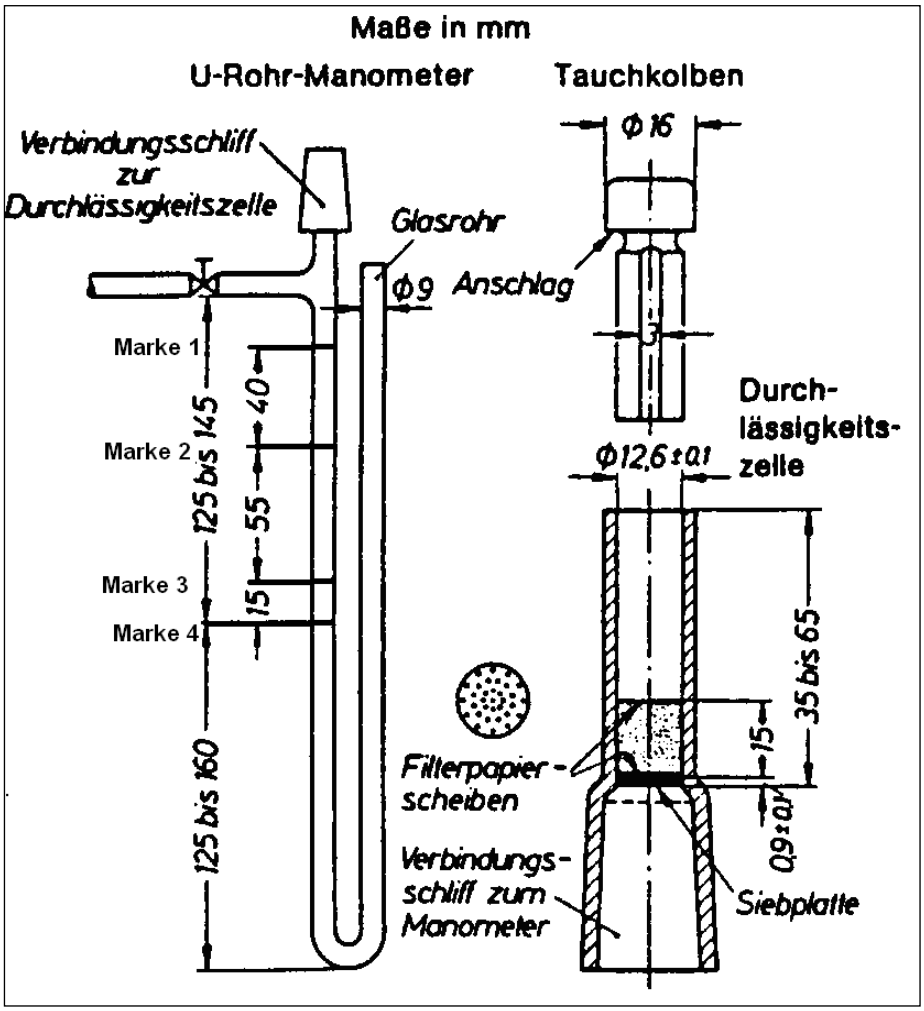

Abbildung 2: Blaine-Gerät

Die spezifische Oberfläche wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$S = \frac{k}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0{,}1\eta}} \qquad [cm^2 / g]$$

Die Gerätekonstante k wird mit Hilfe von Quarzsand ermittelt, da bei diesem die spezifische Oberfläche bekannt ist:

$$k = 1{,}414 * S_0 * \rho_0 * \frac{\sqrt{0{,}1 * \eta}}{\sqrt{t}}$$

Mit:

e: Porosität des Zementbettes *hier: 0,5*
t: Durchlaufzeit in s *wird gemessen*
ρ: Reindichte des Zements g/cm³ *hier: 3,1*
*η: Viskosität der Luft in Pa * s* aus

Tabelle 9
k: Gerätekonstante muss separat ermittelt werden *hier: mit Quarzsand*
S_0: spezifische Oberfläche des Sands in cm²/g
ρ_0: Reindichte des Sands g/cm³

Tabelle 9: Dichte des Quecksilbers und Viskosität der Luft in Abhängigkeit der Temperatur nach DIN EN 196-6

Temperatur °C	**Dichte des Quecksilbers** ρ_{Hg} g/cm³	**Viskosität der Luft** η $P_{a \cdot s}$	$\sqrt{10 \cdot \eta}$
16	13,560	0,000 018 00	0,013 416
17	13,560	0,000 018 05	0,013 435
18	13,550	0,000 018 10	0,013 454
19	13,550	0,000 018 15	0,013 472
20	13,550	0,000 018 19	0,013 487
21	13,540	0,000 018 24	0,013 506
22	13,540	0,000 018 29	0,013 524
23	13,540	0,000 018 34	0,013 543
24	13,540	0,000 018 39	0,013 561

[a] Zwischenwerte sind durch lineare Interpolation zu ermitteln.

Notizen:

3. Gesteinskörnung & Siebanalyse

3.1. Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
  - Vorstellen verschiedener Gesteinskörnungen wie Kalkstein, Granit, Basalt, Quarz; Leichte und Schwere Gesteinskörnungen, Korund
  - Stellenwert einer repräsentativen Probenahme
  - Bestimmung der Kornform und Kornrohdichte
  - Hinweis auf Bestimmungsmöglichkeiten anderer unerwünschter Bestandteile in Gesteinskörnungen und Anmachwasser wie Sulfat, Chlorid, Zucker
  - Bestimmung abschlämmbarer Bestandteile
  - Bestimmung unerwünschter organischer Bestandteile
  - Vorstellen der unterschiedlichen Sieblinien
  - k-Wert Berechnung
  - Unterkornverfahren

- Praktischer Teil:
  - Schüttdichte
  - Zusammenstellen einer Sieblinie

3.2. Unterscheidung der Gesteinskörnungen

Gesteinskörnungen können unter anderem nach ihrer Rohdichte unterschieden werden.

Leichte Gesteinskörnung:

Normale Gesteinskörnung:

Schwere Gesteinskörnung:

3.3. Probennahme

Gesteinskörnungen (= „Zuschläge“ nach alter Bezeichnung), welche für die Herstellung von Beton oder Mörtel verwendet werden sollen, müssen den Anforderungen der DIN 4226 entsprechen.

Die Probenahme von Gesteinskörnungen erfolgt nach DIN EN 932-1. Die entnommene Probe soll ausreichend groß für die durchzuführenden Untersuchungen und repräsentativ sein. Einfluss auf die Probemenge haben Korngröße, Dichte und der Untersuchungsumfang. (auf Erfassung der Feinstanteile achten!!)
Für das Einengen von Laboratoriumsproben gibt es nach DIN EN 932-2 mehrere Verfahren. Dabei ist die am wenigsten aufwendige und meist angewandte Methode das Einengen einer Probe durch Vierteln. Die Probe wird dazu intensiv durchmischt und in Form eines Kegels angehäuft. Der Kegel wird dreimal unter Bildung eines neuen Kegels umgesetzt. Der Haufen wird dann in Viertel mit gleichmäßiger Dicke und einheitlichem Durchmesser eingeteilt. Diametral gegenüberliegende Viertel werden vereinigt und die anderen Viertel verworfen oder für eine zweite Probe aufbereitet. Das Verfahren wird wiederholt, bis die letzten beiden Viertel die benötigte Probenmenge ausmachen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Probe mit einem Riffelteiler zu durchmischen. Dabei wird die Probe oben in den Riffelteiler gegeben und gleichmäßig in zwei Behälter verteilt (siehe Abbildung 3).

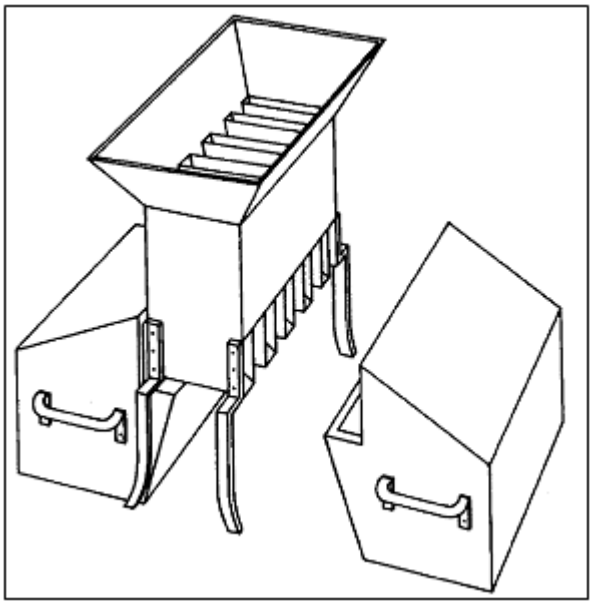

Abbildung 3: Riffelteiler

3.4. Schüttdichte

Die Schüttdichte wird bestimmt nach:

$$\rho = \frac{m}{V_{ges}}$$

Mit:

ρ: Schüttdichte in g/cm^3
m: Masse der Probe in g
V: Volumen der Probe in cm^3

m [g]	V [cm^3]	ρ [g/cm^3]

Aufgabe:
Das IWB möchte Gesteinskörnung der Fraktion 4/8 bestellen. Das Silo hat die Abmessungen l x b x h von 2,5 m x 1,5 m x 1,6 m und ist noch zu $^1/_5$ gefüllt. Die Rohdichte der Gesteinskörnung beträgt 2,3 kg/dm^3.
Berechnen Sie die Gesteinskörnung in kg, die bestellt werden muss, damit das Silo zu 95 % gefüllt ist!

Notizen:

3.5. Kornformanalyse

Die Korngrößenverteilung wird durch Sieben (Maschinen- oder Handsiebung) der trockenen Gesteinskörnungen geprüft.
Der Prüfsiebsatz zur Ermittlung der Korngrößenverteilung muss DIN EN 933-2 entsprechen und besteht aus den Sieben mit quadratischen Öffnungen und einer Maschenweite von 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,500 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 32 mm, 64 mm, 125 mm.

Ein Verfahren zur Bestimmung der Kornform wird in DIN EN 933-4 beschrieben. Dieses Verfahren gilt für grobe Gesteinskörnungen natürlichen oder künstlichen Ursprungs einschließlich Leichtzuschlägen. Es ist für Kornklassen d_i / D_i mit $D_i \leq 63$ mm und $d_i \geq 4$ mm anwendbar.

Aus einer Probe grober Gesteinskörnung werden die einzelnen Körner, bei Bedarf mit einem Kornform-Messschieber (siehe Abbildung 4), nach dem Verhältnis ihrer Kornlänge L zu ihrer Korndicke E eingestuft. Der Massenanteil in Prozent der Körner mit einem Verhältnis L / E > 3, bezogen auf die gesamte Trockenmasse der geprüften Körner, wird berechnet und als Kornformkennzahl angegeben.
Diese Kornbeschaffenheit ist für Mörtel- und Betoneigenschaften von Bedeutung. Die Form der Zuschlagkörner sollten möglichst gedrungen (kugelig, würfelig) sein, da solche Körner höhere Druck- und vor allem Zugfestigkeiten des Betons ergeben, als flache oder längliche. Ein Korn gilt als ungünstig, wenn sein Verhältnis Länge zu Dicke größer als 3:1 ist.
Ergeben gebrochene Gesteine ein langsplittriges Brechgut, so ist durch zweimaliges Brechen eine geeignete, gedrungene Kornform zu schaffen (doppelt gebrochener Splitt oder Edelsplitt).

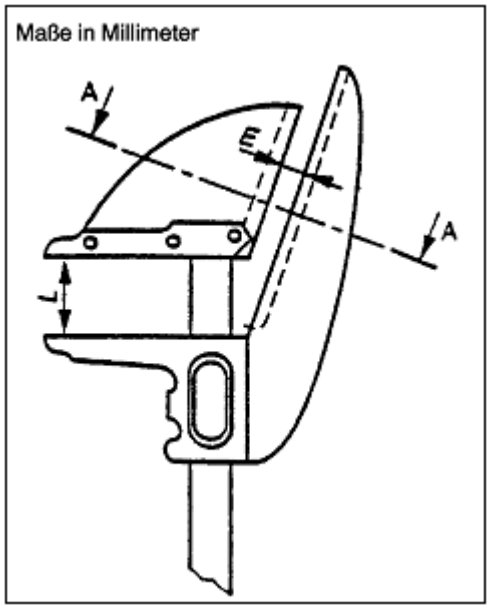

Abbildung 4: Kornformmessschieber

3.6. Kornrohdichte

Die Rohdichte wird aus dem Verhältnis von Masse zu Volumen berechnet. Die Masse wird durch Wägung der Messprobe im wassergesättigten und oberflächentrockenen Zustand und nochmals im ofentrockenen Zustand bestimmt. Das Volumen wird aus der Masse des verdrängten Wassers, entweder durch Abnahme der Masse nach dem Drahtkorbverfahren oder durch Wägungen nach dem Pyknometer-Verfahren, bestimmt.
Das **Pyknometer-Verfahren** ist ein festgelegtes Verfahren zur Bestimmung des Volumens von unregelmäßig geformten Proben, z.B. Gesteinskörnungen.
Das Verfahren basiert auf der Verdrängung einer bestimmten Menge Wasser durch die Messprobe. In ein Pyknometer mit einem definierten Volumen wird eine Messprobe eingewogen und das Pyknometer mit Wasser gefüllt. Das Volumen des Wassers wird durch Dividieren seiner Masse durch seine Dichte ermittelt. Das Volumen der Messprobe ergibt sich dann aus der Subtraktion der Masse des Wassers von der Masse des Pyknomters.

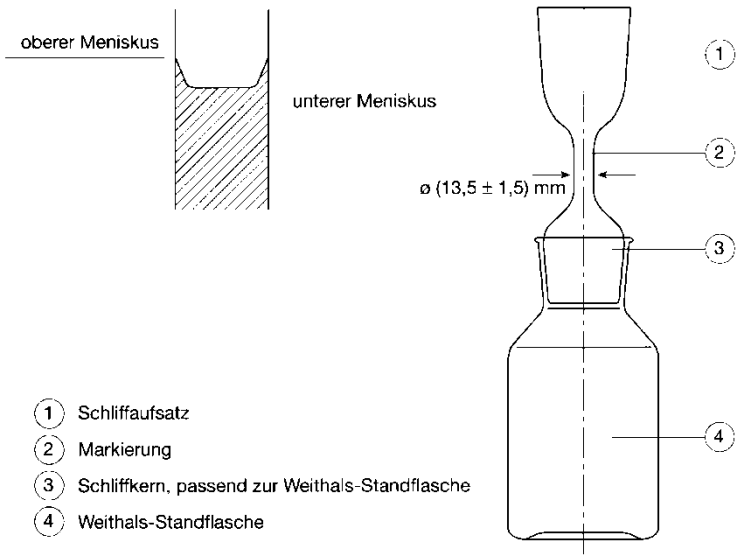

Abbildung 5: Pyknometer

Die Trockenrohdichte berechnet sich damit zu:

$$\rho_{Gk} = \frac{(m_1 - m_0)}{V - \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_W}}$$

Mit:

m_0: Masse des Pyknometers in g
m_1: Masse des Pyknometers + Probe in g
m_2: Masse des Pyknometers + Probe + Wasser in g
V: Volumen des Pyknometers in cm^3
ρ_W: Dichte des Wassers bei Prüftemperatur (22°C = 0,99777 kg/dm^3)

Für leichte Gesteinskörnungen wird die Kornrohdichte mit dem **Messzylinderverfahren** nach DIN EN 1097-6 ermittelt.
Die je Versuch erforderliche Masse der Probe getrockneter leichter Gesteinskörnung hängt von der Schüttdichte der Gesteinskörnung ab und beträgt:

- bei Schüttdichten bis 800 kg/m^3 etwa 150 g
- bei Schüttdichten von 800 kg/m^3 bis 1200 kg/m^3 etwa 300 g
- bei Schüttdichten über 1200 kg/m^3 etwa 500 g

Die Probe ist einer größeren bis zur Massekonstanz getrockneten Durchschnittsprobe zu entnehmen. Diese Probemenge m_1 wird auf 1 g genau gewogen. Nach dem Erkalten wird die Probe wenigstens 12 Stunden unter Wasser (bei etwa 20 °C) gelagert, damit sie während der folgenden Volumenbestimmung kein Wasser mehr aufnimmt. Nach Entfernen des Wasserfilms auf der Oberfläche der Körner, z.B. durch Abreiben zwischen saugenden Gewebebahnen oder durch rasches Trocknen mittels Warmluftstrahl, werden die Körner langsam in einen Messzylinder aus Glas von 1000 cm^3 Nenninhalt eingefüllt, der bis zur 500 cm^3 Messmarke mit Wasser gefüllt ist. Luftblasen an den Zuschlagkörnern sind durch Klopfen an die Zylinderwand und Aufstoßen des Messzylinders zu entfernen.
Mit dem am Messzylinder abgelesenen Gesamtvolumen V errechnet sich die Korndichte in g/cm^3 zu:

$$\rho = \frac{m_1}{V - 500}$$

Mit:

ρ: Kornrohdichte in g/cm^3
m_1: Masse der Probe in g
V: Gesamtvolumen in cm^3

3.7. Bestimmung unerwünschter organischer Bestandteile

Die Untersuchung der Gesteinskörnung hinsichtlich ihres Gehaltes an evtl. vorhandenen Stoffen organischen Ursprungs erfolgt nach DIN EN 1744-1.
Beispielhaft für eine solche chemische Untersuchung wird hier die Prüfung mit Natronlauge gezeigt. Dazu wird eine Probe bei 55 °C im Trockenschrank getrocknet und durch das 4 mm-Analysensieb gesiebt. Der Siebrückstand ist auf < 4 mm zu zerkleinern und mit dem Siebdurchgang, welcher das 4 mm-Sieb bereits passiert hat, zu vereinen.
Eine 3-%ige NaOH-Lösung wird in eine Glasflasche bis zu einer Höhe von 80 mm eingegossen. Anschließend ist die Probe einzufüllen, bis Probe und Lösung eine Höhe von 120 mm aufweisen. Die Probe ist zu schütteln, um Luftblasen zu entfernen. Anschließend wird die Flasche verschlossen, 1 min kräftig geschüttelt und stehen gelassen. Nach 24 Stunden ist die Färbung der überstehenden Lösung festzuhalten.

Bei farbloser bis gelber Flüssigkeit sind mit großer Wahrscheinlichkeit keine wesentlichen Mengen fein verteilter Stoffe organischen Ursprungs vorhanden. Rötliche bis schwarze Farbe deutet auf die Wahrscheinlichkeit erhöhter Anteile hin, sofern die Färbung nicht zweifelsfrei von wenigen gröberen organischen Teilchen herrührt.

3.8. Sieblinie und k – Wert Bestimmung

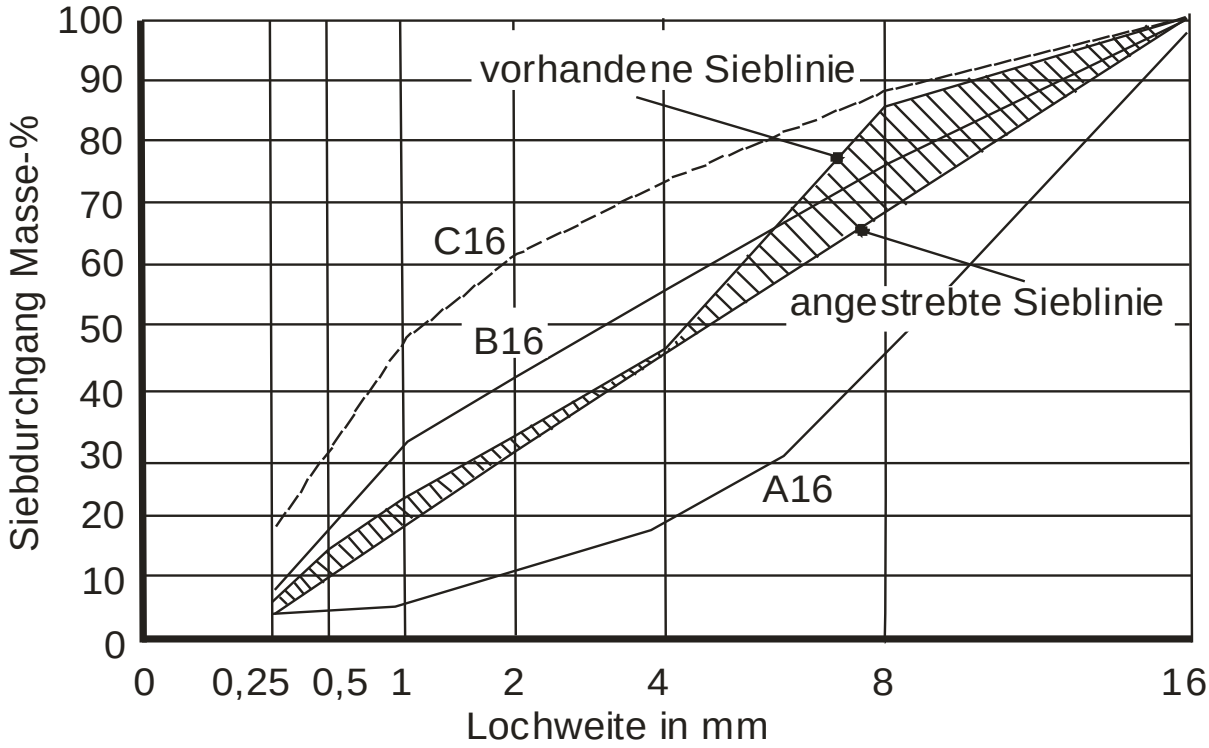

Abbildung 6: Sieblinie mit Größtkorn 16 mm

Die DIN 1045 gibt für eine Sieblinie mit dem Größtkorn 16 mm vier verschiedene Varianten (A, B, C, U) vor. Die Sieblinie A ist als grobkörnig zu bezeichnen, während die Linie B mittel- bis feinkörnig und C sehr feinkörnig ist.
Hinsichtlich der praktischen Anwendung liegt zwischen A und B der günstigste Bereich, zwischen B und C der brauchbare und außerhalb A und C der ungünstigste Bereich.
Die Sieblinie U steht für eine Ausfallkörnung, d.h. eine Kornfraktion fehlt völlig (U für unstetige Kornverteilung).

k-Wert Berechnung

Um die Vielzahl der Sieblinien miteinander vergleichen zu können, wird die Körnungsziffer (k-Wert) als Grad der Zerkleinerung bestimmt.
Der k-Wert ist die Summe aller Rückstände in M.-%, geteilt durch 100. Siebe mit einer Maschenweite kleiner 0,25 werden nicht berücksichtigt. Zum Beispiel k-Wert für die Sieblinie B 32 *(siehe „Betontechnische Daten“)*:

$k= \Sigma R_{B32}$:100 = (92 + 82 + 72 + 63 + 53 + 38 + 20 + 0): 100 = 4,20

Neben dem k-Wert kann mit den Durchgängen der D-Wert bestimmt werden. Da Rückstand + Durchgang für jedes einzelne Sieb = 100 % ergeben, besteht zwischen k- und D-Wert folgende Beziehung:

100*k + D = 900 (bei 9 Sieben = Größtkorn 63 mm)

Mit dem k-Wert ist es möglich den Wasseranspruch des Betons zu bestimmen.

Im Zusammenhang mit dem Begriff „Sieblinie“ sind folgende Begriffe von Bedeutung *(Zahlen in blau sind Bespielzahlen einer möglichen Sieblinie)*:

Siebdurchgang SD:

Maschenweite in mm	**0,25**	**0,5**	**1,0**	**2,0**	**4,0**	**8,0**	**16,0**
Siebdurchgang in M.-%	5	10	18	30	46	68	100

Siebrückstand SR:

Maschenweite in mm	**0**	**0,25**	**0,5**	**1,0**	**2,0**	**4,0**	**8,0**	**16,0**
Siebrückstand in M.-%	100	95	90	82	70	54	32	0

Siebrückstand auf den Einzelsieben (Quersumme ergibt 100 Masse-%):

Maschenweite in mm	**0**	**0,25**	**0,5**	**1,0**	**2,0**	**4,0**	**8,0**	**16,0**
Siebrückstand auf den Einzel-sieben in M.-%	5	5	8	12	16	22	32	0

Kornklassenanteile (Quersumme ergibt 100 Masse-%):

Maschenweite in mm	**0/0,25**	**0,25/0,5**	**0,5/1,0**	**1,0/2,0**	**2,0/4,0**	**4,0/8,0**	**8,0/16,0**	**16,0/31,5**
Kornklassen-anteile	5	5	8	12	16	22	32	0

Eine vom Kieswerk gelieferte **Korngruppe** (Lieferkörnung) kann jedoch bei gleichem Korngrößenbereich unterschiedliche Zusammensetzung haben, z.B. Korngruppe 0/4, *Bsp1* und *Bsp2*.

Maschenweite in mm	**0,25**	**0,5**	**1,0**	**2,0**	**4,0**	**8,0**	**16,0**
Siebdurchgang *Bsp1* in M.-%	15,1	27,9	43,5	67,8	97,2	100	100
Siebdurchgang *Bsp2* in M.-%	1,0	13,7	60,5	79,1	100	100	100

Deswegen müssen die zuvor angesetzten Prozentsätze so variiert werden, dass die Flächen zwischen der angestrebten und der errechneten **Sieblinie** möglichst klein werden, siehe Abbildung 6.

Grundsätzlich muss eine Sieblinie eine wirtschaftliche und technologisch vertretbare Annäherung an die **Fuller-Parabel** darstellen.

Fuller Parabel:

$$A = \sqrt[n]{\frac{d}{D}}$$

Mit:

- A: angestrebter Siebdurchgang
- d: untere Korngrenze
- D: obere Grenze
- n: abhängig von der anzustrebenden Sieblinie (siehe Skript "Gesteinskörnung") ideal: n = 2

Zusammenstellung einer Sieblinie/Unterkornverfahren

Voraussetzung:
Die Gesteinskörnungen müssen in verschiedenen Fraktionen vorliegen (0/2, 0/4, 4/8, 2/8, 8/16, 16/32, 8/32 usw.).
Dabei muss die Kornzusammensetzung jeder einzelnen Fraktion bekannt sein. Nachdem man sich je nach dem jeweiligen Bedarf eine Sollsieblinie gewählt hat, berechnet man sich die einzelnen Anteile der Fraktionen (Sollsieblinie = Istsieblinie).

Es gibt verschiedene Verfahren, um die Anteile mehrerer Korngruppen zu einem gewünschten Korngemisch zusammenzusetzen. Verbreitet sind das Mischkreuzverfahren und das Unterkornverfahren. Das **Mischkreuzverfahren** arbeitet mit dem k-Wert. Es wird schrittweise jeweils der Anteil einer Korngruppe berechnet. Die restlichen Korngruppen werden zu einer Hilfsgröße zusammengefasst. Dadurch wird die Berechnung in mehrere Teilrechnungen mit jeweils 2 Unbekannten zerlegt, was sehr umständlich, besonders bei 4 (oder noch mehr) Korngruppen, sein kann.
Viel einfacher ist das **Unterkornverfahren**. Es erfordert ein Minimum an Rechenaufwand und ist damit für die Praxis günstiger. Beim Unterkornverfahren werden die einzelnen Korngruppenanteile nach der angestrebten Sieblinie festgelegt und diese Werte durch Berücksichtigung der Über- und Unterkornanteile der einzelnen Korngruppen korrigiert.

Maschenweite in mm		**0**	**0,25**	**0,5**	**1**	**2**	**4**	**8**	**16**
0/4	**SR [g]**								
0/4	**SR [%]**								
4/8	**SR [g]**								
4/8	**SR [%]**								
8/16	**SR [g]**								
8/16	**SR [%]**								

Maschenweite in mm		0	0,25	0,5	1	2	4	8	16
0/4	SD in M.-%								
4/8	SD in M.-%								
8/16	SD in M.-%								
Soll (A/B 16)									
Ist									

Unterkornverfahren:

0/4:

4/8:

8/16:

16/32:

k-Wert Bestimmung:

k =

4. Betonieren und Frischbeton

4.1. Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
  - Sicherheitsbelehrung
  - Vorstellen der Mischer und Geräte
  - Erläuterung der Problematik des Nachdosierens, besonders bei wasserarmen Mischungen

- Praktischer Teil:
  - Bestimmung der Zuschlagfeuchte mittels CM-Methode, Einrechnen der Korrektur hinsichtlich Sand- und Wassergehalt
  - Einwiegen der Bestandteile und Mischen
  - Demonstration der Wirksamkeit des Fließmittels durch Nachdosieren
  - Bestimmung des Ausbreit- und Verdichtungsmaßes
  - Bestimmung des Luftporengehalts
  - Betonieren verschiedener Probekörper
  - Bestimmung der Frischbetonrohdichte
  - Darrversuch

4.2. CM-Methode

Eine 20 g schwere, feuchte Gesteinsprobe der Fraktion 0/4 wird in einem Druckbehälter mit Calciumcarbid-Pulver vermischt. Die Feuchtigkeit in der Probe reagiert mit dem Calciumcarbid unter Bildung von Acetylengas. Der dabei entstehende Gasdruck ist abhängig vom Feuchtegehalt und kann an einem Manometer abgelesen werden.

Feuchtegehalt:

4.3. Einwiegen der Bestandteile

Einwaage der Bestandteile siehe Beiblatt.

4.4. Bestimmung des Ausbreitmaßes

Über das Ausbreitmaß kann der Frischbeton den Konsistenzklassen F1 bis F6 zugeordnet werden. Beim Ausbreitversuch wird eine kegelstumpfförmige Betonmenge durch Formänderungsarbeit zu einem Kuchen verformt. Hierbei breitet sich der Beton kreisförmig aus. Der mittlere Durchmesser des Kuchens in mm gilt als Maß für die Konsistenz (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Konsistenzklassen des Frischbetons

Konsistenzklasse	C0	F1 C1	F2 C2	F3 C3	F4	F5	F6
Ausbreitmaß [mm]	–	≤ 340	350...410	420...480	490...550	560...620	≥ 630
Verdichtungsmaß c [–]	≥ 1,46	1,45...1,26	1,25...1,11	1,10...1,04	–	–	–
Konsistenzbeschreibung	sehr steif	steif	plastisch	weich	sehr weich	fließfähig	sehr fließfähig
Eigenschaften des Feinmörtels	erdfeucht	erdfeucht und etwas nasser	weich	flüssig	sehr flüssig		
Eigenschaften des Frischbetons beim Schütten	lose	lose/schollig	schollig bis zusammen-hängend	schwach flie-ßend	fließend		
Verdichtungsart	kräftig wirkende Rüttler und/oder kräftiges Stamp-fen bei dünner Schüttlage		Rütteln	Rütteln	„Entlüften" durch Stochern oder leichtes Rütteln		

Durchführung:

- Ausbreittisch auf ebene, horizontale, feste und rückprallfreie Oberfläche stellen
- Tisch und Form reinigen und anfeuchten – jedoch frei von überschüssiger Feuchte
- Form mittig auf Tischplatte stellen und ausrichten
- Form mit Schaufel in zwei gleichen Betonschichten füllen
- Jede Schicht durch 10 leichte Stöße mit Stößel ausgleichen
- Überstand ohne Verdichtungseinwirkung bündig abstreichen
- Freie Tischplatte von Beton säubern
- Form an den Handgriffen langsam vertikal anheben
- Laborant steht auf den Trittblechen des Aufstellrahmens
- Tischplatte am Handgriff 15-mal ruckfrei bis zum Anschlag anheben und frei fallen lassen. Jeder Einzelvorgang sollte zwischen 2 und 5 Sekunden dauern
- Höchstausbreitmaß d_1 und d_2 des Betons parallel zu den Tischkanten auf 1 cm gerundet messen
- Ausbreitmaß d_M ermitteln: $(d_1 + d_2):2$ auf 1 cm gerundet angeben

d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_M [mm]	Konsistenzklasse

4.5. Bestimmung des Verdichtungsmaßes

Über das Verdichtungsmaß c kann der Frischbeton der Konsistenzklasse C0 bis C3 zugeordnet werden.

Durchführung:

- Behälter säubern, Innenflächen feucht auswischen
- Frischbeton einfüllen, ohne zu verdichten, indem die Kelle nacheinander von allen 4 Oberkanten des Behälters seitwärts geleert wird
- Überstehenden Beton mit Abstreichlineal in Sägebewegung ohne Verdichtungswirkung über die Oberkanten entfernen
- Beton auf Rütteltisch verdichten bis sein Volumen nicht mehr abnimmt
- An jeder Seitenmitte des Behälters Abstand zwischen Betonoberfläche und Oberkante Behälter messen
- Verdichtungsmaß ermitteln:

$$c = \frac{h_1}{h_1 - s}$$

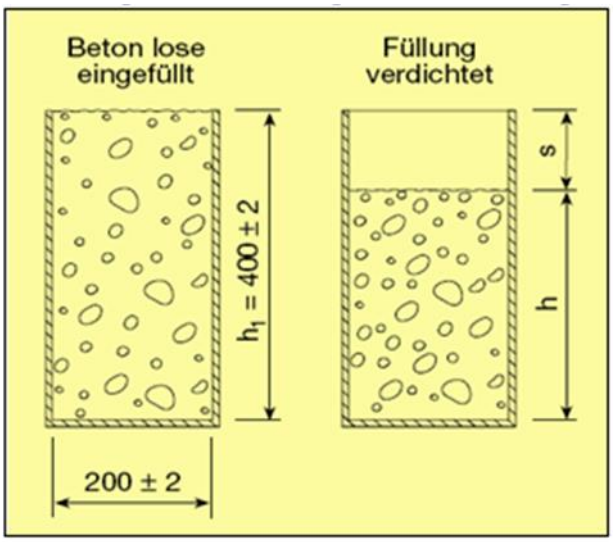

Abbildung 7: Bestimmung des Verdichtungsmaßes

s_m [mm]	c [-]	Konsistenzklasse

4.6. Frischbetonrohdichte

Die Frischbetonrohdichte gibt Hinweise auf die Vollständigkeit der Verdichtung bei bekannter Soll-Rohdichte. Außerdem kann auf die Gleichmäßigkeit der Betonzusammensetzung und der Betonherstellung geschlossen werden. Der Frischbeton wird in einem biegesteifen und wasserdichten Behälter verdichtet und gewogen. Die Dichte berechnet sich zu:

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

Mit:

ρ_b	Frischbetonrohdichte in kg/m³
m_1	Masse des Behälters in kg
m_2	Masse des Behälters + Betonprobe im Behälter in kg
V	Volumen des Behälters in m³

m_1 [kg]	m_2 [kg]	V [m³]	ρ_b [kg/m³]

4.7. Bestimmung des Luftporengehaltes

Auch gut zusammengesetzter Beton enthält nach sorgfältiger Verdichtung noch Verdichtungsporen. Bei einem Beton mit 32 mm Größtkorn sind dies etwa 1 bis 2 Vol.-%. Mit kleiner werdendem Größtkorn nimmt das Volumen der Verdichtungsporen im Allgemeinen zu. Die Bestimmung des Luftgehalts gibt Hinweise auf die Verdichtbarkeit des Frischbetons und die daraus zu erwartenden Festbetoneigenschaften (Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit).

Der Luftporengehalt kann u. a. mit dem Druckausgleichsverfahren nach DIN EN 12350-7 bestimmt werden. Zwischen einem mit Beton und einem mit Druckluft gefüllten Behälter wird ein Druckausgleich hergestellt. Der dabei durch die Luftporen des Betons bedingte Druckabfall wird auf einem Manometer als prozentualer Luftporengehalt der Probe abgelesen.

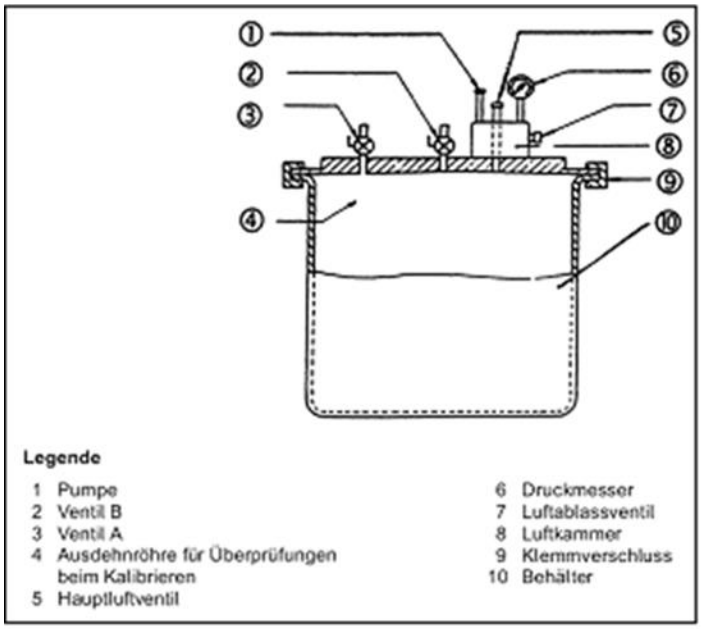

Abbildung 8: Luftporentopf

Durchführung:

- Leeren Topf des Druckmessgerätes anfeuchten und wiegen
- Beton in 3 etwa gleich hohen Schichten einfüllen
- Jede Schicht vollständig auf dem Rütteltisch verdichten
- Gefäßrand sorgfältig säubern
- LP-Topf mit Betonprobe wiegen
- Oberteil des Prüfgerätes aufsetzen und befestigen
- Mit Spritzflasche Wasser durch eines der beiden Ventile einfüllen, bis es beim anderen luftblasenfrei austritt und anschließend beide Ventile schließen
- Pumpe lösen, Luft in Luftkammer pumpen bis Zeiger der Druckmessers hinter der Eichmarke steht
- Feinregulierung vornehmen bis sich Zeiger mit der Eichmarkierung deckt
- Druckknopfventil betätigen und gleichzeitig an die Behälterwand klopfen bis Zeiger des Druckmessers zur Ruhe kommt

Masse [kg]	Luftporengehalt [%]

4.8. Wassergehalt/Wasserzementwert

Mit dem **Darrversuch** kann der Wassergehalt einer Probe bestimmt werden.
In ein geeignetes Gefäß, z.B. eine Blechschüssel mit einem Durchmesser von etwa 40 cm und einem etwa 20 cm hohem Rand, werden etwa 10 kg Frischbeton eingewogen ($m_{b,h}$) und sofort unter ständigem Rühren rasch und scharf getrocknet, bis keine Klumpen mehr zu beobachten sind. Nach dem Abkühlen des Trockengutes wird erneut gewogen ($m_{b,d}$). Der entstandene Gewichtsverlust entspricht dem Wassergehalt m_w der Einwaage.

Der Wasserzementwert errechnet sich aus der Gleichung:

$$w/z = \frac{1000 \cdot \rho_b \cdot m_w}{z \cdot m_{b,h}}$$

Mit:

w/z	Wasserzementwert [-]
z	Zementgehalt im Frischbeton [kg/m^3]
ρ_b	Rohdichte des Frischbetons [kg/dm^3]
m_w	Wassergehalt der Einwaage [kg]
$m_{b,h}$	Gewicht eingewogene Betonmasse [kg]

Bei Beton mit stark saugender Gesteinskörnung wird das Versuchsergebnis durch die Wasseraufnahme der Gesteinskörnung beeinflusst. Sie muss gegebenenfalls an einer Probe gesondert ermittelt und vom Wassergehalt m_w abgezogen werden. Dabei müssen das Gewicht und die Zusammensetzung der Probe mit der Gesteinskörnung in der Betonprobe übereinstimmen.

ρ_b [g/cm^3]	$m_{b,h}$ [g]	$m_{b,d}$ [g]	m_w [g]	z [g]	w/z [-]

5. Festbeton

5.1. Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
  - Unterscheidung Festbeton
  - Expositionsklassen
  - Betonprüfungen/Konformitätsprüfung
  - Prüfkörperlagerung

- Praktischer Teil:
  - Druckfestigkeit
  - Biegezugfestigkeit
  - Spaltzugfestigkeit

5.2. Unterscheidung von Betonen

Betone können durch verschiedenste Kriterien unterschieden werden. Zu diesen gehören Unterscheidungen nach Alter, Festigkeit, Herstellungsort und unter anderem auch nach ihrer Rohdichte:

Leichtbeton:

Normalbeton/Beton:

Schwerbeton:

Des Weiteren werden Betone nach **Eigenschaften** oder **Zusammensetzung** unterschieden:

Beton nach Eigenschaften:
Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen dem Hersteller gegenüber festgelegt sind. Der Hersteller ist für die Bereitstellung eines Betons, der den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht, verantwortlich.

Beton nach Zusammensetzung:
Beton, für den die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe, die verwendet werden müssen, dem Hersteller vorgegeben werden. Der Hersteller ist für die Lieferung eines Betons mit der festgelegten Zusammensetzung verantwortlich.

Standardbeton
Beton nach Zusammensetzung, dessen Zusammensetzung in einer am Ort der Verwendung des Betons gültigen Norm vorgegeben ist.

Betonfamilie:
Eine Gruppe von Betonzusammensetzungen, für die ein verlässlicher Zusammenhang zwischen maßgebenden Eigenschaften festgelegt und dokumentiert ist.

5.3. Expositionsklassen

Die Expositionsklassen dienen zur Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt werden kann und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallische Einbauteile einwirken können und die nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen. Die Expositionsklassen werden in Tabelle 11 unterschieden.

Tabelle 11: Expositionsklassen nach DIN EN 206

Schaden	**Expositions-klasse**	**Umgebungsbedingung**
-	**X0**	Kein Angriffsrisiko
Bewehrungskorrosion	**XC**	Karbonatisierung (**c**arbonation)
	XD	Chloride außer Meerwasser (**d**eicing salt)
	XS	Meerwasser (**s**eawater)
Betonkorrosion	**XF**	Frost und Frost-Tausalz (**f**rost)
	XA	Chemischer Angriff (**a**cid)
	XM	Verschleiß (**m**echanical abrasion)
	W	Alkali-Kieselsäure-Reaktion

5.4. Konformitätsprüfungen

Unter der Konformitätsprüfung wird grundsätzlich eine Prüfung verstanden, bei der nachgewiesen wird, dass ein hergestellter Beton mit der Festlegung übereinstimmt. Die Konformitätsprüfung ist stets ein integraler Bestandteil einer Produktionskontrolle. Sie kann z. B. verglichen werden mit einer Prüfung, die früher im Rahmen der Eigenüberwachung durchgeführt wurde. Das Ergebnis der Konformitätsprüfung lässt den Schluss zu, dass die Kennwerte des geprüften Betons konform den Soll-Werten sind.
Unterschieden werden Prüfungen nach **Erstherstellung** (bis mindestens 35 Ergebnisse vorliegen) und nach **stetiger Herstellung**.
Bei Verwendung einer neuen Betonzusammensetzung muss zunächst eine Erstprüfung durchgeführt werden. Die festgelegten Eigenschaften müssen mit einer ausreichenden Sicherheit, dem so genannten **Vorhaltemaß**, erreicht werden. In Abhängigkeit von den Ausgangsstoffen und der Genauigkeit der Mischanlage sollte das Vorhaltemaß daher zwischen 6 und 12 N/mm² betragen.
Während der laufenden Produktion müssen zufällig Proben einer bestimmten Mindest-häufigkeit entnommen werden und die Anforderungen an den Beton geprüft werden.

Tabelle 12: Konformitätskriterien für die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung nach DIN EN 206-1

Herstellung	**Anzahl „n“**	**Kriterium 1** Mittelwert von „n“ Ergebnissen f_{cm} [N/mm²]	**Kriterium 2** Jeder Einzelwert f_{ci} [N/mm²]
Erstherstellung (bis mind. 35 Ergebnisse erhalten wurden)	3	$\geq f_{ck} + 4$ Hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 5$	$\geq f_{ck} - 4$ Hochfester Beton: $\geq f_{ck} - 5$
Stetige Herstellung (wenn mind. 35 Ergebnisse verfügbar sind)	15	$\geq f_{ck} + 1{,}48\sigma$ mit $\sigma \geq 3$ N/mm² Hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 1{,}48\sigma$ mit $\sigma \geq 5$ N/mm²	$> f_{ck} - 4$ Hochfester Beton: $\geq 0{,}9\ f_{ck}$

5.5. Prüfkörperlagerung

Die Lagerung der Probekörper erfolgt bis zur Prüfung in einer Feuchtekammer oder unter Wasser (Referenzlagerung). Alternativ können die Probekörper im Alter von 7 Tagen aus dem Wasserbad oder der Feuchtekammer entnommen werden und bis zur Prüfung bei zugfreier Raumluft (15 °C bis 22 °C) gelagert werden (sog. „Trockenlagerung“). Die bei der Trockenlagerung ermittelten Druckfestigkeitswerte sind gegenüber der Referenzlagerung abzumindern. Hierzu kann der nach DIN 1045-2 für Normalbeton aufgeführte Abminderungsfaktor von **0,92** verwendet werden (für hochfesten Beton 0,95). Die Prüfung der Druckfestigkeit erfolgt i. d. R. im Alter von 28 Tagen, kann aber auch nach 2 oder 7 Tagen bestimmt werden, wenn dies erforderlich ist (→ $f_{c,2}$; $f_{c,7}$; $f_{c,28}$).

5.6. Druckfestigkeit

Da der Beton in erster Linie Druckspannungen aufnehmen muss, die Druckfestigkeit leicht zu bestimmen ist und diese auch zum Abschätzen von Verformungen und anderen Beanspruchungen benutzt werden kann, wird der Beton in der Regel nach seiner Druckfestigkeit beurteilt. In DIN 1045 ist der maßgebende Festigkeitswert für den rechnerischen Nachweis die **Zylinderdruckfestigkeit**, da diese der vorhandenen einachsigen Druckfestigkeit im Bauwerk am besten entspricht.
DIN 1045 und DIN EN 206-1 teilen die Betone Festigkeitsklassen ein, z.B. C25/30. Hierbei bedeutet:

C:

25:

30:

Die Druckfestigkeitsklassen gehen von C8/10 bis C100/115 und beim Leichtbeton von LC 8/9 bis LC 50/55.
Bei der Druckfestigkeitsprüfung werden die Probekörper bis zum Bruch in einer Druckprüfmaschine belastet, die erreichte Höchstlast wird aufgezeichnet und die Druckfestigkeit berechnet. Die Druckfestigkeit ergibt sich nach der Gleichung:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Mit:

- f_c Druckfestigkeit in N/mm²
- F Höchstkraft beim Bruch in N
- A_c Fläche der Probeseite, auf die die Druckbeanspruchung wirkt in mm²

Notizen:

5.7. Spaltzugfestigkeit

Beton weist eine von der Betonzusammensetzung abhängige vergleichsweise hohe Druckfestigkeit, aber nur eine geringe Zugfestigkeit auf. Darüber hinaus ist die Betonzugfestigkeit auch eine stark streuende Größe.

Die Ermittlung der Spaltzugfestigkeit (nach DIN 1048-5) dient zur Beurteilung der Zugfestigkeit des Betons, weil die Zugfestigkeit direkt schwierig zu messen ist. Die Spaltzugfestigkeit wird in der Regel an Zylindern von 100, 150, 200 oder 300 mm Durchmesser und einer Höhe von jeweils dem doppelten Durchmesser bestimmt. Sie kann auch an Probekörpern mit rechteckigem Querschnitt bis zum Seitenverhältnis 1:1,5 ermittelt werden, z.B. an Reststücken von Balken für die Prüfung der Biegezugfestigkeit. Je nach der Probekörperform unterscheidet sich der Versuchsaufbau geringfügig.

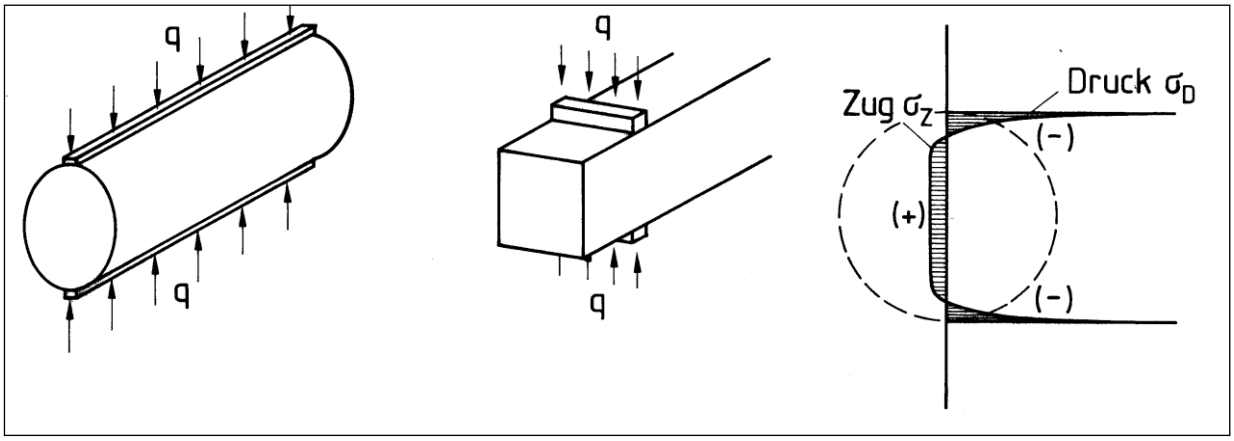

Abbildung 9: Spaltzugfestigkeit

Die Spaltzugfestigkeit ergibt sich zu:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Mit:

f_{ct}	Spaltzugfestigkeit in N/mm^2
F	Höchstlast in N
L	Länge der Kontaktlinie in mm
d	angegebenes Querschnittsmaß in mm

Notizen:

5.8. Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit wird an Balken mit quadratischem Querschnitt ermittelt. Geprüft wird entweder mit Zweipunkt-Lasteinleitung oder mit mittiger Lasteintragung. Die Lasteintragung erfolgt über Rollen.

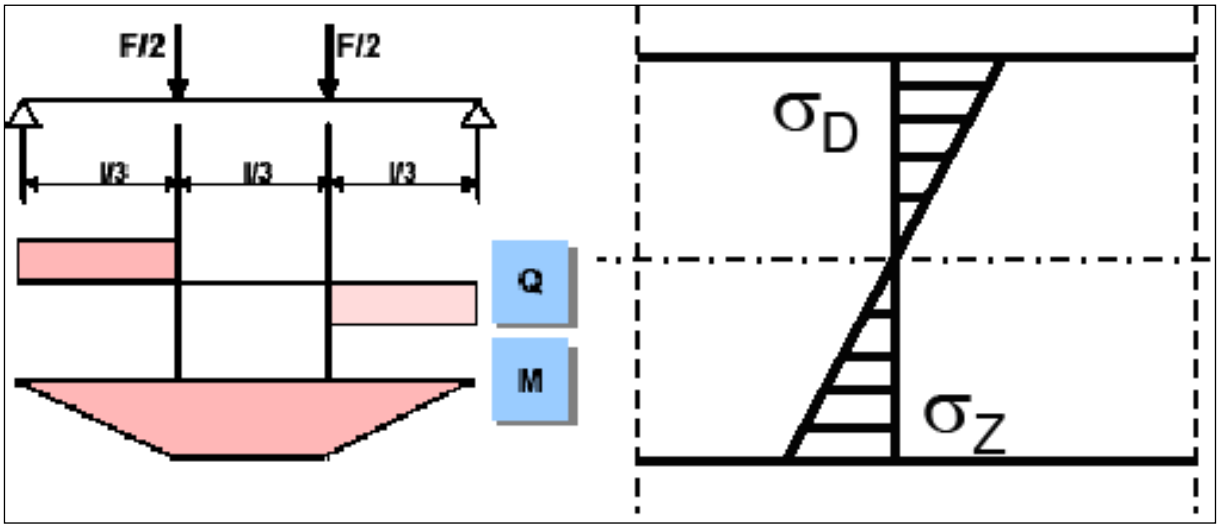

Abbildung 10: Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit ergibt sich bei Zweipunkt-Lasteintragung aus folgender Gleichung:

$$f_{ct} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2}$$

Mit:

f_{ct}	Biegezugfestigkeit in N/mm²
F	Höchstlast in N
L	Abstand zwischen den Auflagerrollen in mm
d_1, d_2	Seitenmaße Querschnitt in mm

Notizen: