

Schwerbetone – eine Herausforderung besonderer Art

Dipl.-Ing. Peter Koppe, Lafarge Zement GmbH

Begriffsdefinition und Allgemeines

Von Schwerbeton spricht man, wenn die Trockenrohddichte mehr als 2600 kg/m^3 beträgt, um mit dem Beton Sondereigenschaften wie Strahlenschutz, Ballastierung, Werteschutz (Tresore) oder Schallschutz zu erreichen.

Für den Strahlenschutz müssen durch den Strahlenschutz-Verantwortlichen Zielwerte unter Beachtung konstruktiver Gegebenheiten, vor allem der Bauteildicke, benannt werden, wie:

- // Festigkeitsklasse (C 20/25, C 25/30 oder C 30/37)
- // Festbetonrohddichte
- // Gehalt an chemisch gebundenem Wasser
- // Anteil von Zusatzstoffen mit hohem Absorptionsquerschnitt
- // Chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Gesteinskörnung

Dies gilt ebenso für Ballastbetone und Schallschutzbetone.

Ansonsten gelten die einschlägigen Betonnormen wie DIN EN 206-1 und DIN EN 1045-2, wobei hier die Nachbehandlungszeiten und der Ermittlungszeitraum der Festigkeiten aufgrund der Bauteildicken und der verwendeten Materialien abweichen können.

Ausgangsstoffe

Zemente

Auf Grund der meist sehr dicken Bauteilquerschnitte kommen vor allem Hochofenzemente mit niedriger Hydratationswärme zum Einsatz. Generell sind aber alle Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164 für Schwerbetone geeignet.

Gesteinskörnungen (Tabelle 1)

Für Schwerbetone werden natürliche und/oder künstliche Gesteinskörnungen, meistens in Kombination, eingesetzt. Sie lassen sich folgendermaßen einteilen:

- // Normale Gesteinskörnungen
- // Natürliche schwere Gesteinskörnungen
- // Künstliche schwere Gesteinskörnungen
- // Gesteinskörnungen mit Kristallwasser



Tabelle 1: Gesteinskörnungen u. „Zusatzstoffe“ für Strahlenschutzbetone

Stoffgruppe (verfügbare Korngrößen)	Chem. Bezeichnung	Kornrohddichte [kg/dm ³]	Eisengehalt [M.-%]	Kristallwasser [M.-%]	Borgehalt [M.-%]	Chemische Elemente (Hauptbestandteile)	Richtpreis (Normale Gesteinskörnung = 1)
Normale Gesteinskörnungen:							
- Kiessand	CaCO ₃	2,6 ... 2,7	-	-	-	Si, Al, Ca, K, Na, Mg, C, O	1
- Kalkstein		2,6 ... 2,8	-	-	-	Ca, C, O	1 ... 3
- Granit		2,6 ... 2,8	-	-	-	Si, Al, K, Na, O	1 ... 3
- Basalt		2,9 ... 3,1	< 10	-	-	Si, Al, Fe, Mg, O	1 ... 3
Natürliche schwere Gesteinskörnungen:							
- Baryt (Schwerspat)	BaSO ₄ (≥ 85 M.-%)	4,0 ... 4,3	-	-	-	Ba, S, O	10 ... 15
- Ilmenit (Titaneisenstein)	FeTiO ₃	4,6 ... 4,7	35 ... 40	-	-	Fe, Ti, O	10 ... 15
- Magnetit (Magneisenstein)	Fe ₃ O ₄	4,6 ... 4,8	60 ... 70	-	-	Fe, O	10 ... 25
- Hämatit (Roteisenstein)	Fe ₂ O ₃	4,7 ... 4,9	60 ... 70	-	-	Fe, O	10 ... 25
Künstliche schwere Gesteinskörnungen:							
- Schwermetallschlacken ¹⁾		3,5 ... 3,8	< 25	-	-	Si, Ca, Fe, O	5 ... 10
- Ferrosilicium		5,8 ... 6,2	80 ... 85	-	-	Fe, Si	20 ... 35
- Ferrophosphor		6,0 ... 6,2	65 ... 70	-	-	Fe, P	30 ... 40
- Stahlgranalien (≤ 8 mm)	Fe	6,8 ... 7,5	90 ... 95	-	-	Fe	30 ... 45
- Stahlsand (0,2 ... 3 mm)	Fe	7,5 ... 7,6	rd. 95	-	-	Fe	50 ... 60
Gesteinskörnungen mit erhöhtem Kristallwassergehalt:							
- Limonit (4 ... 16 mm)	Fe ₂ O ₃ · n H ₂ O	3,6 ... 3,8	50 ... 55	10 ... 12	-	Fe, O, H	15 ... 20
- Serpentin	Mg ₃ [(OH) ₆ Si ₄ O ₁₁] · H ₂ O	2,5 ... 2,6	-	11 ... 13	-	Si, Mg, O, H	10 ... 20
Borhaltige Zusatzstoffe:							
- Borcalcit	(B ₂ O ₃ + CaO + H ₂ O)	2,3 ... 2,4	-	16 ... 20	rd. 13	B, Ca, O, H	40 ... 65
- Colemanit	(2CaO · 3B ₂ O ₃ · 5H ₂ O)	2,3 ... 2,4	-	16 ... 20	rd. 13	B, Ca, O, H	40 ... 65
- Borfritte	(B ₂ O ₃ + SiO ₂ + Na ₂ O)	2,4 ... 2,6	-	-	rd. 15	B, Si, Na, O	rd. 200
- Borcarbide	B ₄ C	2,4	-	-	rd. 78	B, C	rd. 3300

¹⁾ Der Schwermetallgehalt kann starken Schwankungen unterliegen.
Lafarge Betonhandbuch, S. E3

Um eine hohe Rohdichte zu erzielen, ist eine hohe Packungs-dichte der Gesteinskörnungen notwendig. Um diese zu erreichen, sollte die Kornzusammensetzung möglichst im Sieblinienbereich A/B liegen. Kornzusammensetzungen mit geringem Mehlkornanteil sind zu empfehlen.

Betonzusatzstoffe und -zusatzmittel

- // **Betonzusatzstoffe wie Flugaschen dürfen verwendet werden**
- // **Betonzusatzmittel – Bertonverflüssiger, Fließmittel und Verzögerer – werden eingesetzt**

Reaktionen zwischen schweren Gesteinskörnungen und Betonzusatzmitteln sind nicht auszuschließen. Deshalb sind erweiterte Erstprüfungen (Erstarren und Erhärten) erforderlich.

Anwendungsbeispiele aus der Praxis

Die Betonwaren- und Fertigteilindustrie und mittlerweile auch die Transportbetonindustrie führt in ihrem Produktsortiment eine Vielzahl von Sonderprodukten, bei denen auch Schwerbetone eine Rolle spielen. Das Produktionsvolumen ist eher gering, und die Anforderungen an Herstellung, Logistik und Qualitätssicherung sind hoch. Man bedient hier eher „Nischen“, jedoch hat der Einsatz von Schwerbeton als Strahlenschutzbeton im Bereich der Medizin und Werkstoffprüfung, beim Zoll, in der Forschung und in Kernkraftwerken zugenommen. (Tabelle 2, S. 26)

Im Folgenden soll anhand eines Praxisbeispiels aufgezeigt werden, welche Herausforderungen die Herstellung eines Schwerbetons mit einer Trockenrohddichte von > 4,5 kg/dm³ unter den Bedingungen eines Transportbetons mit sich bringt. Eine solche Aufgabenstellung hat es in Deutschland noch nicht oft gegeben. Für den Bau des Partikeltherapiezentrum in Marburg wurden 2007 beispielsweise ca. 280 m³ eines entsprechenden Betons, den man als „Eisenkiesbeton“ bezeichnete, erfolgreich hergestellt. Dieser dient als Strahlenschutz und schirmt die Umwelt gegen Neutronen-, Gamma- und Röntgenstrahlung ab. >>

Tabelle 2: Beispiele für Schwerbetonrezepturen (Praxisbeispiele)

Anwendung		Krankenhaus (Strahlentherapie)	Krankenhaus (Strahlentherapie)	Ballastbeton
Betonfestigkeitsklasse		C 20/25	C 30/37	C 20/25
geforderte Trockenrohdichte	kg/m ³	≥ 3 200	≥ 3 300	≥ 4 200
Zementart und -festigkeitsklasse		CEM I 32,5 R	CEM III/B 32,5 N-NW	CEM III/B 32,5 N-NW
Zementgehalt	kg/m ³	280	370	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		C2, F2	C 2/C 3, F 2/F 3	C 2/C 3, F 2/F 3
Betondruckfestigkeit nach 28 Tagen	N/mm ²	39	44	40

BDZ Zement-Merkblatt Betontechnik B10 1.2002, S. 3

>>

In unserem Beispiel geht es ebenfalls um eine Anwendung als Strahlenschutzbeton, und zwar um eine Vertikalschleuse für Brennelemente des Forschungsinstituts in Jülich. Für diese musste zunächst eine Stahlkonstruktion gebaut werden, die anschließend mit 1,6 m³ des Spezialbetons auszubetonieren war. Diese Aufgaben wurden von der Firma Stühlen aus Niederzier-Krauthausen übernommen.

Für die Herstellung und Lieferung des Schwerbetons wurde die Firma Fertigbeton Rheinland GmbH & Co. KG (FBR) aus Düren beauftragt, die auf eine große Erfahrung mit Sonderprodukten verweisen kann. Die Auswahl der geeigneten Ausgangsstoffe sowie die Entwicklung und Beprobung der Rezeptur erfolgte durch die Abteilung Qualitätssicherung der FBR. Um die sehr hohe Trockenrohdichte zu erreichen, verwendete man Magnetit, eine natürliche schwere Gesteinskörnung mit einer Kornrohdichte von 4,75 kg/dm³, einem Eisengehalt von 60 bis 70 % und einer Korngröße von 0/20 mm sowie Stahlgranalien 0/8 mm mit einem Eisengehalt von 90 bis 95 %. Eine kleine Menge von 0/2 mm Natursand diente zur Verbesserung der Geschmeidigkeit und als Stabilisator.

Auf Grund der Geometrie der Stahlform (kleine Einfüllöffnung für den Beton) musste eine weiche Betonkonsistenz, oberer F 3-Bereich, eingestellt werden. Dies konnte mit der Kombination eines Betonverflüssigers und eines Fließmittels gut eingestellt werden.

Als Zement kam ein CEM III/A 32,5 R-LH/NA aus dem Lafarge Werk Sötenich zum Einsatz. Die Eckdaten der Rezeptur sind in folgender Tabelle zusammen gefasst:

Festigkeitsklasse	C 20/25
Betontrockenrohdichte	4,5 kg/dm ³
Konsistenz	F 3 oberer Bereich
Festigkeitsentwicklung	L
Eigenschaften	XC 3
w/z-Wert	0,54
Frischbetoneigenschaften:	
Konsistenz nach FM-Zugabe	510 mm
Frischbetonrohdichte	5,16 kg/dm ³
Festbetoneigenschaften:	
Festbetonrohdichte	5,05 kg/dm ³
Festigkeit:	
Druckfestigkeit nach 56 d	43 N/mm ²

Durch umfangreiche, extrem aufwendige Laborversuche gelang es, die Frischbetoneigenschaften so einzustellen, dass trotz der sehr hohen Rohdichte des Frischbetons ein problemloses Ausbetonieren und Verdichten mit Innenrüttlern möglich war. Dadurch konnten die Forderungen des Auftraggebers zielsicher erreicht und bei den Frisch- und Trockenrohdichten sogar deutlich übertroffen werden. ▀