

Schwerbeton

Autor(en): **Meyer, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **56-57 (1988-1989)**

Heft 23

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153738>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

CEMENTBULLETIN

NOVEMBER 1989

JAHRGANG 57

NUMMER 23

Schwerbeton

Bautechnischer Beitrag zum Strahlenschutz. Fast ein spielerischer Umgang mit der Betontechnologie. Ein Fallbeispiel.

Schwerbeton unterscheidet sich von Normalbeton durch seine **höhere Rohdichte**. Hauptsächlichstes Anwendungsgebiet ist der Strahlenschutz, wie er heute nicht nur in Kernkraftwerken, sondern auch in Betrieben mit kleineren Geräten erforderlich ist. Deshalb gibt es ab und zu Baustellen mit Teilen in Schwerbeton, die für die Planung und Ausführung anfänglich ungewohnt sind. Sie verlangen von den Beteiligten ein betontechnologisches Konzept, das vom üblichen Mass abweicht. Zur Betonherstellung verwendet man Zuschlag mit einer höheren Kornrohichte und wird sich deshalb beim Betonierablauf überlegen, wo überall diese Änderung einen Einfluss hat. Schwerbeton in kleineren Mengen ist wesentlich teurer als Normalbeton. Angesichts der Kosten für Zuschlag und Mehraufwand liegt der Einheitspreis bei Fr. 1000.– je m³ und höher – ein Umstand, der bereits ab Beginn der Planung berücksichtigt wird.

Die Schutzwirkung nachzuweisen ist eine Spezialaufgabe. Benötigt werden dazu die Daten der Gerätehersteller, die Eigenschaften von Baumaterial und Konstruktion sowie die Anforderungen des Strahlenschutzes. Die Ergebnisse dieser Überlegungen müssen über den **Projektleiter** in die Ausführung einfließen. Beton eignet sich als Baumaterial, weil eine Betonkonstruktion gleichzeitig die raumabschliessende, tragende und abschirmende Funktion übernehmen kann. Ein Projekt mit Normalbeton würde allerdings zu grosse Abmessungen aufweisen. Deshalb verwendet man Schwerbeton oder bei Decken allenfalls eine Kombination (frisch in frisch einge-

2 bracht). Für die Schutzwirkung ist ausser der Dichte auch die chemische Zusammensetzung massgebend. Schwerzuschläge stammen aus natürlichen Vorkommen oder werden künstlich hergestellt. Auf dem Markt sind mehrere Produkte erhältlich. Angaben über Anwendungszweck und Schutzwirkung finden sich im Merkblatt «Strahlenschutzbetone» [1] bzw. bei den Herstellern. Dem Betontechnologen werden dann vorgegeben: Art des Zuschlages, erforderliche Rohdichte des Festbetons, Abmessungen der Bauteile.

Wichtigste Ziele für die gewünschte Schutzwirkung sind: Beton mit durchwegs gleichmässiger Rohdichte und Rissefreiheit. Allfällige Unregelmässigkeiten infolge Entmischung oder schlechter Verdichtung wirken sich viel gravierender aus, als wenn die chemisch wirksamen Elemente unterschiedlich im Beton verteilt sind. Wie beim Normalbeton soll deshalb die Bewehrung sorgfältig konstruiert und der Betonierablauf bereits bei der Planherstellung berücksichtigt werden (Arbeitsfugen auf die Betonierleistung abstimmen und möglichst nicht im Nutzstrahlbereich anordnen, sondern in Vorsprüngen und Absätzen). Wegen der massiven Konstruktionen hat die Festigkeit im allgemeinen eine untergeordnete Bedeutung. Mindestwerte von 25 N/mm^2 (entsprechend B 35/25) wird man mit Schwerzuschlag problemlos erreichen. Besondere Eigenschaften können wie beim Normalbeton gefordert werden, sofern sie nicht zu Lasten der Strahlenschutzwirkung gehen und die Vorversuche gemäss Normvorschrift (SIA 162) gemacht werden.

Für die **Regelung des Betonierablaufs** empfiehlt sich folgendes Vorgehen: Zum Zeitpunkt der Devisierung erstellt man den Mischungsentwurf. Man stützt sich dabei auf Erfahrungswerte anderer Baustellen (z.B. [2]) oder auf Richtrezepturen der Hersteller. Daraus lässt sich der Materialbedarf genügend genau abschätzen. Nach Abschluss des Werkvertrags sind Unternehmer und Betonlieferant bekannt. Sobald der Schwerzuschlag angeliefert ist, werden Vorversuche gemacht, um das Betonrezept aufgrund der vorhandenen Komponenten definitiv festzulegen. Für die Betonierarbeiten selbst werden Frischbetonkontrollen angeordnet. Bei der ersten Etappe dienen sie der Feineinstellung des Rezepts, bei allen weiteren Etappen zur Steuerung der Herstellung.

Bei den **Betonkomponenten** ist zu beachten: Der Gehalt an Bindemittel ist auf das Grösstkorn und auf den Mehlkornanteil auszurichten, damit eine gute Verarbeitbarkeit erreicht wird. Normaler PC eignet sich für alle Zuschläge. Bei massigen Bauteilen ist man wegen der Gefahr von Temperaturrissen bestrebt, die Hydratationswärme zu reduzieren und kann einen Teil der Zementmenge durch Zusatzstoffe ersetzen.

3 Die Zuschläge sind in Komponenten oder fertig vorgemischt erhältlich. Ihre Dosierung richtet sich nach der erforderlichen Rohdichte. Liegt sie nicht an der oberen Grenze des Erreichbaren, kann immer noch ein Anteil Normalzuschlag mitgemischt werden. Die günstige Kornabstufung liegt in der Nähe der Fullerparabel. Wegen Austrocknung und Abweichungen bei der Herstellung wird die Frischbetonroh-dichte um etwa $0,15 \text{ kg/dm}^3$ höher angesetzt als die erforderliche Festbetonroh-dichte, vgl. [1].

Wegen der Schwindrissgefahr soll die Anmachwassermenge möglichst tief gehalten werden. Einen Weg dazu bieten die Zusatzmittel (z. B. BV oder HBV). Setzt man sie ein, so sollte dieses Ziel unbedingt anvisiert werden. Ihre Dosierung wird in % des Bindemittelgehalts angegeben und soll sich nach der erwünschten Wirkung richten. Messungen der Konsistenz (z. B. das Verdichtungs-mass) dienen zwar als wertvolle Anhaltspunkte innerhalb derselben Baustelle, können aber nicht direkt mit jenen des Normalbetons verglichen werden. Aufschluss ergeben Vorversuch und Frischbetonkontrolle. Das Porenvolumen liegt in der gleichen Größenordnung wie bei Normalbeton (im Mittel 1,5% Volumenanteil).

Schwerbeton zum Zweck des Strahlenschutzes verlangt auf der **Baustelle** eine dichte, stabile Schalung. Sie ist in allen Teilen auf den erhöhten Schalungsdruck zu bemessen. Besondere Abspriessungen braucht es bei Etappen, wo die Schalung noch nicht an bestehendem Beton verankert werden kann, sowie bei den meist hohen Arbeitsfugen. Damit Binder und Abstandhalter im Beton keine Hohlräume hinterlassen, kann man Spannstahl mit Kontermuttern verwenden, die im Beton verbleiben. Vorstehende Enden werden an der Oberfläche abgeschnitten. Bewehrungsführung und Ausbildung der Distanzhalter sollen rechtzeitig zwischen Konstrukteur und Bau-führer besprochen werden. Dies erleichtert das Verlegen und ermöglicht, dass der Beton überall gut eingebracht werden kann.

Wird der Beton auf der Baustelle gemischt, so sind die Zuschläge sauber zu lagern (Sohle aus Magerbeton vorlegen). Bezieht man ihn aus einem **Betonwerk**, so sind Termine und Qualität rechtzeitig abzusprechen. Schwer-Zuschlag hat eine Lieferfrist von etwa zwei bis drei Wochen. Er kann per Schiff und Bahn oder per Container mit Sattelschlepper angeliefert werden. Das Betonwerk muss dafür während längerer Zeit eigens ein bis zwei Kiessilo reservieren. Weil es sich um teures Material handelt, sind die Kubaturen möglichst genau auszuziehen. Bei Mehrfachlieferungen kann man die Bestellung aufgrund des ersten Ergebnisses noch anpassen.

4 Die **Betonierleistung** wird üblicherweise als Volumenstrom (m^3/h) berechnet. Weil die Kapazität der Geräte als Nenntaugfähigkeit angegeben ist, sinkt diese Leistung entsprechend der erhöhten Rohdichte. Dies betrifft namentlich: Mischer, Lastwagen, Umschlaggerät, Kran, Kübel und Vibratoren. Eine Betonieretappe dauert also etwas länger, wenn sie nicht zum vornherein kleiner gewählt wird. Die Förderung mit Pumpen ist nicht ausgeschlossen und kann mit einiger Erfahrung vorgesehen werden (Schwer-Zuschlag ist gebrochen. Achtung auf Erwärmung der Rohre infolge Reibung). Fahr-mischer sind für diese Arbeit weniger geeignet.

Die Mischzeit ergibt sich aus den Vorversuchen. Für eine genügende Durchmischung soll sie mindestens eine Minute betragen. Unbekannt ist die Eigenfeuchte des Zuschlags. Um den vorgegebenen Gehalt an Anmachwasser im Griff zu behalten, kann man das Zugabewasser wie üblich je nach Strombedarf des Mixers dosieren. Das Ergebnis dieser Massnahme zeigt sich in der Frischbetonkontrolle, im Aussehen der Mischung und in der Verarbeitbarkeit auf der Baustelle. Das Zugabewasser bietet sich hier als Steuergrösse an, um Schwankungen der Betonierleistung und der Tagestemperatur auszugleichen. Voraussetzung ist aber eine eingespielte Kommunikation zwischen Baustelle, Labor und Betonwerk. Ist die Konsistenz zu weich und/oder der Mörtelanteil zu gross, besteht Entmischungsfahr, besonders wenn grosse Unterschiede bei den Kornroh-dichten der einzelnen Zuschläge gewählt wurden. Diese Gefahr muss aber bereits beim Mischungsentwurf im Auge behalten werden, weil es im Moment der Betonherstellung für Korrekturen zu spät ist.

Für das Einbringen und Verdichten von Schwerbeton gelten die üblichen Regeln der Betontechnologie. Die Arbeiten sind mit einer sorgfältigen **Nachbehandlung** abzuschliessen, was Verhindern des Austrocknens durch Feuchthalten während mindestens vier Tagen bedeutet. Mögliche Massnahmen sind: Verlängerung der Ausschallfrist, Abdecken mit Bauplastik, Aufbringen eines Curing compound. Weil es sich meist um Massenbeton mit grosser Wärmeentwicklung handelt, müssen grosse Temperaturdifferenzen zwischen Betonoberfläche und Luft vermieden werden, was zweckmässigerweise mit Isolationsmatten erreicht wird.

Arbeiten mit Schwerbeton zeigt, worauf es bei der Betontechnologie ankommt. Weil man von den üblichen Kriterien abweicht, gewinnt man eine Erfahrung, die auch für den täglichen Umgang mit dem Baustoff Beton wertvoll ist. Nebenstehendes Beispiel enthält Angaben eines Einzelfalls und gibt Anhaltspunkte zur Lösung ähnlicher Probleme.

5 Fallbeispiel

Beim Neubau der Klinik für Radio-Onkologie des Kantonsspitals Luzern sollen zwei Linearbeschleuniger eingesetzt werden. Linearbeschleuniger sind Hochvolt-Therapiegeräte für die Bestrahlung von Tumorpatienten. Zurzeit ist der Strahlenschutz bunker in Arbeit, der teilweise in Schwerbeton ausgeführt wird (Abb.1). Als Zuschlag wurde *Baryt* (Kornrohddichte: min. $4,2 \text{ kg/dm}^3$) gewählt. Er war in den Komponenten 0/4 und 0/16 mm erhältlich, wurde aber in der Körnung 0/16 mm bestellt, um nur ein einziges Silo zu beanspruchen. Die Trockenrohddichte des Festbetons soll mindestens $3,2 \text{ kg/dm}^3$ betragen. Vorgesehen war eine Zementdosierung von 325 kg/m^3 . Zur Reduktion der Hydratationswärme wurden 50 kg durch Flugasche ersetzt (275 kg PC + 50 kg HE). Die Verarbeitbarkeit wurde mit einem Hochleistungsverflüssiger erzielt (0,8% HBV, bezogen auf das Bindemittel). Dadurch konnte der W/Z-Wert von etwa 0,60 auf 0,50 gesenkt werden.

Das *Betonrezept* wurde in drei Stufen modifiziert und führte bei der nachfolgenden Überwachung zu sehr konstanten Ergebnissen (vgl. Tab. 1). Frischbetonkontrollen wurden mit einem mobilen Labor durchgeführt (Abb. 2). Ihre Anzahl richtete sich je nach ihrem Ergebnis, umfasste aber mindestens drei Probenahmen jeder Etappe.

Die *Betonarbeiten* konnten dank der Beweglichkeit des Betonwerks während der normalen Arbeitszeit ausgeführt werden. Sehr deutlich wurde die Eigenfeuchte des Zuschlags ausgeglichen. Die Menge an Zugabewasser schwankte mehr als 10 l/m^3 . War die erforderliche Anmachwassermenge erreicht, so konnte die gewünschte Konsistenz anhand des Strombedarfs noch mit zusätzlichen $1\text{--}2 \text{ l/m}^3$ gesteuert werden. Der Mischer wurde zu $1,5 \text{ m}^3$ je Charge ausgelastet, die Fahrzeuge zu 3 bzw. $4,5 \text{ m}^3$ je Fuhre. Auf der Baustelle war die Förderleistung des Krans massgebend. Die Tagesetappen betragen $60\text{--}100 \text{ m}^3$. Zwischen Baustelle und Betonwerk bestand Telefon- und Funkverbindung, um auf Unvorhergesehenes reagieren zu können. Als Nachbehandlung beliess man die Wände während mindestens vier Tagen in der feucht gehaltenen Schalung. Die Decken wurden jeweils mit Bauplastik abgedeckt und während sieben Tagen konstant unter Wasser gehalten (Abb. 13 und 14). Zurzeit fehlt noch die strahlenschutztechnische Überprüfung. Aufgrund der vorliegenden betontechnologischen Daten sollten auch jene Anforderungen erfüllt werden können.

Bruno Meyer
dipl. Ing. ETH

6

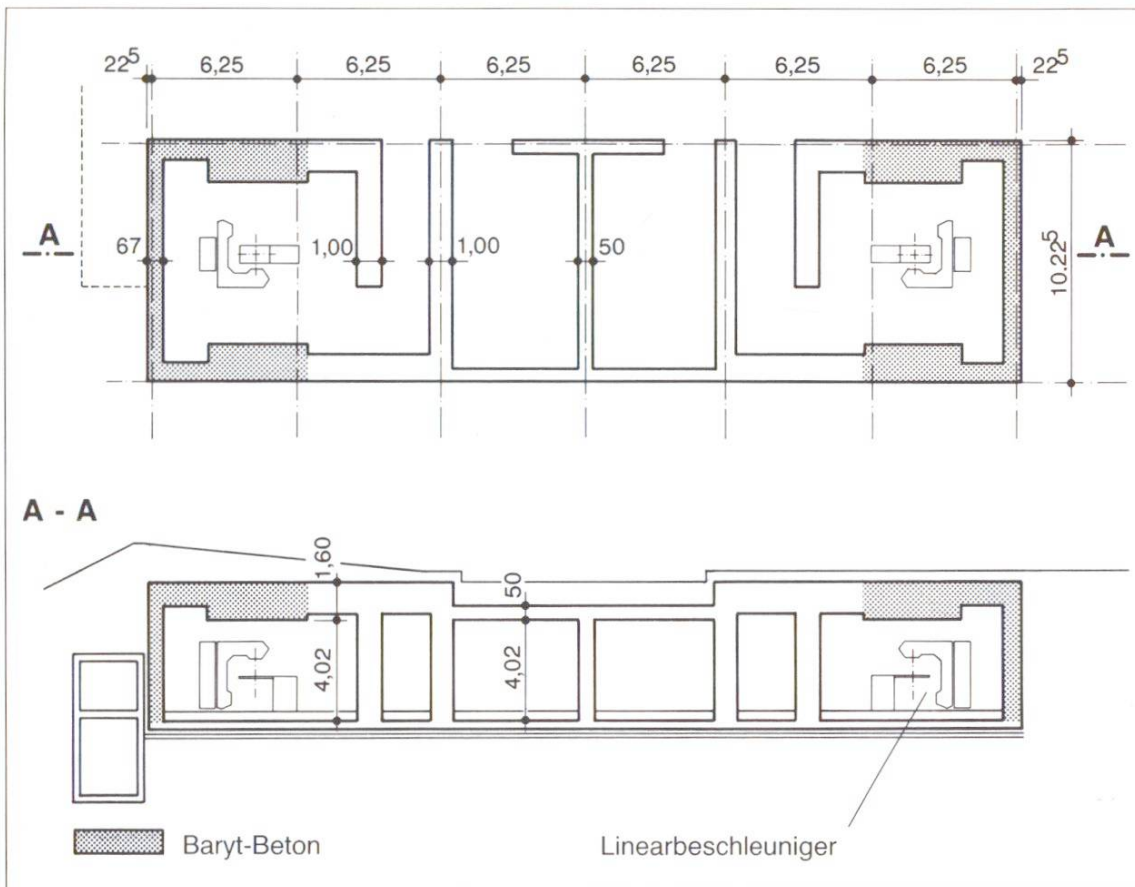


Abb. 1 Bauteil Strahlenschutz bunker für 2 Linearbeschleuniger. Grundriss und Schnitt.

Abb. 2 Frischbetonkontrolle. Erhoben werden Rohdichte, Wassergehalt, Luftporengehalt, Verdichtungsmass und Frischbetontemperatur. Gleichzeitig: Herstellen von Probewürfeln für die Festigkeit.





Abb. 3 Arbeitsfuge. Streckmetall wieder entfernt, gereinigt.



Abb. 4 Wandschalung, etwa 4 m hoch.

Abb. 5 Wandetappe, zum Betonieren vorbereitet. Gereinigt und angefeuchtet.



Abb. 6 Beginn der Betonarbeit. Sichtbar sind die kräftigen Distanzhalter der Bewehrung.





Abb. 7 Wand-anschluss innen.

Abb. 7 und 8: Saubere Wandanschlüsse infolge dichter Schalung (nur sehr geringer Verlust an Zementleim). Die Schalungsbinder verbleiben im Schwerbeton und werden abgeschnitten. Abb. 8 unten rechts: Wandstück in Normalbeton mit üblichem Bindloch.

Abb. 9–11: Baryt-Beton zeigt eine scheinbar steife Konsistenz. Nach Eintauchen des Vibrators wird er sofort plastisch. Das Baryt-Korn hat eine rötliche Farbe. Der Beton selbst erscheint grau, weil seine Farbe durch die Zementhaut bestimmt ist.

Konsistenz, Kornform und Farbe geben dem Frischbeton ein typisches Aussehen. Wirft der Polier auf der Baustelle einen Blick darauf, so erkennt er sofort, ob es sich allenfalls um eine Fehllieferung handelt. Er darf sie unter keinen Umständen einbringen.



Abb. 8 Wand-anschluss aussen.



Abb. 9 Betonieren der Decke.



Abb. 10 Schichtweises Einbringen in Höhen von etwa 25 cm.



Abb. 11 Fortsetzung bei Deckenabsatz.



Abb. 12 Beendigung der Betonierarbeit an der Decke.



Abb. 13 Abdecken mit Bauplastik.



Abb. 14 Feuchthalten durch fortwährendes Wässern während 7 Tagen.

Tabelle 1 Betonrezept und Ergebnisse der Frischbetonkontrollen

	REZEPTE: in 3 Stufen modifiziert			ERGEBNISSE (29.8. – 6.10.89)
	Richtrezeptur	nach Vorversuch	nach Beginn der 1. Etappe	
Zement	330	275	275	–
Füller (Flugasche)	–	50	50	–
Zugabewasser	106	112	100 bzw. 107	166 (6,5)
Eigenfeuchte	2707	2735	2647 bzw. 2640	
Baryt 0/16				–
Sand 0/4		52	–	–
Kies 4/8	175	53	126	–
Kies 8/16		53	126	–
Zusatzmittel (HBV: 0,8%)	–	3	3	–
Rohdichte	<u>3318</u>	<u>3330</u>	<u>3327</u>	<u>3345</u> 1,62
Luftporengehalt (Frischbeton) %	?	?	1,5	(0,10)
W/Z-Wert	–			0,51
Verdichtungsmass	–			1,26
Temperatur: Frischbeton	°C			20–26
Luft	°C			8–20
Differenz	K			9,1
				(2,3)

Ergebnisse: Mittelwert aus 22 Proben der Frischbetonkontrolle (in Klammer: Standardabweichung). Baryt hatte demzufolge eine Eigenfeuchte von 2,2–2,6%.

Festigkeit: Messung an Probewürfeln 15x15x15 cm. Vorversuch: 24,3 N/mm² nach 12 Tagen. Mit Material der Frischbetonkontrollen: Mittelwert nach 7 Tagen: 35,7 N/mm² [14 Werte, s = 2,4 N/mm²]. Mittelwert nach 14 Tagen: 38,8 N/mm² [14 Werte, s = 2,0 N/mm²]. Mittelwert nach 28 Tagen: f_{cwm} = 43,0 N/mm² [14 Werte, s = 2,2 N/mm²].

Am Bau Beteiligte:

<i>Bauherr:</i>	Staat Luzern (Baudepartement)
<i>Gesamtleitung:</i>	Kantonales Hochbauamt, Luzern
<i>Architekt:</i>	Markus Boyer, dipl. Arch. ETH/SIA, Luzern
<i>Bauingenieur:</i>	Schubiger AG, Luzern
<i>Bauunternehmung:</i>	Arge STKA (Kopp AG und Vestag AG, Luzern)
<i>Betonlieferant:</i>	Seekag, Luzern
<i>Schwerzuschlag:</i>	Wecker + Frey AG, Zürich
<i>Zusatzmittel:</i>	Sika AG, Luzern

Literatur

- [1] Deutscher Beton-Verein (1978): «Strahlenschutzbetone». Merkblatt für das Entwerfen, Herstellen und Prüfen von Betonen des bautechnischen Strahlenschutzes. Sonderdruck aus der Zeitschrift beton, Heft 10, S. 368–371, und Heft 11, S. 417–420
- [2] *Eltawil, M.* (1989): «Baryt-Schwerbeton ab Fertigbetonwerk St. Gallen». misch mit, Heft 1, S. 14–16. Zürich: «Holderbank» Kies + Beton AG

Abbildungen: TFB Wildegg