

## **Bachelorprüfung**

**im Modul „Geologie, Werkstoffe und Bauchemie“  
am 03.07.2023**

Die Aufgaben sind nachvollziehbar (mit Rechengang) zu lösen. Die Antworten sind zu begründen.

Hilfsmittel: ausschließlich Taschenrechner!

NAME:

MATR.-NR.: \_\_\_\_\_

Mögliche Punktzahl aus Teil 1 und 2: 140

Mögliche Punktzahl: 100

Gesamtpunkte aus Teil 1 und 2:

Erreichte Punktzahl:

Prozentsatz aus Teil 1 und 2:

**Gesamtnote aus Teil 1 und 2: \_\_\_\_\_**

## **Gesteinskörnung (10)**

### **Aufgabe 1: (2 Punkte)**

a) Was ist eine Korngruppe?

b) Was ist Unterkorn?

### **Aufgabe 2: (6 Punkte)**

a) Benennen Sie die Gesteinskörnung in nachfolgender Tabelle:

Korngröße [mm]	Gebrochene Gesteinskörnung	Ungebrochene Gesteinskörnung
32 - 63		
4 - 32		
0 - 4		

b) Wann gilt ein Korn als ungünstig geformt?

Wie lässt sich dies überprüfen und wie wird dieses Problem im Kieswerk gelöst?

c) Nennen Sie zwei Arten von Probenahmen einer Gesteinskörnung!

**Aufgabe 3: (2 Punkte)**

Das IWB möchte Kies der Fraktion 8/16 bestellen. Die Rohdichte der Gesteinskörnung beträgt  $2,6 \text{ kg/dm}^3$  und die Schüttdichte  $1,6 \text{ kg/dm}^3$ . Die zu füllende Box hat die Abmessung  $l \cdot b \cdot h$  von  $2 \text{ m} \cdot 1,75 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}$  und ist noch zu 25 % gefüllt. Berechnen Sie die benötigte Masse in kg, die bestellt werden muss, damit die Box zu 99 % gefüllt ist.

---

## **Mineralische Bindemittel (16)**

### **Aufgabe 4: (5 Punkte)**

Geben Sie die 4 Zementklinkerphasen in Zementschreibweise an und erklären Sie die Bedeutung deren Kurzzeichen. Welche Phase ist am wichtigsten für die Festigkeitsentwicklung?

### **Aufgabe 5: (6 Punkte)**

a) Um welchen Zement handelt es sich bei einem CEM II/A-S 42,5 R – NA nach DIN EN 197? Erläutern Sie hierzu die einzelnen Kurzbezeichnungen und geben Sie eine quantitative Abschätzung der Inhaltstoffe.

CEM II:

A:

S:

42,5:

R:

NA:

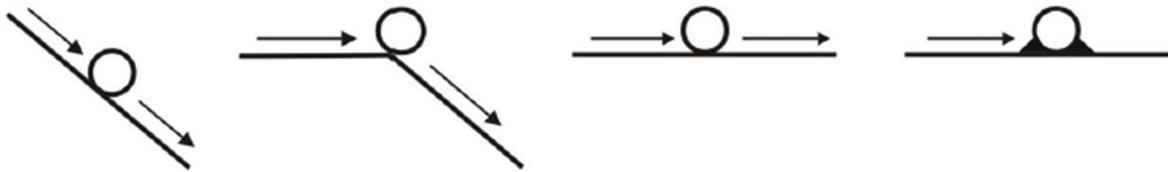
Zusammensetzung:

b) Aus welchem Grund werden Zemente mit dem Zusatz „NA“ eingesetzt?

c) Weshalb und in welcher Größenordnung wird bei der Herstellung von Zement Gips zugemahlen?

**Aufgabe 6: (5 Punkte)**

a) Benennen Sie folgenden Reaktionsmechanismen und geben Sie jeweils ein Beispiel!



b) Inwiefern unterscheidet sich der Erhärtungsmechanismus von Luftkalk zu Zement?

## **Frischbeton (13)**

### **Aufgabe 7: (3 Punkte)**

Welche Zusatzmittel setzen Sie ein, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden sollen?

Erhöhter Frost-Tausalz-Widerstand:

Gleiche Verarbeitbarkeit bei reduziertem w/z-Wert:

Lange Verarbeitungszeit:

### **Aufgabe 8: (1,5 Punkte)**

Nennen Sie 3 Verdichtungsverfahren bzw. Geräte für Beton!

**Aufgabe 9: (1,5 Punkte)**

Der Wasserzementwert des Betons wird von 0,5 auf 0,6 erhöht. Wie verändern sich die folgenden Betoneigenschaften?

Verarbeitbarkeit des Frischbetons:

Dichtigkeit des Festbetons:

Festigkeit des Festbetons:

**Aufgabe 10: (3 Punkte)**

Aus welchen Anteilen kann sich der Wassergehalt des Frischbetons zusammensetzen?

**Aufgabe 11: (4 Punkte)**

Welche Auswirkung hat die Karbonatisierung für

- a) unbewehrten Beton
- b) Stahlbeton?
- c) Wie muss ein Beton zusammengesetzt sein, damit er möglichst langsam karbonatisiert? (2 Maßnahmen!)

## **Mauerwerk und Künstliche Steine (15)**

### **Aufgabe 12: (2 Punkte)**

a) Wie erhalten Mauerziegel ihr Lochbild und wie können Sie zusätzlich porosiert werden?

b) Wie unterscheidet sich der zugegebene Quarz bei Porenbeton und Kalksandsteinen und warum gibt es diesen Unterschied?

**Aufgabe 13: (9 Punkte)**

Ihnen liegt ein 10DF Mauerziegel mit einem Gewicht 13,02 kg vor.

**Verwenden Sie bei dieser Aufgabe die 4 angehangenen Tabellen!**

- a) Bei einer Versuchsreihe wurden fünf Steine in einer Prüfpresse geprüft. Die Ergebnisse waren [kN]: 420, 420, 550, 550, 550  
Ordnen Sie den Stein einer Druckfestigkeitsklasse zu.

- b) Bestimmen Sie die Brutorohdichte.

- c) Ergänzen Sie folgende Mauerwerksbezeichnung für den vorliegenden Stein.

Mauerziegel DIN 20000-401 HLz

–

– 10DF

Tabelle 1: Kurzbezeichnungen für Ziegelformate nach DIN 105-100

<b>Formatkurzzeichen</b>	<b>DF</b>	<b>NF</b>	<b>2DF</b>	<b>3DF</b>	<b>5DF</b>	<b>6DF</b>	<b>10DF</b>	<b>12DF</b>	<b>16DF</b>	<b>20DF</b>	<b>21DF</b>
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

Tabelle 2: Ziegelrohddichte nach DIN 105-100

<b>Rohddichteklasse</b>	<b>Mittelwert der Ziegelrohddichte in kg/dm<sup>3</sup></b>
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

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

Zeile	Nennmaß der Ziegelhöhe h in mm	Faktor f
1	$40 \leq h < 52$	0,6
2	$52 \leq h < 75$	0,8
3	$75 \leq h < 100$	0,9
4	$100 \leq h < 175$	1,0
5	$175 \leq h < 238$	1,1
6	$\geq 238$	1,2

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

Zeile	Druckfestigkeitsklasse	Kleinster Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Umgerechnete mittlere Minstdruckfestigkeit f <sub>st</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
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	2	28,0	35,0
9	36	36,0	45,0
10	48	48,0	60,0
11	60	60,0	75,0

**Aufgabe 14: (2 Punkte)**

Sie sind zuständig für die Bauleitung bei einem Wohnungsbauprojekt. Für die Außenwände wurde anstelle von einem Mauerziegel DIN 20000-401 HLz 8 – 0,8 – 12DF der Mauerziegel DIN 20000-401 HLz 12 – 1,0 – 12DF geliefert.

Können Sie ihn bedenkenlos verwenden? Begründen Sie ihre Antwort.

**Aufgabe 15: (2 Punkte)**

a) Welche Belastung auf einen Außenputz erhöht sich drastisch bei der Verwendung eines Wärmedämmverbundsystems?

b) Welche konstruktive Maßnahme kann diesem Effekt entgegenwirken? Nennen Sie eine!

## **Festbeton (14)**

### **Aufgabe 16 (2 Punkte)**

Mit welchen betontechnologischen Maßnahmen kann eine niedrige Festbetonrohddichte erzielt werden? Nennen Sie zwei Maßnahmen

### **Aufgabe 17 (2 Punkte)**

Wofür steht die Bezeichnung C 25/30?

C 25:

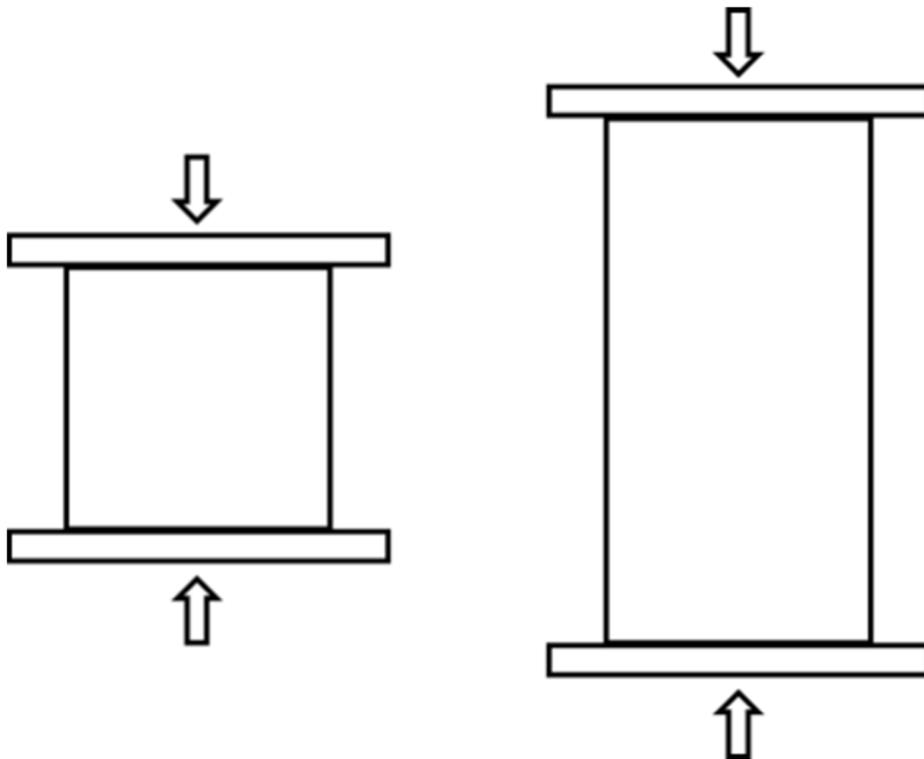
30:

### **Aufgabe 18 (6 Punkte)**

Betone können in unterschiedliche Rohdichteklassen eingeteilt werden. Nennen Sie die drei Rohdichtebereiche, welche im Praktikum besprochen wurden und geben Sie jeweils die Rohdichtebereiche (mit Einheiten) an.

**Aufgabe 19 (4 Punkte)**

- a) Bei welchem der skizzierten Probekörper (aus dem identischen Beton) erwarten Sie die höhere Druckfestigkeit? Begründen Sie Ihre Aussage unter Benennung des entsprechenden Effektes!
- b) Zeichnen Sie in die Skizze jeweils den Wirkungsbereich des benannten Effektes ein



## Betonentwurf (32)

### Aufgabe 20

Unmittelbar an der Ostsee gelegen, soll am Marinestützpunkt Eckernförde eine neue Offizierheimgesellschaft errichtet werden. Für die Außenwände ( $d = 15 \text{ cm}$ ) in Stahlbetonbauweise gibt der Statiker die Festigkeitsklasse C20/25 vor.

Als Zement wird ein CEM III/B 42,5 N-LH/SR gewählt. Als weiteres Bindemittel soll der Beton einen Steinkohlenflugasche-Anteil ( $\rho_v = 2,3 \text{ g/cm}^3$ ) von 12 M.-% des Zementes besitzen.

Als Gesteinskörnung wird ein regionaler, alkalireaktiver Opalsandstein ( $\rho_{GK} = 2,5 \text{ kg/dm}^3$ ) verwendet. Diese ist unterteilt in die Fraktionen 0/4, 4/8 und 8/16. Die Eigenfeuchte des Sandes beträgt 1,75 M.-%. Die Sollsieblinie soll einer mittelkörnigen Sieblinie mit  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$  entsprechen. Es wird eine Konsistenzklasse „F2“ nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 angestrebt. Der LP-Gehalt ist sinnvoll anzunehmen.

Korngruppe	Siebrückstand in M.-% auf den Einzelsieben [Sieblochweiten in mm]								
	0	0,125	0,250	0,5	1	2	4	8	16
<b>0/4</b>	1,8	0,6	4,3	8,2	52,1	25,1	4,4	3,5	0
<b>4/8</b>	0	0	0	0	1,2	6,6	88,9	3,3	0
<b>8/16</b>	0	0	0	0	0	0,7	4,9	93,5	0,9

a) Bestimmen Sie zwei maßgebliche Expositionsklassen für das oben vorgestellte Bauteil und geben Sie alle zugehörigen Mindest- bzw. Maximalwerte inkl. Einheiten an und begründen Sie Ihre Wahl jeweils kurz! Markieren Sie die Werte, welche Sie für die weiteren Berechnungen verwenden müssen. (4,5 P.)

b) Wählen Sie die erforderliche Sollsieblinie aus dem relevanten Diagramm im Anhang aus und bestimmen Sie mit Hilfe des Unterkornverfahrens die einzelnen Anteile der Kornfraktionen und die Ist-Sieblinie. Geben Sie die Körnungsziffer (k-Wert) zur Wasserbestimmung mit nachvollziehbarem Rechengang an. (9 P.)

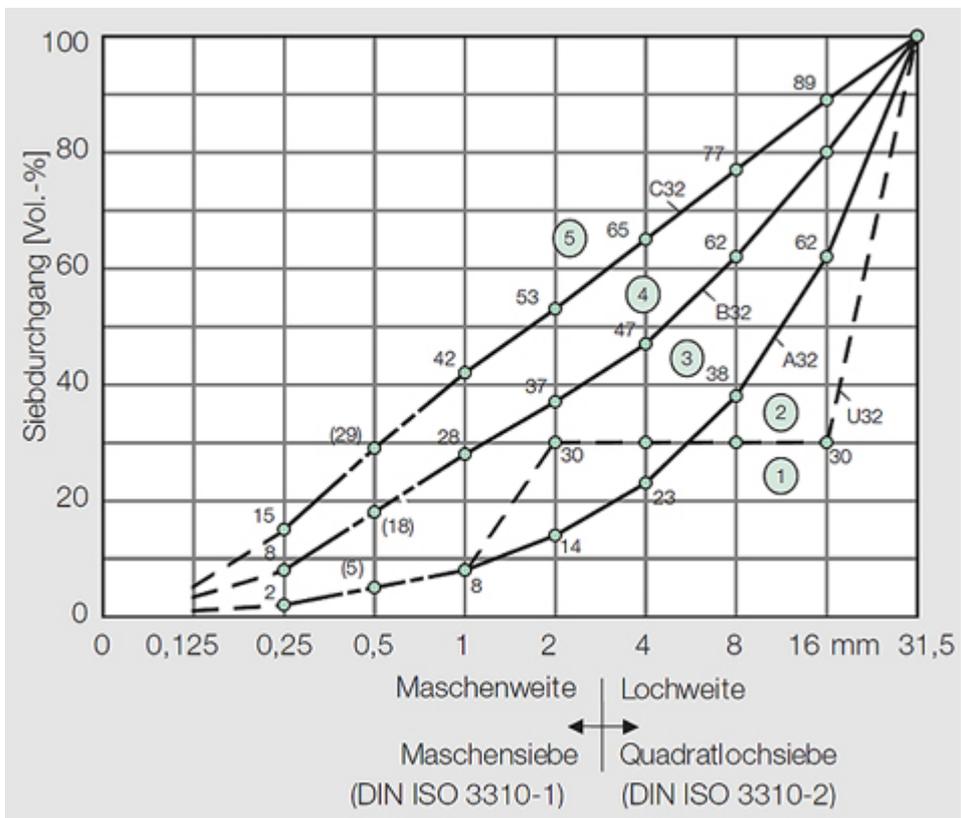
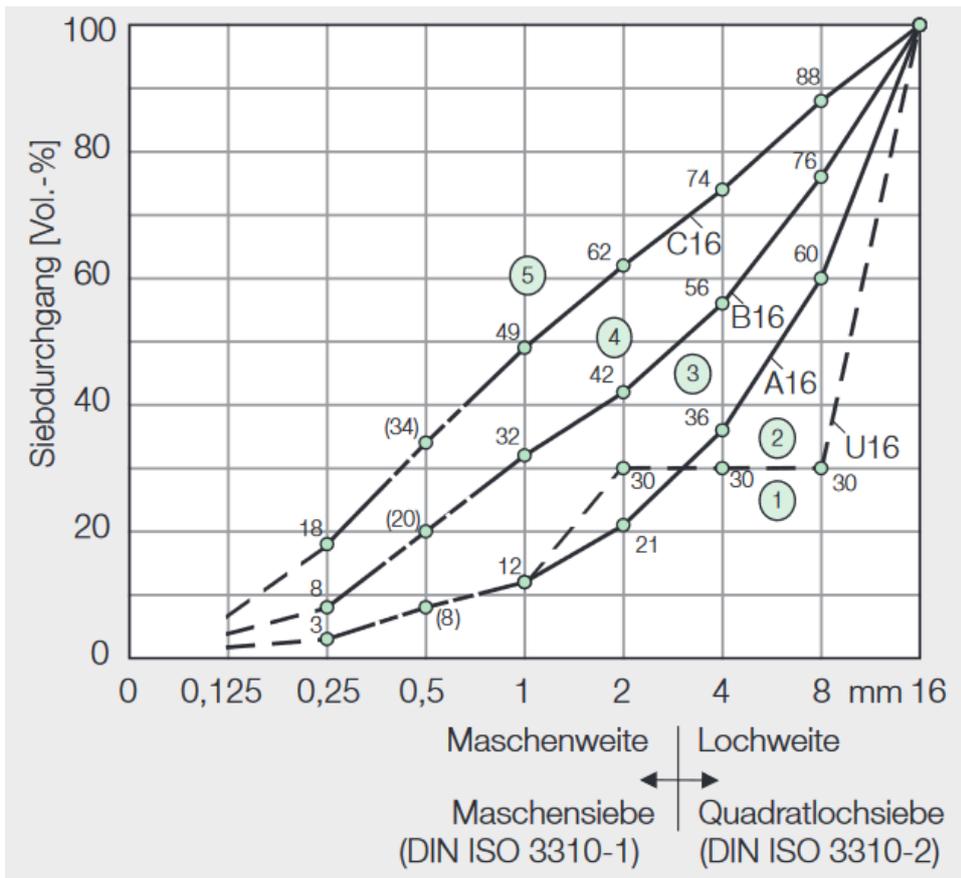
c) Bestimmen Sie aus dem gegebenen Diagramm den Wasseranspruch für  $1 \text{ m}^3$  Beton! (1 P.)

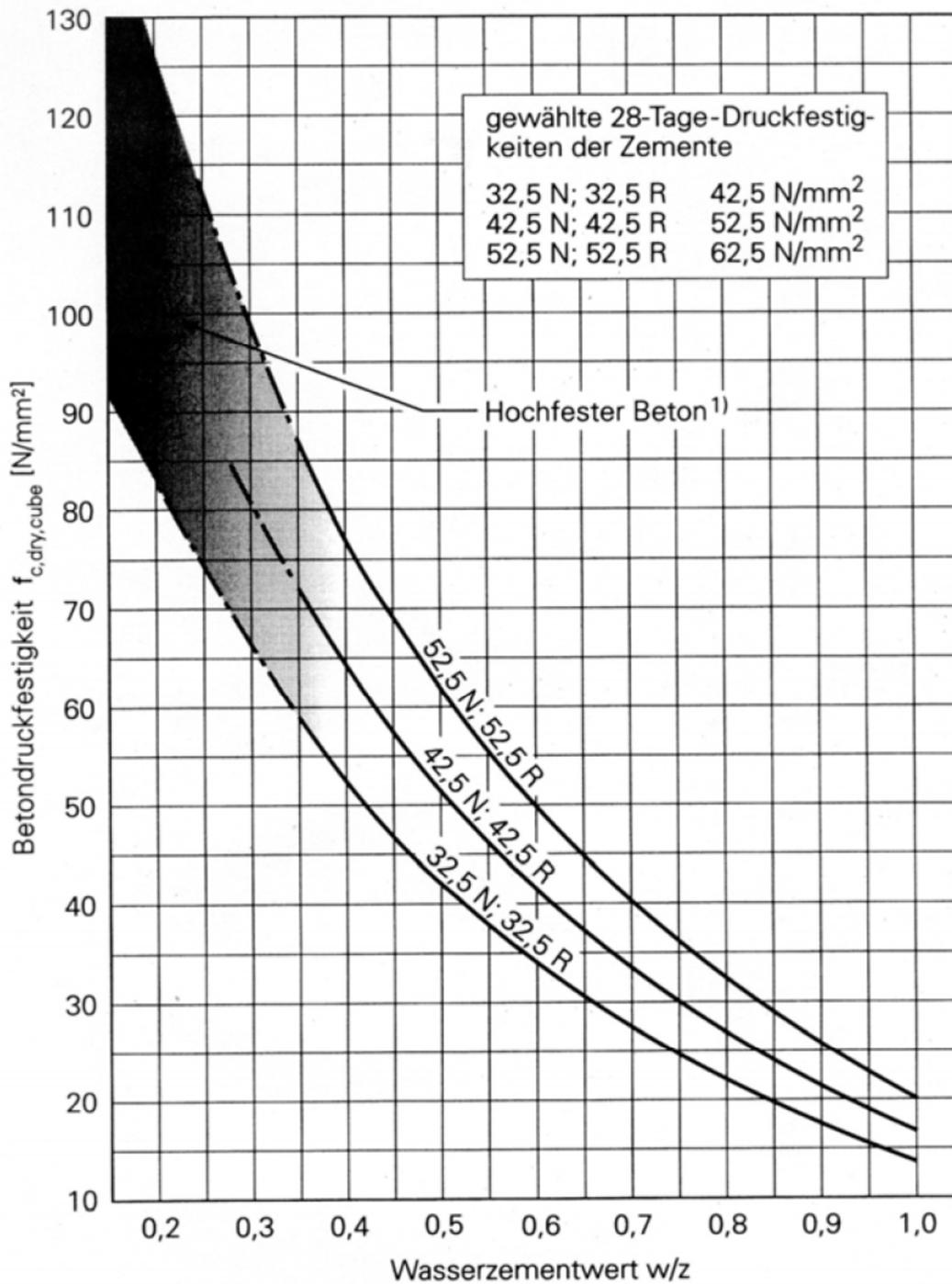
- d) Um welchen Zement handelt es sich bei einem CEM III/B 42,5 N – LH/SR nach DIN EN 197? Erläutern Sie hierzu die einzelnen Kurzbezeichnungen und geben Sie eine realistische Dichte ( $\rho_z$ ) an (4 P.)
- e) Bestimmen Sie den Zement- und Steinkohleflugaschegehalt für 1 m<sup>3</sup> Beton! (4 P.)
- f) Bestimmen Sie die Masse der gesamten Gesteinskörnung sowie der einzelnen Fraktionen. Berechnen Sie das Zugabewasser für 1 m<sup>3</sup> Beton unter Berücksichtigung der Eigenfeuchte der Gesteinskörnung und fassen Sie alle Bestandteile Ihres ermittelten Betons noch einmal zusammen. (4,5 P.)
- g) Berechnen Sie die Frischbetonrohichte und geben sie in kg/m<sup>3</sup> an! (2 P.)
- h) Welcher Schädigungsprozess könnte ein Dauerhaftigkeitsproblem bei diesem Beton darstellen? Welche zwei betontechnologischen Maßnahmen können Sie bereits in der Planung treffen, um diesen zu verhindern? (3 P.)

**Beachten Sie dabei folgende Anlagen und geben Sie Erläuterungen für gewählte Werte an. Nutzen Sie die Möglichkeit in die Diagramme zu zeichnen, um Werte kenntlich zu machen.**



Anlagen:

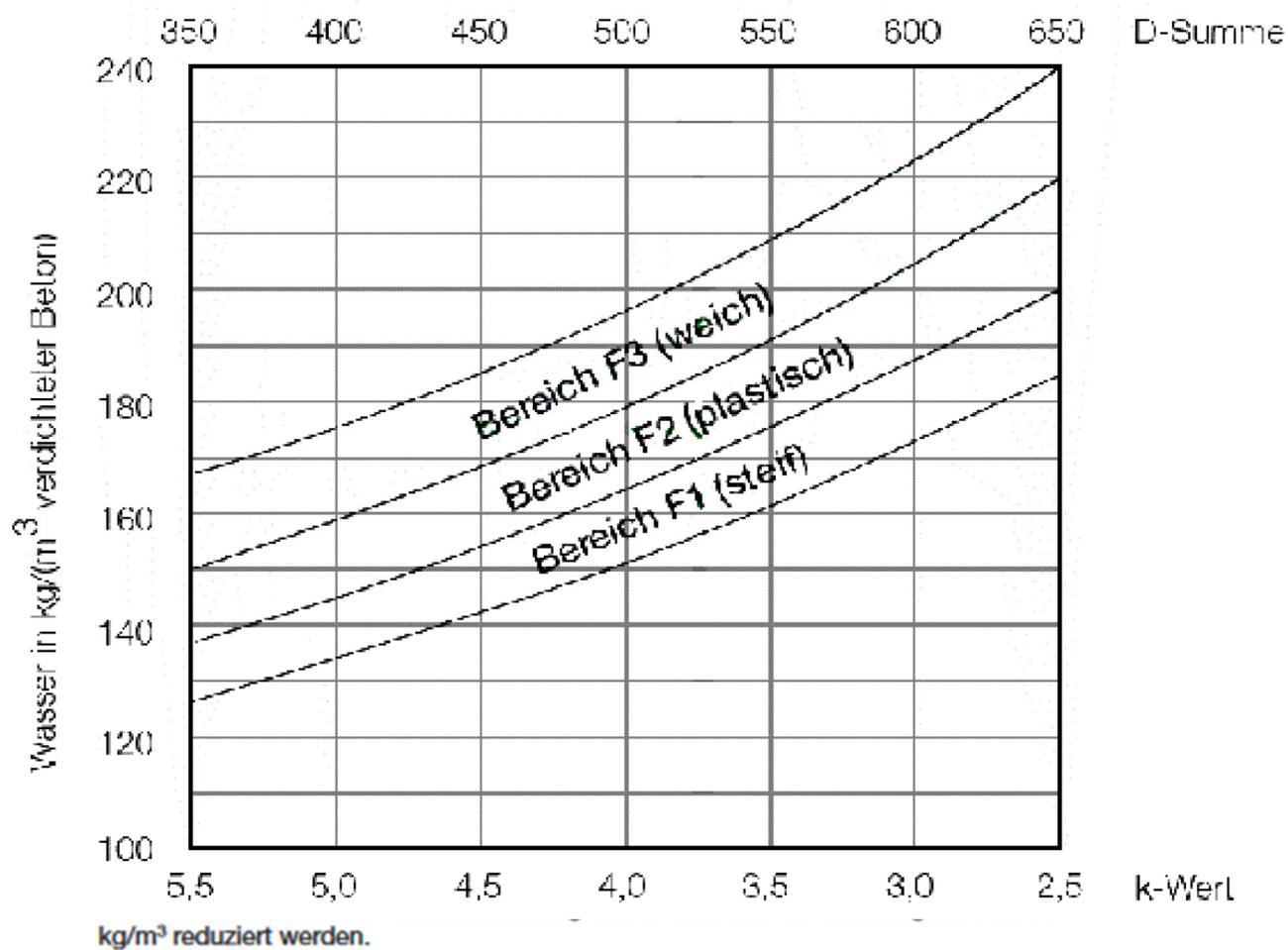




<sup>1)</sup> Bei hochfestem Beton verliert der Einfluss der Zementnormdruckfestigkeit an Bedeutung.

<b>Klassen- bezeichnung</b>	<b>Beschreibung der Umgebung</b>	<b>Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen</b>
<i>1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko</i>		
X0	Alle Umgebungsbedingungen außer XF und XA	Unbewehrte Fundamente ohne Frost, unbewehrte Innenbauteile
<i>2 Korrosion, ausgelöst durch Carbonatisierung</i>		
XC1	trocken oder ständig feucht	Beton in Innenräumen
XC2	nass, selten trocken	Beton, der ständig in Wasser getaucht ist, Wasserbehälter, Gründungsbauteile
XC3	mäßige Feuchte	offene Hallen, gewerbliche Küchen, Bäder, Wäschereien, Viehstelle
XC4	wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung
<i>3 Korrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser</i>		
XD1	mäßige Feuchte	Betonoberflächen, die chlor- haltigem Sprühnebel ausgesetzt sind, Einzelgaragen
XD2	nass, selten trocken	Solebäder, Beton, der chlor-haltigen Industrieabwässern ausgesetzt ist
XD3	wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit Spritzwasser, Fahrbahndecken, Parkdecks
<i>4 Korrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser</i>		
XS1	salzhaltige Luft, aber kein direkter Kontakt zum Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	ständig unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen (ständig unter Wasser)
XS3	Tidebereich, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen
<i>5 Frostangriff mit und ohne Taumittel</i>		

XF1	mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Außenbauteile
XF2	mäßige Wassersättigung mit Taumittel	Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser, Bauteile im Sprühnebel- und Spritzwasser-bereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht F4
XF3	hohe Wassersättigung ohne Taumittel	offene Wasserbehälter, Bauteile in der Wasserwechselzone
XF4	hohe Wassersättigung mit Taumittel	Verkehrsflächen mit Taumitteln, Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone, Räumeraufbahnen von Kläranlagen
<i>6 Chemischer Angriff</i>		
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen, Güllebehälter
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung	Bauteile in betonangreifenden Böden
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern
<i>7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung</i>		
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder gummibereifte Gabelstapler
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler oder Kettenfahrzeuge



**Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion durch Chloride (kein Meerwasser)**

Expositionsklassen	Bewehrungskorrosion durch Chloride (außer Meerwasser)		
	XD1	XD2	XD3
max. w/z	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>2)</sup>	C30/37 <sup>4)</sup>	C35/45 <sup>4)5)</sup>	C35/45 <sup>4)</sup>
Mindestzementgehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270	270

<sup>2)</sup> Gilt nicht für Leichtbeton.

<sup>3)</sup> Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.

<sup>4)</sup> Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.

<sup>5)</sup> Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ( $r < 0,30$ ) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

**Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch chemischen Angriff**

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch chemischen Angriff		
	XA1	XA2 <sup>12)</sup>	XA3 <sup>13) 12)</sup>
max. w/z	0,60	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>2)</sup>	C25/30	C35/45 <sup>4)5)</sup>	C35/45 <sup>4)</sup>
Mindestzementgehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	280	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270	270

<sup>2)</sup> Gilt nicht für Leichtbeton.

<sup>3)</sup> Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.

<sup>4)</sup> Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.

<sup>5)</sup> Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ( $r < 0,30$ ) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

<sup>12)</sup> Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss oberhalb der Expositionsklasse XA1 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden. Siehe auch Abschnitt 4.1.4

<sup>13)</sup> Schutzmaßnahmen wie z. B. Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen sind für den Beton erforderlich bei

- chemischem Angriff der Expositionsklasse XA3 oder stärker,
- hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Mitwirkung von Chemikalien nach Tabelle 6.2.1.6.b.

Greifen andere Chemikalien als nach Tabelle 6.2.1.6.b an oder ist der Untergrund verunreinigt, sind die Auswirkungen des chemischen Angriffs zu klären und Schutzmaßnahmen individuell festzulegen.

**Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch Frost- und Frost-Tausalzangriff**

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch Frostangriff mit und ohne Taumittel					
	XF1	XF2		XF3		XF4
max. w/z	0,60	0,55 <sup>2)</sup>	0,50 <sup>2)</sup>	0,55	0,50	0,50 <sup>2)</sup>
Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>2)</sup>	C25/30	C25/30	C35/45 <sup>5)</sup>	C25/30	C35/45 <sup>5)</sup>	C30/37
Mindestzementgehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	280	300	320	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270 <sup>2)</sup>	270 <sup>2)</sup>	270	270	270 <sup>2)</sup>
Mindestluftgehalt [%]	-	7)	-	7)	-	7) <sup>2)</sup>
andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositionsklassen XF1 bis XF4 (siehe Tabellen 2.2.1.d und 2.2.1.e)					
	F <sub>4</sub>	MS <sub>25</sub>		F <sub>2</sub>		MS <sub>18</sub>

<sup>2)</sup> Gilt nicht für Leichtbeton.

<sup>3)</sup> Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.

<sup>5)</sup> Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ( $r < 0,30$ ) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

<sup>2)</sup> Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den w/z-Wert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.

<sup>7)</sup> Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn  $D_{max}$  der Gesteinskörnung von 8 mm  $\geq 5,5$  Vol.-%, 16 mm  $\geq 4,5$  Vol.-%, 32 mm  $\geq 4,0$  Vol.-% und 63 mm  $\geq 3,5$  Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Werte um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton (Konsistenzklasse  $\geq F_4$ ) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Als oberer Grenzwert gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-%. Das „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“ der FGSV ist zu beachten.

<sup>2)</sup> Erdfeuchter Beton mit  $w/z \leq 0,40$  darf ohne Luftporen hergestellt werden.

**Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser**

Expositionsklassen	Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser		
	XS1	XS2	XS3
max. w/z	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>2)</sup>	C30/37 <sup>4)</sup>	C35/45 <sup>4)5)</sup>	C35/45 <sup>4)</sup>
Mindestzementgehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270	270

<sup>2)</sup> Gilt nicht für Leichtbeton.

<sup>3)</sup> Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.

<sup>4)</sup> Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.

<sup>5)</sup> Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ( $r < 0,30$ ) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung <sup>9)</sup>			
	XM1	XM2	XM3	XM3
maximaler w/z-Wert	0,55	0,55	0,45	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse <sup>2)</sup>	C30/37 <sup>4)</sup>	C30/37 <sup>4)</sup>	C35/45 <sup>4)</sup>	C35/45 <sup>4)</sup>
Mindestzementgehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	300 <sup>10)</sup>	300 <sup>10)</sup>	320 <sup>10)</sup>	320 <sup>10)</sup>
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270	270	270
andere Anforderungen	–	Oberflächenbehandlung <sup>11)</sup>	–	Hartstoffe nach DIN 1100 <sup>14)</sup>

- 1) Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.
- 2) Gilt nicht für Leichtbeton.
- 3) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m<sup>3</sup> reduziert werden.
- 4) Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.
- 5) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ( $r < 0,30$ ) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.
- 6) Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den w/z-Wert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. (Siehe BTB-Kapitel 4.1.1). Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.
- 7) Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn  $D_{max}$  der Gesteinskörnung von 8 mm  $\geq 5,5$  Vol.-%, 16 mm  $\geq 4,5$  Vol.-%, 32 mm  $\geq 4,0$  Vol.-% und 63 mm  $\geq 3,5$  Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Werte um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton (Konsistenzklasse  $\geq F4$ ) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Als oberer Grenzwert gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-%. Das „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“ der FGSV ist zu beachten.
- 8) Erdfeuchter Beton mit  $w/z \leq 0,40$  darf ohne Luftporen hergestellt werden.
- 9) Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 eingesetzt werden. Anmerkung: Die Gesteinskörnungen sollten mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskörnungsgemisch soll möglichst grobkörnig sein.
- 10) Höchstzementgehalt 360 kg/m<sup>3</sup>, jedoch nicht bei hochfestem Beton.
- 11) Z. B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.
- 12) Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss oberhalb der Expositionsklasse XA1 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden. Siehe auch BTB-Kapitel 4.1.4
- 13) Schutzmaßnahmen wie z. B. Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen sind für den Beton erforderlich bei  
 = chemischem Angriff der Expositionsklasse XA3 oder stärker,  
 = hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Mitwirkung von Chemikalien nach Tabelle 6.2.1.6.b.  
 Greifen andere Chemikalien als nach Tabelle 6.2.1.6.b an oder ist der Untergrund verunreinigt, sind die Auswirkungen des chemischen Angriffs zu klären und Schutzmaßnahmen individuell festzulegen.
- 14) Z. B. Hartstoffeinstreuung.





