

**Vorbemerkung**

Die Betonbaunormen in Europa und damit auch in Deutschland befinden sich im Umbruch. Für eine Übergangszeit werden alte und neue Normengeneration parallel gelten. Das vorliegende Merkblatt bezieht sich auf die DIN 1045 : 1988 [1] sowie die Zuschlagnorm DIN 4226 : 1983 [5].

Kursiv geschriebene Merkbblatttexte verdeutlichen die Änderungen, die sich durch die neue Normengeneration DIN 1045 : 2001, DIN EN 206-1 : 2001 [2, 3, 4] und DIN 4226 : 2001 [6] ergeben.

Schwerbeton nach DIN 1045 (Trockenrohichte $\geq 2,8 \text{ kg/dm}^3$ bzw. *ofentrockene Rohichte* $\geq 2,6 \text{ kg/dm}^3$) kommt zum Einsatz für

- Strahlenschutz (Medizin, Werkstoffprüfung, Zoll, Forschung, Kernkraftwerke),
- Ballastierung (Baumaschinen, Schiffe, Auftriebssicherung von Fundamenten, Rohrleitungen),
- Tresore und
- Schallschutz.

Zum Schutz des Menschen wurden vom Gesetzgeber Höchstwerte für die zulässige Strahlenbelastung festgelegt. **Strahlenschutzbeton** (auch Abschirmbeton genannt) dient dem Abschwächen gefährlicher Strahlung. Tafel 1 zeigt die Schutzwirkung, die Beton bietet. Der Nachweis der

Strahlenschwächung ist keine Aufgabe des Betoningenieurs; vom Strahlenschutzspezialisten müssen die erforderlichen Kennwerte für den Betonentwurf unter Berücksichtigung konstruktiver Gegebenheiten (z.B. Bauteildicke) bereitgestellt werden:

- Festbetonrohichte,
- Gehalt an chemisch gebundenem Wasser,

Tafel 1: Strahlenschutzwirkung von Beton

abzuschirmende Strahlung	Strahlenquellen (Beispiele)	Qualitative Anforderungen an Strahlenschutzbetone
Röntgenstrahlung	Röntengeräte, Linearbeschleuniger	– üblicher Normalbeton mit $\rho_R \geq 2,4 \text{ kg/dm}^3$ und Dicken von ca. 300 mm
α -Strahlung β -Strahlung	Radionuklide	– Betondicken im mm-Bereich ausreichend
γ -Strahlung	Kernreaktoren Radionuklide Kernexplosionen	– hohe Rohdichte und/oder – große Dicke
Neutronenstrahlung		– hoher Gehalt an chemisch gebundenem Wasser – Zusätze von Bor, Kadmium oder Hafnium – hohe Rohdichte – große Dicke

Tafel 2: Zuschläge (Gesteinskörnungen) und Zusatzstoffe für Schwer- und Strahlenschutzbetone

Stoffgruppe (verfügbare Korngrößen)	Kornrohichte kg/dm^3	Eisengehalt Gew.-%	Kristallwasser Gew.-%	Borgehalt Gew.-%	Chem. Elemente (Hauptbestandteile)	Richtpreis Normalzuschlag = 1
Normalzuschläge (normale Gesteinskörnungen)						
Kiessand	2,6 bis 2,7	–	–	–	Si, Al, Ca, K, Na, Mg, C, O	1
Kalkstein	2,6 bis 2,8	–	–	–	Ca, Al, C, O	1 bis 3
Granit	2,6 bis 2,8	–	–	–	Si, Al, K, Na, O	1 bis 3
Basalt	2,9 bis 3,1	< 10	–	–	Si, Al, Fe, Mg, O	1 bis 3
Natürliche Schwerzuschläge (natürliche schwere Gesteinskörnungen)						
Baryt (Schwerspat)	4,0 bis 4,3	–	–	–	Ba, S, O	10 bis 15
Ilmenit (Titaneisenstein)	4,6 bis 4,7	35 bis 40	–	–	Fe, Ti, O	10 bis 15
Magnetit (Magneisenstein)	4,6 bis 4,8	60 bis 70	–	–	Fe, O	10 bis 25
Hämatit (Roteisenstein)	4,7 bis 4,9	60 bis 70	–	–	Fe, O	15 bis 25
Künstliche Schwerzuschläge (industriell hergestellte, schwere Gesteinskörnungen)						
Schwermetallschlacken ¹⁾	3,5 bis 3,8	< 25	–	–	Si, Ca, Fe, O	5 bis 10
Ferrosilicium	5,8 bis 6,2	80 bis 85	–	–	Fe, Si	20 bis 35
Ferrophosphor	6,0 bis 6,2	65 bis 70	–	–	Fe, P	30 bis 40
Stahlgranalien ($\leq 8 \text{ mm}$)	6,8 bis 7,5	90 bis 95	–	–	Fe	30 bis 45
Stahlsand (0,2...3 mm)	7,5 bis 7,6	rd. 95	–	–	Fe	50 bis 60
Zuschläge (Gesteinskörnungen) mit erhöhtem Kristallwassergehalt						
Limonit (4...16 mm)	3,6 bis 3,8	50 bis 55	10 bis 12	–	Fe, O, H	15 bis 20
Serpentin	2,5 bis 2,6	–	11 bis 13	–	Si, Mg, O, H	10 bis 20
Borhaltige Zusatzstoffe						
Borocalcit, Colemanit	2,3 bis 2,4	–	16 bis 20	rd. 13	B, Ca, O, H	40 bis 65
Borfrötte	2,4 bis 2,6	–	–	rd. 15	B, Si, Na, O	rd. 200
Borcarbide	2,4	–	–	rd. 78	B, C	rd. 3 300

¹⁾ Der Schwermetallgehalt kann starken Schwankungen unterliegen.

Tafel 3: Sieblinien nach der Fullerparabel

Korn-gemisch	Durchgänge in Vol.-% für Siebweiten (mm)							
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5
0/32	5	12	17	25	35	50	70	100
0/16	8	17	25	35	50	70	100	100
0/8	11	25	35	50	70	100	100	100

Tafel 4: Anhaltswerte für den anrechenbaren gebundenen Wasser(stoff)gehalt w_{zs} im trockenen Zementstein

Betriebstemperatur in °C	w_{zs} in kg/m ³	$\alpha^{2)}$
< 40	$0,2 \cdot z + 30$	0,19...0,23 bei weitgehender Hydratation ¹⁾
40...100	$\alpha \cdot z$	
ca. 200	$0,55 \cdot \alpha \cdot z$	0,14...0,19 nach 28 d-Normlagerung
ca. 300	$0,45 \cdot \alpha \cdot z$	

¹⁾ Bauteile, die vor dem Austrocknen geschützt sind und massige Bauteile im Alter von mindestens drei Monaten

²⁾ Die höheren Werte ergeben sich bei $w/z > 0,5$ für
– R-Zemente (schnell erhärtende Zemente)
– Zemente mit hohem C₃S-Gehalt und größerer Mahlfineheit.

- ❑ Anteil von Zusatzstoffen hoher Neutroneneinfangwahrscheinlichkeit,
- ❑ chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Zuschläge (*Gesteinskörnungen*).

Weitere Anforderungen an den Beton können sich ergeben durch

- ❑ Temperaturbeanspruchungen,
- ❑ mechanische und chemische Angriffe,
- ❑ ökonomische Beschränkungen

Für den Strahlenschutz kommen Schwerbetone mit Trockenrohddichten zwischen 2,8 und 6,0 kg/dm³ (zwischen 2,6 und 6,0 kg/dm³) sowie Normalbeton zum Einsatz, wobei z.B. in der Medizintechnik Bauteildicken bis 2 m notwendig sind.

1 Ausgangsstoffe

Zemente

Geeignet sind Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164, wenn die Anwendungsregeln für Zement beachtet werden (*DIN 1045-2 legt Anwendungsbereiche für Zemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassen der Bauteile fest*). Bei massigen Bauteilen können Zemente mit normaler Anfangserhärtung (N-Zemente) bzw. niedriger Hydratationswärmeentwicklung (NW-Zemente) vorteilhaft sein.

Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) und Zusatzstoffe

Eine Übersicht über die für Schwer- und Strahlenschutzbetone anwendbaren Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) und Zusatzstoffe zeigt Tafel 2. Blei und bleihaltige Gesteine sind für Beton ungeeignet, da sie zu Störungen im Abbindeverhalten führen und sich kein ausreichender Haftverbund mit dem Zementstein ausbildet.

Zu bevorzugen sind gedrungene Körner. Für eine günstige Verarbeitbarkeit und eine hohe Betonrohddichte ist eine Kornzusammensetzung möglichst im Sieblinienbereich A/B anzustreben. Entsprechen die lieferbaren Gesteinskörnungen nicht den im Betonbau üblichen, so hat sich eine Kornzusammensetzung mit vermindertem Mehlkornanteil als günstig erwiesen (Tafel 3).

Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) unterliegen den Forderungen der DIN 4226. Wird der Schwerzuschlag (*die schwere Gesteinskörnung*) von Lieferanten bezogen, die keiner Güteüberwachung (*keinem Übereinstimmungsnachweis*) nach DIN 4226 unterliegen, so muss der Hersteller verbindliche Aussagen über Zusammensetzung und Gleichmäßigkeit der Stoffe machen und gegebenenfalls Analysen fachkundiger Laboratorien vorlegen. Es dürfen nur Schwerzuschläge verwendet werden, die folgende Grundbedingung erfüllen:

- ❑ die geforderte Kornzusammensetzung, die Kornrohddichte, der Kristallwassergehalt und die chemische Zusammensetzung müssen gewährleistet sein,
- ❑ die Festigkeit und die Dichtigkeit des Betons dürfen durch die Beschaffenheit der Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) nicht gefährdet sein,
- ❑ der Abrieb durch Lagern des Zuschlags (*der Gesteinskörnung*) sowie durch Mischen und Verarbeiten des Betons muss gering sein,
- ❑ die Oberflächenbeschaffenheit des Zuschlags (*der Gesteinskörnung*) darf die Haftung im Mörtel bzw. Beton nicht mindern,
- ❑ der Zuschlag (*die Gesteinskörnung*) darf keine betonschädigenden und stahlangreifenden Bestandteile enthalten,
- ❑ die Mindestdruckfestigkeit muss 80 N/mm² betragen (Erfahrungswert).

Genormte oder zugelassene Zusatzstoffe dürfen verwendet werden.

Zusatzmittel

Es sind nur genormte oder zugelassene Zusatzmittel anzuwenden. Da Reaktionen zwischen Zusatzmitteln und Schwerzuschlägen (*schweren Gesteinskörnungen*) nicht auszuschließen sind, müssen erweiterte Eignungsprüfungen – speziell über die Veränderung des Erstarrens und Erhärtens – durchgeführt werden.

Betonschädigende Reaktionen von natürlichen Schwerzuschlägen (*natürlichen schweren Gesteinskörnungen*) mit Verflüssigern, Fließmitteln und Verzögerern sind bisher nicht bekannt.

Betonstahl

Grundsätzlich sind alle Betonstähle nach DIN 488 geeignet. Bei Beanspruchungen aus dynamischen Lasten (Stoß, Explosion) können erhöhte Anforderungen an Bruchdehnung und Rückbiegeverhalten erforderlich werden.

2 Betonzusammensetzung

Anrechenbarer gebundener Wasser(stoff)gehalt

Allgemein gültige Erkenntnisse zur Wasserbindung in Zementstein und Zuschlägen (*Gesteinskörnungen*) sind z.Z. nicht vorhanden. Tafel 4 zeigt Anhaltswerte für den chemisch gebundenen Wasser(stoff)gehalt des Zementsteins, der unter verschiedenen Lagerungs- und Betriebsbedingungen angenommen werden kann. Detailliertere Aussagen erfordern aufwändige experimentelle Untersuchungen entsprechend des jeweiligen Einzelfalls.

Den anrechenbaren Kristallwassergehalt der Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) bei üblichen Klimaverhältnissen zeigt Tafel 2. Bei Betriebstemperaturen ab 80 °C entwässern die Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) je nach Temperatur und Einwirkungszeit. Einen ausreichend hohen Kristallwassergehalt behalten limonithaltige Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) im Allgemeinen bis zu 150 °C, serpentinhaltige Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) bis 350 °C Betriebstemperatur.

Rohddichte

Die für den Mischungsentwurf ausschlaggebende Festbetonrohddichte ρ_b (ρ_c) kann durch Festlegung einer bestimmten Frisch-

betonrohddichte $\rho_{b,h}$ ($\rho_{c,h}$) unter Berücksichtigung produktionsbedingter Streuungen eingehalten werden:

$$\rho_{b,h} = \rho_b + 1,645 \cdot s + w - w_{zs}$$

Für Vorabschätzungen kann $s = 0,01 \cdot \rho_b$ gesetzt werden.

Druckfestigkeit

Die für Schwer- und Strahlenschutzbetone üblichen Festigkeitsklassen B 25 und B 35 (C 20/25, C 25/30 und C 30/37) sind mit den genannten Zuschlägen (*Gesteinskörnungen*) sicher erreichbar. Haupteinflussfaktoren auf die Festigkeit sind analog zu Normalbetonen der Wasserzementwert w/z , die Zementfestigkeit und der Verdichtungsporenanteil. Bei künstlichen und kristallwasserhaltigen Zuschlägen (*Gesteinskörnungen*) können Abweichungen im Vergleich zum Erhärtungsverlauf von Normalbeton auftreten.

Frischbetoneigenschaften

Der auch bei guter Verdichtung unvermeidliche Frischbetonporenraum liegt bei 1,5 Vol.-%; werden künstliche Zuschläge (*industriell hergestellte, schwere Gesteinskörnungen*) verwendet, kann der Porenraum auf 3 Vol.-% ansteigen.

Der erforderliche Wassergehalt für eine bestimmte Konsistenz entspricht in etwa dem von Normalbeton; bei künstlichen Zuschlägen (*industriell hergestellten, schweren Gesteinskörnungen*) sind Abweichungen möglich. Der Wassergehalt sollte möglichst gering gehalten werden, weil er sonst die Rohdichte des Betons herabsetzt, das Schwinden vergrößert und Rissbildungen fördert. Bei weichen und fließfähigen Konsistenzen und unterschiedlichen Zuschlagrohddichten (*Rohdichten der Gesteinskörnungen*) besteht die Gefahr von Entmischungen.

Mischungsentwurf

Es gelten die vom Normalbeton bekannten Stoffraum-Beziehungen, wobei die unterschiedlichen Zuschlagrohddichten (*Rohdichten der Gesteinskörnungen*) zu berücksichtigen sind.

Zur Erläuterung soll folgendes Beispiel dienen:

- Geforderte Eigenschaften:

B 25 (C20/25), Innenbauteil (XC I)

$\rho_b = 3\,200 \text{ kg/m}^3$

Konsistenz KP (C 2, F 2)

Frischbetonporosität $p = 2,0 \text{ Vol.-%}$

Betriebstemperatur $< 40 \text{ °C}$

- Verfügbare Stoffe:

Zement CEM III/B 32,5N - NW mit $\rho_z = 3000 \text{ kg/m}^3$

Schwerzuschlag mit $\rho_{g1} = 4\,200 \text{ kg/m}^3$

Normalzuschlag mit $\rho_{g2} = 2\,700 \text{ kg/m}^3$

- Ermittelt nach WALZ-Diagramm: $w/z = 0,59$

$w = 165 \text{ kg/m}^3$

$z = 280 \text{ kg/m}^3$

- Volumenanteil des Zuschlags:

$$V_g = 1 - z/\rho_z - w/1\,000 - p$$

$$V_g^g = (1 - 280/3\,000 - 165/1\,000 - 0,02) \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$V_g^g = 0,72 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

- Masseanteil des Zuschlags unter Berücksichtigung der Frischbetonrohddichte:

$$\rho_{b,h} = \rho_b + 1,645 s + w - w_{zs}$$

$$\rho_{b,h} = 3\,200 + 1,645 \cdot 0,01 \cdot 3\,200 + 165 - (0,2 \cdot 280 + 30)$$

$$\rho_{b,h} = 3\,300 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \rho_{b,h} - z - w$$

$$g = 3\,300 - 280 - 165$$

$$g = 2\,880 \text{ kg/m}^3$$

- Aufteilung der Gesamtmasse auf die beiden Zuschläge mit den beiden Gleichungen:

$$g = g_1 + g_2$$

$$V_g = g_1/\rho_{g,1} + g_2/\rho_{g,2}$$

$$g_1 = (V_g \cdot \rho_{g,1} \cdot \rho_{g,2} - g \cdot \rho_{g,1}) / (\rho_{g,2} - \rho_{g,1})$$

$$g_1 = (0,72 \cdot 4\,200 \cdot 2\,700 - 2\,880 \cdot 4\,200) / (2\,700 - 4\,200)$$

$$g_1 = 2\,620 \text{ kg/m}^3$$

$$g_2 = g - g_1 = 2\,880 - 2\,620$$

$$g_2 = 260 \text{ kg/m}^3$$

Die Zuschläge sind nun noch entsprechend der gewünschten Sieblinie auf die Korngruppen aufzuteilen.

Anhaltswerte liefern auch Rezepturen bereits ausgeführter Bauteile, Tafel 5.

3 Herstellen und Verarbeiten

Schalung und Rüstung

Bei erhöhter Frischbetonrohddichte sind Schalung und Rüstung entsprechend zu bemessen. Vorteilhaft ist die Verwendung von verlorenen Schalungsankern, da das Verschließen von Anker-

Tafel 5: Beispiele für Schwerbetonrezepturen (Praxisbeispiele)

Anwendung		Krankenhaus (Strahlentherapie)	Krankenhaus (Strahlentherapie)	Ballastbeton
Betonfestigkeitsklasse		B 25 (C 20/25)	B 35 (C 30/37)	B 25 (C 20/25)
geforderte Trockenrohddichte	kg/m ³	≥ 3 200	≥ 3 400	≥ 4 200
Zementart und -festigkeitsklasse Zementgehalt	kg/m ³	CEM I 32,5 R 280	CEM III/B 32,5 N-NW 370	CEM III/B 32,5 N-NW 300
Flugaschegehalt	kg/m ³	50	–	–
Zuschlaggehalt (Gehalt der Gesteinskörnung)				
Sand 0/4	kg/m ³	–	–	–
Kies 4/8	kg/m ³	–	–	–
Kies 8/16	kg/m ³	125	–	–
Baryt 0/16	kg/m ³	2 640	2 800	–
Hämatit 0/16	kg/m ³	–	–	2 860
Eisenerzgranulat 4/8	kg/m ³	–	–	940
Verflüssigerzusatz	kg/m ³	2,5	2	1,5
Wasserzementwert w/z	–	0,55	0,51	0,56
Konsistenz		KP (C2, F2)	KP/KR (C 2/C 3, F 2/F 3)	KP/KR (C 2/C 3, F 2/F 3)
Betondruckfestigkeit nach 28 Tagen	N/mm ²	39	44	40

löchern mit Strahlenschutzmörtel im Allgemeinen problematisch ist. Die Eignung von Schalungsankern und Abstandhaltern sollte nachgewiesen werden.

Lagern der Zuschläge (*Gesteinskörnungen*)

Das Vermischen verschiedener Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) sowie Verunreinigungen sind zu vermeiden. Eisenhaltige Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) müssen trocken gelagert werden. Ein leichter Rostanflug ist unschädlich.

Dosieren und Mischen

Alle Mischungsbestandteile sind nach Masse (Gewicht) zu dosieren; die Zuschlagfeuchte (*Feuchte der Gesteinskörnungen*) ist zu berücksichtigen. Bei Schwerbeton muss die Einfüllmenge in den Mischer im Verhältnis Schwerbetondichte zu Normalbetondichte (2400 kg/m^3) abgemindert werden. Die erforderliche Mischzeit ist in Vorversuchen zu bestimmen, um sowohl die Homogenität zu sichern als auch übermäßigen Abrieb der Schwerzuschläge (*schweren Gesteinskörnung*) zu verhindern (im Regelfall 1 min bis 2 min).

Transportbeton

Schwierigkeiten durch Entmischungen sind möglich, wenn Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) mit sehr verschiedenen Kornrohdichten eingesetzt werden. Das zulässige Ladegewicht der Fahrmascher ist zu beachten.

Fördern, Einbringen, Verdichten

Bei Schwerbeton erfolgt der Einbau überwiegend mit Kübel oder Förderbändern. Bei der Nutzung von Betonpumpen können durch die geforderten Frischbetoneigenschaften Probleme auftreten. Ein Verarbeitungsversuch unter Baustellenbedingungen gibt Aufschluss. Zur Vermeidung von Entmischungerscheinungen bei unterschiedlichen Zuschlagrohdichten (*Rohdichten der Gesteinskörnungen*) sollte die freie Fallhöhe so gering wie möglich gehalten werden. Beim schichtweisen Betonieren haben sich Schichtdicken um 25 cm bewährt.

Das Prepaktverfahren hat sich bewährt, wenn Bauteile mit unregelmäßigen Abmessungen, Rohrdurchführungen oder Aussparungen herzustellen sind. Stofflich und technologisch gelten die allgemeinen Regeln des Prepaktverfahrens (gepackter Zuschlag (*gepackte Gesteinskörnung*) $\geq 32 \text{ mm}$, Mörtelzuschlag (*Gesteinskörnung des Mörtels*) $\leq 4 \text{ mm}$). Sollen Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) mit sehr unterschiedlicher Rohdichte verarbeitet werden, z.B. Stahlschrott zusammen mit anderen Materialien, so eignet sich das Puddelverfahren, bei dem in schichtenweise eingebrachtem Mörtel größere Schwerzuschlagstücke (*Stücke der schweren Gesteinskörnungen*) eingerüttelt werden.

Beim Einsatz von Innenrüttlern sollten vorrangig solche mit hoher Fliehkraft nach DIN 4235 eingesetzt werden. Der Verdichtungsaufwand bei Schwerbeton ist erhöht. Rüttelabstände, Eintauchtiefen und Rüttelzeit sollten so gering wie möglich gehalten werden, wobei Vorversuche angebracht sind. Bei Außenrüttlern ist die begrenzte Wirkungstiefe zu beachten. Nachverdichtung wirkt sich hierbei positiv aus. Fehlstellen im Beton können bei Strahlenschutzbetonen die Wirksamkeit der Abschirmung in Frage stellen.

Arbeitsfugen

Arbeitsfugen sind möglichst zu vermeiden. Sind Arbeitsunterbrechungen erforderlich, sollten die Arbeitsfugen geplant und in Bereichen geringer Strahlungsintensität angeordnet werden, z.B. mit Nut-Feder oder einer Aufkantung. Die Schlämme des älteren Betons ist mit einem Druckwasserstrahl zu beseitigen, bis das Grobkorn freiliegt. Stehendes Wasser ist durch ölfreie Druckluft zu entfernen. Die Betonoberfläche soll vor dem Weiterbetonieren nur noch mattfeucht sein.

Nachbehandeln

Strahlenschutzbeton ist zur Vermeidung von Rissen besonders sorgfältig und ohne Unterbrechung nachzubehandeln. Grundsätzlich gilt die „Richtlinie zur Nachbehandlung von Betonen“ des DAfStb (bzw. *DIN 1045-3 : 2001*), wobei die Nachbehandlungsdauer aber unbedingt zu verlängern ist (z.B. mindestens 14 Tage feuchthalten). Bei massigen Bauteilen kann eine wärmedämmende Abdeckung zur Vermeidung von Temperaturspannungen sinnvoll sein.

4 Güteüberwachung (*Übereinstimmungsnachweis und Überwachung*)

Strahlenschutzbeton ist als B II-Beton nach DIN 1045 herzustellen und gemäß DIN 1084 zu überwachen (*Der Übereinstimmungsnachweis für Strahlenschutzbeton ist nach DIN EN 206-1 : 2001 und DIN 1045-2 : 2001 zu führen. Die Überwachung der Bauausführung erfolgt nach DIN 1045-3 : 2001 in der Überwachungsklasse 2 oder für hochfeste Betone in der Überwachungsklasse 3*). Zusätzlich sollte die Eigenüberwachung (*Überwachung*) folgende Kennwerte nachweisen:

- Kornrohdichte und gegebenenfalls chemische Zusammensetzung und Kristallwassergehalt der Zuschläge (*Gesteinskörnungen*),
- Frisch- und Festbetonrohdichte.

Prüfhäufigkeit und Vorhaltemaße sind zu vereinbaren. Die Abschirmwirkung von Beton kann mittels Durchstrahlung geprüft werden.

5 Widerstand von Beton gegen radioaktive Strahlung

Durch Strahlenabsorption kann die Betontemperatur stark ansteigen; dabei kommt es neben der Entwässerung des Betons bereits bei Temperaturen zwischen $100 \text{ }^\circ\text{C}$ und $250 \text{ }^\circ\text{C}$ zu Festigkeitsverlusten des Betons von 20 % bis 25 %. Nach heutigem Wissensstand kann Neutronenstrahlung mit einer Fluenz von mehr als 10^{19} Neutronen/cm² bzw. Gammastrahlung mit einer Dosis über $2 \cdot 10^{14} \text{ J/g}$ zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften führen (Festigkeit, Elastizitätsmodul, Wärmedehnzahl). Solche Strahlenbelastungen treten z.B. in Reaktordruckbehältern auf.

Neben der Berücksichtigung dieser Faktoren bei der Bemessung bzw. konstruktiven Gestaltung des Bauwerks müssen dann besonders strahlenbeständige Zuschläge (*Gesteinskörnungen*) ausgewählt werden.

6 Schwerbetonmauerwerk

Alternativ zu Ortbeton kann Mauerwerk aus Schwerbetonsteinen eingesetzt werden. Das vollfugige Vermauern der Steine erfolgt mit Zementmörtel MG III. Bei Strahlenschutzmauerwerk müssen Steine und Mörtel die gleiche Trockenrohdichte besitzen. Auch Putze können zur Strahlenschutzwirkung in Ansatz gebracht werden.

7 Beschichtungen

Für strahlungsbeaufschlagte Bauteile werden vorwiegend lösemittelhaltige oder wasseremulgierbare Epoxidharze und Polyurethane eingesetzt, an die besondere Forderungen an Strahlungsbeständigkeit und Dekontaminierbarkeit gestellt werden. Forderungen und Prüfverfahren enthält DIN 55 991.

8 Gesetzliche Grundlagen

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung) vom 8.1.1987 (BGBl. I, S. 114), zuletzt geändert 1996 (BGBl. I, S. 1172)

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 30.6. 1989 (BGBl. I, S. 1321), zuletzt geändert 1997 (BGBl. I, S. 2113)

9 Normen für den Betonbau

- [1] DIN 1045: Beton- und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung, Ausgabe 7.1988
- [2] *DIN EN 206-1: Beton - Teil 1: Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Ausgabe 7.2001*
- [3] *DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Ausgabe 7.2001*
- [4] *DIN 1045-3 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung, Ausgabe 7.2001*
- [5] DIN 4226: Zuschlag für Beton, Teil 1: Zuschlag mit dichtem Gefüge. Begriffe, Bezeichnung und Anforderungen, Ausgabe 4.1983
- [6] *DIN 4226-1: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen, Ausgabe 7.2001*
- [7] DIN EN 197-1: Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, Ausgabe 2.2001
- [8] DIN 1164: Zement mit besonderen Eigenschaften. Zusammensetzung, Anforderungen, Übereinstimmungsnachweis, Ausgabe 11.2000

10 Normen für den Strahlenschutz

(in Klammern inhaltliche Schwerpunkte der Norm mit Bezug auf Beton)

DIN 6804: Regeln für den Strahlenschutz – Geschlossene radioaktive Präparate in medizinischen Betrieben
(Schwächungsgrade bei Gammastrahlung)

DIN 6812: Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Strahlenschutzregeln für die Errichtung
(notwendige Abschirmdicken bei Röntgenstrahlung, Bleigleichwerte)

DIN 6814: Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik

DIN 6815: Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Prüfung des Strahlenschutzes nach Errichtung, Instandsetzung, Änderung
(Prüfvorschrift)

DIN 6844: Nuklearmedizinische Betriebe – Regeln für die Errichtung und Ausstattung
(Schwächungsgrade bei Radionukliden)

Formelzeichen

Zeichen	Dimension	Bedeutung
g_i	kg/m^3	Zuschlaggehalt des Zuschlags (<i>Gehalt der Gesteinskörnung</i>) i
p	m^3/m^3	Frischbetonporengehalt
s	kg/m^3	Standardabweichung
V_g	m^3/m^3	Volumenanteil des Zuschlags (<i>der Gesteinskörnung</i>)
w	kg/m^3	Wassergehalt im Beton
w_{zs}	kg/m^3	anrechenbarer gebundener Wassergehalt im Zementstein
z	kg/m^3	Zementgehalt
α	–	Faktor zur Charakterisierung der Wasserbindung im Zementstein
ρ_b (ρ_c)	kg/m^3	Festbetonrohddichte
$\rho_{b,h}$ ($\rho_{c,h}$)	kg/m^3	Frischbetonrohddichte
ρ_{si}	kg/m^3	Kornrohddichte des Zuschlags (<i>der Gesteinskörnung</i>) i
ρ_z	kg/m^3	Zementreindichte
w/z	–	Wasserzementwert

DIN 6845: Prüfung von Strahlenschutzstoffen für Röntgen- und Gammastrahlung
(Prüfvorschrift)

DIN 6846: Medizinische Gamma-Bestrahlungsanlagen – Strahlenschutzregeln für die Herstellung und Errichtung
(Schwächungsgrade bei Gammastrahlung)

DIN 6847, Teil 2: Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen – Strahlenschutzregeln für die Errichtung
(Zehntelwertdicken bei Röntgenstrahlung)

DIN 25 401: Kerntechnik – Begriffe

DIN 25 413: Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen

(Volumenanteile der Ausgangsstoffe im Beton als Grundlage für die Bemessung der Abschirmwirkung bei Gamma- und Neutronenstrahlung)

DIN 54 115: Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe

DIN 55 991: Beschichtungsstoffe:
Beschichtungen für kerntechnische Anlagen

11 Literatur

Wandschneider, R.; Pick, R.: Betone, Mauerwerk, Estriche und Putz im bautechnischen Strahlenschutz, Beton-Informationen, 22 (1982) H. 5, S. 47-50, Beton-Verlag, Düsseldorf

Manns, W.: Zuschlag für Strahlenschutzbeton (Schwerzuschlag), Zement-Taschenbuch 1974/75, S. 172-181, Bauverlag Berlin, Wiesbaden

Herrmann, K.: Schwerbetone. Cementbulletin, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeggen 46 (1996), Heft 12

Hilsdorf, H.; Kropp, J.; Koch, H.-J.: Der Einfluss radioaktiver Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 261, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1976

Reiter, E.: Grundlagen des bautechnischen Strahlenschutzes, Bauplanung – Bautechnik, Berlin 26 (1972) H. 6, S. 281-284

Reiter, E.: Herstellung und Ökonomie des bautechnischen Strahlenschutzes, Bauplanung – Bautechnik, Berlin 26 (1972) H. 11, S. 550-553

Strahlenschutzbetone. Merkblatt des Deutschen Beton-Vereins, Wiesbaden, 1996

Bauberatung Zement

Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498	eMail:BB_Muenchen@BDZement.de
Bauberatung Zement Bayern	Rotterdamer Straße 7	90451 Nürnberg	Tel. 0911/93387-0	Fax: 9338733	eMail:BB_Nuernberg@BDZement.de
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/ 873020	Fax: 873029	eMail:BB_Beckum@BDZement.de
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002	eMail:BB_Duesseldorf@BDZement.de
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621	eMail:BB_Hamburg@BDZement.de
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075	eMail:BB_Hannover@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Luisenstraße 44	10117 Berlin-Mitte	Tel. 030/28002-400	Fax: 28002450	eMail:BB_Berlin@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Dohnanystr. 28-30	04103 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290	eMail:BB_Leipzig@BDZement.de
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081-82	Fax: 977270	eMail:BB_Stuttgart@BDZement.de
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16	eMail:BB_Wiesbaden@BDZement.de

02.01

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:BDZ@BDZement.de

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

Nr. B 10 BB Leipzig Dr.-Ing. Thomas Richter 01.02/10

Beton
Es kommt drauf an, was man draus macht.