

# Schwerbetone

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 12

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153821>

## **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.

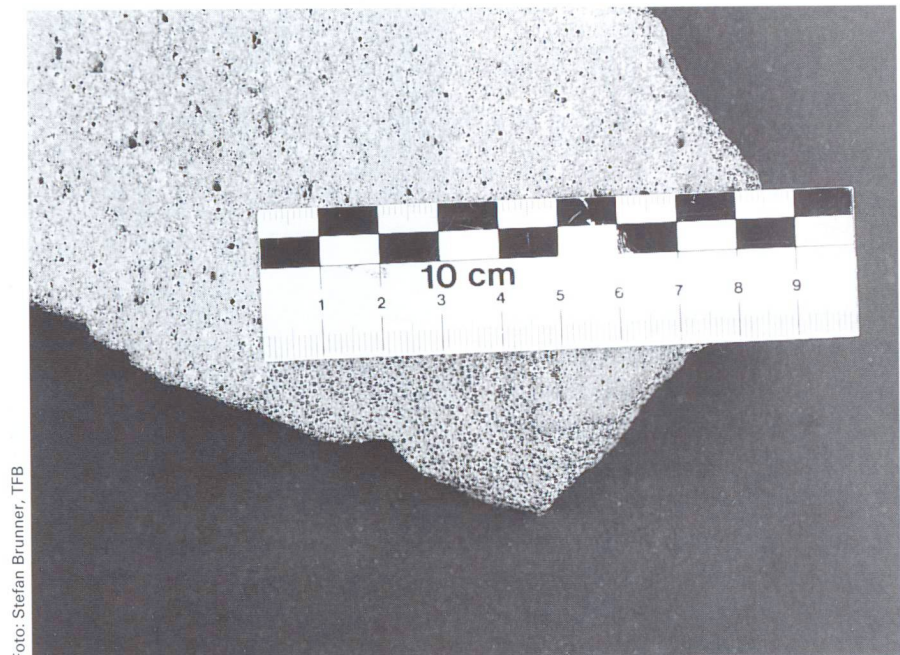
## **Haftungsausschluss**

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.

# Schwerbetone

Für die Herstellung von Schwerbetonen werden spezielle Zuschlagstoffe mit hohen Dichten eingesetzt.

Schwerbetone sind Betone mit Rohdichten  $\rho_o > 2800 \text{ kg/m}^3$ . Sie werden vor allem als Strahlenschutzbetone, das heisst zur Abschirmung von Gamma- und Röntgenstrahlung, eingesetzt. Weitere Anwendungen sind besonders schwere Fundamente, Gegengewichte für Bagger und Krane, Betone für Tresore.



Schwerbeton der Rohdichte  $4760 \text{ kg/m}^3$  mit Eisensand (Kornfraktionen  $0,1\text{--}0,2 \text{ mm}$ ,  $0,3\text{--}0,6 \text{ mm}$  und  $0,5\text{--}1,0 \text{ mm}$ ) als Schwerzuschlag.

Schwerbetone lassen sich nicht mit den üblicherweise verwendeten Zuschlagstoffen herstellen, da deren Dichten um  $2,65 \text{ kg/dm}^3$  liegen; sie müssen ganz oder teilweise durch Schwerzuschlagstoffe ersetzt werden.

## Schwerzuschlagstoffe

Mit Schwerzuschlagstoffen werden Betone mit Rohdichten von  $2800$  bis ca.  $5900 \text{ kg/m}^3$  produziert. Sie können in folgende Gruppen unterteilt werden:

- natürlich gekörnte Zuschlagstoffe (Baryt, Magnetit)
- mechanisch zerkleinerte natürliche Zuschlagstoffe (Baryt, Magnetit, Hämatit)
- künstliche Zuschlagstoffe (Stahlpartikel, Sintererze, Ferrosilizium)

Die wichtigsten Schwerzuschlagstoffe sowie die damit erreichbaren Betonrohddichten und ihre Wirkung als Abschirmungsmaterial sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Blei und bleihaltige Gesteine eignen sich nicht als Schwerzuschlagstoffe, da sie mit Zement reagieren und das Abbinden beeinträchtigen können.

Zuschlagstoffe	Dichten [ $\text{kg/dm}^3$ ]	Abschirmung gegen
Schwerspat, Baryt ( $\text{BaSO}_4$ ) (kristallines und amorphes Material)	4,0–4,3	Röntgenstrahlung, Gammastrahlung
Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	4,65–4,8	Gammastrahlung
Roteisenstein, Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sehr hart	4,7–4,9	Gammastrahlung
Ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), Titaneisenerz	4,55–4,65	Gammastrahlung
Ferrophosphor Nebenprodukt von Phosphorgewinnung	5,8–6,2	Gammastrahlung
Ferrosilizium Nebenprodukt bei Herstellung von Schmelzkorund, guter Hartstoff für abriebfeste Unterlagsböden und Betone	6,0–6,2	Gammastrahlung
Eisengranalien	6,8–7,5	Gammastrahlung
Stahlsand Korngrösse $0,2\text{--}3 \text{ mm}$	7,5	Gammastrahlen

Tab. 1 Dichten von Schwerzuschlagstoffen und Abschirmungswirkung der damit hergestellten Betone [1, 2].

## Betonrezepturen

Gemische aus Schwerzuschlagstoffen, Kies und Natursand geben Schwerbetone mit Rohdichten bis etwa  $3800 \text{ kg/m}^3$ . Rohdichten bis gegen  $5900 \text{ kg/m}^3$  können nur durch die Zugabe von Eisen oder Stahl erreicht werden. Eisenhaltige Zuschlagstoffe an der Betonoberfläche korrodieren zwar bis in einige Millimeter Tiefe, doch selbst im Freien wurden keine Schäden durch Rostabsprengungen beobachtet [1].

Bei der Konzeption von Betonrezepturen wird häufig auf Erfahrungswerte aus anderen Bauprojekten oder Richtrezepturen der Lieferanten von Schwerzuschlagstoffen zurückgegriffen. Vier Rezepturen für Schwerbetone mit Rohdichten zwischen  $3500$  und  $4200 \text{ kg/m}^3$  sind in *Tabelle 2* zusammengefasst. Auf zusätz-

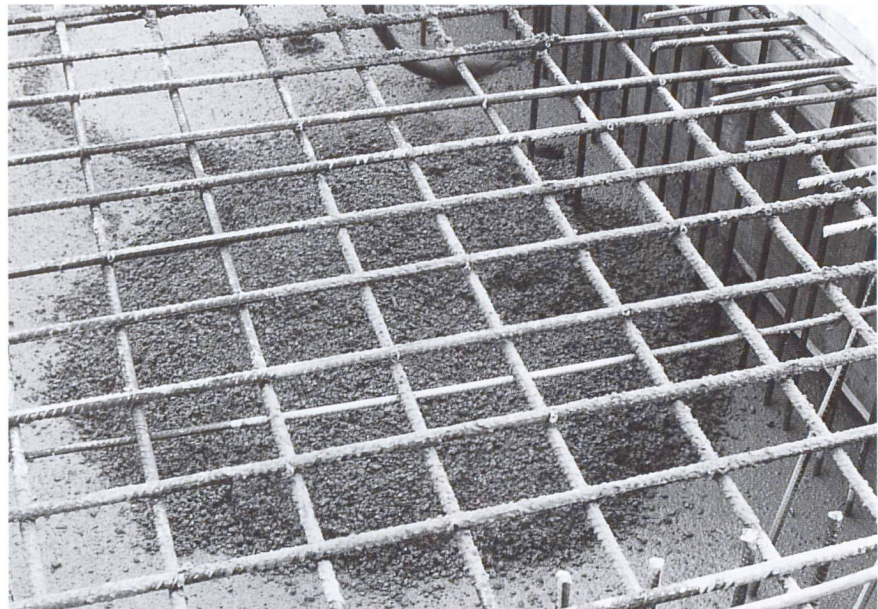


Foto: TFB-Archiv

Einbau von Strahlenschutz-Frischbeton mit Baryt als Schwerzuschlag.

liche Rezepturen wird im weiteren Verlauf des Artikels eingegangen. Der Wasseranspruch natürlicher Schwerzuschlagstoffe unterscheidet sich meist nicht von demjenigen von Normalzuschlägen. Künstliche eisenhaltige Zuschläge weisen sogar einen tieferen Wasseranspruch auf, wenn der Anteil an feinem Korn ( $0-2 \text{ mm}$ ) nicht zu hoch ist. Schwerbetonbauteile sind oft auch massige Bauteile. Dafür können Zemente mit möglichst niedriger Hydratationswärme eingesetzt werden.

Der Gefahr von Schwindrissen wird durch tiefe Anmachwassermengen begegnet, was in der Regel den Einsatz von Zusatzmitteln (Betonverflüssiger oder Hochleistungsbetonverflüssiger) erfordert.

## Herstellen und Einbringen

Für Schwerbetone gelten im allgemeinen die gleichen betontechnologischen Grundprinzipien wie auch für Normalbetone. Abweichungen sind vor allem auf die Dichteunterschiede zurückzuführen.

Stoff	Rein- bzw. Rohdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Masse der Stoffe in kg/m <sup>3</sup> für Betonrohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]			
		3500	3500	> 3800	4200
Zement	3,0	300	300	300	300
Wasser	1,0	170	170	170	170
Kies/Sand	2,6	420	–	–	–
Baryt	3,95	–	1610	–	–
Hämatit	4,85	2680	1490	3470	2860
Eisengranulat	7,5	–	–	–	940

Tab. 2 Richtrezepturen für Schwerbetone [2].



Foto: TFB-Archiv

**Wandstück aus Schwerbeton (hinten) und Normalbeton (Strahlenschutz-bunker für zwei Linearbeschleuniger, Kantonsspital Luzern) [9].**

### Mischen

Schwerbetone werden in üblichen Trog- und Tellermischern hergestellt. Zu beachten ist dabei, dass die Anlagen für Normalbetone mit Frischbetonrohddichten um  $2500 \text{ kg/m}^3$  ausgelegt sind. Dies bedeutet, dass die Einfüllmengen entsprechend reduziert werden müssen. Ein kritischer Faktor ist die Mischzeit, die durch Vorversuche festgelegt werden muss. Zu kurze Mischzeiten bedeuten inhomogene Frischbetone, zu langes Mischen kann den Abrieb der Zuschlagstoffe vergrößern.

### Transportieren und Einbringen

Während des Transports sollten Schwerbetone bewegt werden, damit sie nicht entmischen. Das Einbringen ist mit den üblichen Verfahren möglich, gelegentlich auch durch Pumpen. Der Beton sollte möglichst nahe an der endgültigen Stelle eingebracht werden. Entmischungsgefahr besteht besonders bei Schwerbeton mit Zuschlagstoffen unterschiedlicher Kornrohddichten, selbst bei geringen Fallhöhen. Was bei Normalbeton gilt, gilt für Schwerbeton erst recht: Beton nicht mit dem Vibrator verteilen!

### Verdichten

Gut zusammengesetzter Schwerbeton ist «verdichtungswillig». Allerdings ist der Wirkungsradius der Vibratoren kleiner als in Normalbeton; Geräte mit geeigneten Frequenzen und Flaschendurchmessern können nur durch Vorversuche gefunden werden. Schwerzuschlagstoffe sinken während des Vibrierens schneller

ab als Normalzuschlagstoffe in Beton. Entmischungen lassen sich aber weitgehend vermeiden, wenn der Mörtel im Frischbeton wasserarm und zäh ist. Zudem soll nur möglichst kurz in möglichst geringen Abständen und Eintauchtiefen vibriert werden. Dünne Bauglieder können mit Schalungs- und Oberflächenvibratoren verdichtet werden. Arbeitsfugen sollten möglichst vermieden werden. Wenn sich Unterbrüche nicht vermeiden lassen, sollte spätestens nach 4 bis 8 Std. weiter-

## Radioaktive Strahlung

Radioaktive Strahlung entsteht beim Zerfall der Kerne radioaktiver Atome. Dabei werden neue Atomkerne mit niedrigerer Energie gebildet. Die Energiedifferenz zwischen den beiden Atomkernarten ist in der radioaktiven Strahlung enthalten.

Bei der radioaktiven Strahlung kann es sich um Korpuskular- oder um Wellenstrahlung handeln.

### Korpuskularstrahlung

besteht aus Teilchen, die bei der Atomspaltung freigesetzt werden. Im einzelnen wird unterschieden zwischen

- Alphastrahlung ( $\alpha$ -Strahlung), die aus zweifach positiv geladenen Heliumkernen ( $\text{He}^{2+}$ ),
- Betastrahlung ( $\beta$ -Strahlung), die aus Elektronen und
- Neutronenstrahlung, die aus elektrisch neutralen Teilchen, den Neutronen, besteht.

### Wellenstrahlung

● Gammastrahlung ( $\gamma$ -Strahlung) entsteht, wenn die freiwerdende Energie beim radioaktiven Zerfall in der Form elektromagnetischer Wellen abgegeben wird, die physikalisch mit der Röntgenstrahlung und dem sichtbaren Licht vergleichbar sind.

- Röntgenstrahlung wird im Vakuum künstlich erzeugt, indem Materie mit beschleunigten Elektronen «beschossen» wird. Dadurch werden die Elektronen stark abgebremst. Ein Teil ihrer kinetischen Energie wird in Röntgenstrahlung (Bremsstrahlung) umgewandelt.

$\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung dringt nur wenig in Werkstoffe ein. Entsprechend gering ist auch ihre Wirkung auf die Werkstoffeigenschaften. Bei der Betrachtung des Einflusses von Strahlung auf Beton müssen deshalb nur  $\gamma$ - bzw. Röntgenstrahlung und Neutronenstrahlung berücksichtigt werden.

Die beiden untersten Ballastblöcke des ausschnittsweise abgebildeten Krans bestehen aus Schwerbeton. Hämatit 4–24 mm diente als Zuschlag.

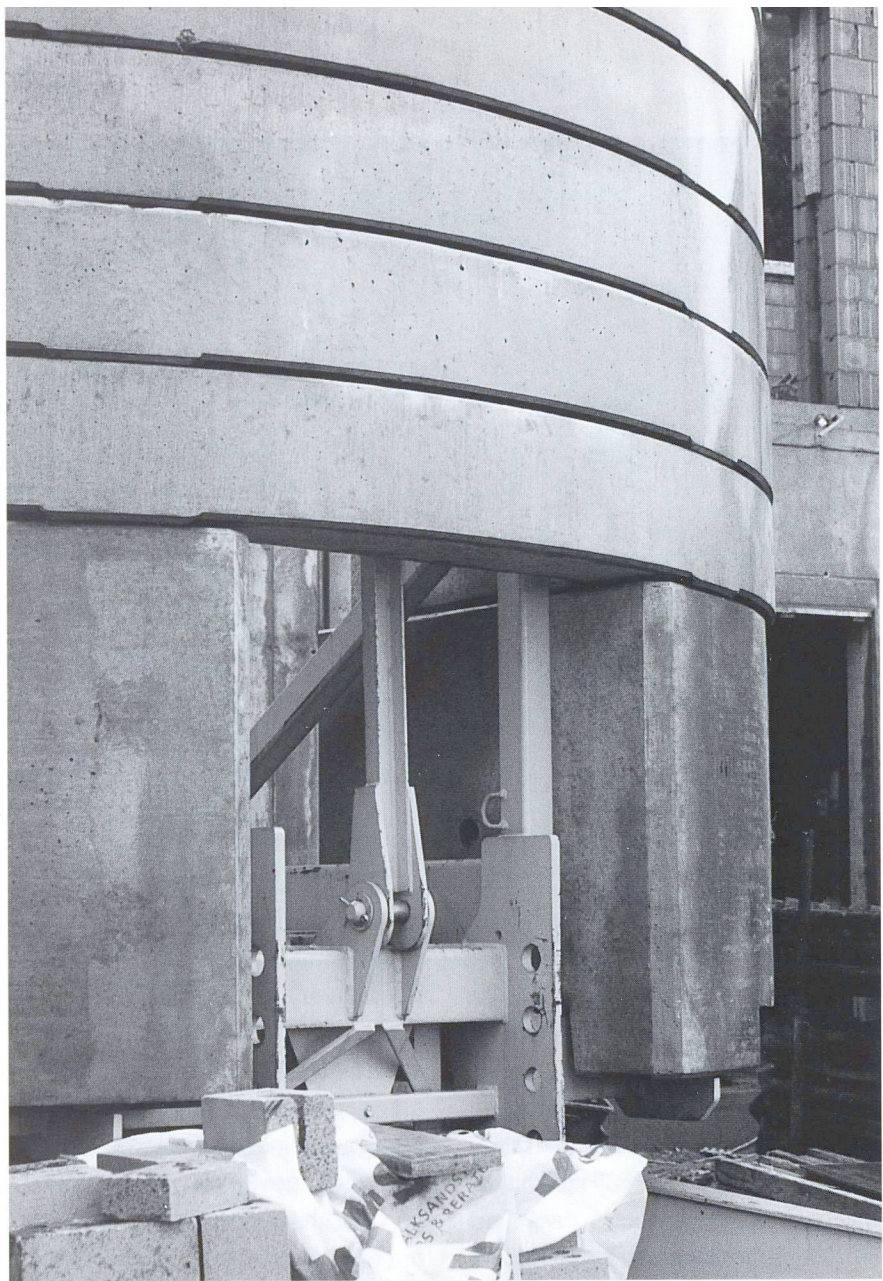


Foto: Kurt Hermann, TFB

betoniert werden. Vorher muss die Zementhaut auf der älteren Betonschicht mittels Druckwasser entfernt werden, bis das Grobkorn freigelegt ist. Anschliessend wird das stehende Wasser durch Druckluft entfernt, denn die Betonoberfläche darf beim Weiterbetonieren nur mattfeucht sein. Beim Planen der Schalung ist die grössere Frischbetonrohndichte unbedingt miteinzubeziehen. Löcher, die nach dem Ziehen von Bindestäben in Hülsen entstehen, lassen sich nur schlecht mit Schwermörtel verschliessen. Deshalb sind Bindestäbe oder Distanzhalter vorzuziehen, die im Beton verbleiben [1].

#### Nachbehandeln

Die Nachbehandlung darf bei Beton nie vernachlässigt werden. Besonders

sorgfältig ist Strahlenschutzbeton zu pflegen, der rissfrei sein soll. Mögliche Verfahren, die einzeln oder kombiniert einzusetzen sind, umfassen

- Feuchthalten,
- verlängerte Ausschallfristen,

- Aufbringen von Curing compounds,
  - Abdecken mit Folien usw.
- Wenn die Nachbehandlung von Strahlenschutzbeton aus Feuchthalten besteht, was sehr wirksam ist, sollte sie mindestens 14 Tage dauern [1].

#### Literatur

- [1] «Merkblatt für das Entwerfen, Herstellen und Prüfen von Betonen des bautechnischen Strahlenschutzes», herausgegeben vom Deutschen Beton-Verein E.V. (Fassung 1978).
- [2] Wandschneider, R., und Pick, R., «Beton, Mauerwerk, Estrich und Putz im bautechnischen Strahlenschutz», Beton-Informationen 1982 [5], 47–50.
- [3] Weigler, H., und Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 64–65, 162 und 420–421.
- [4] Turley, M., «Schutzräume aus Stahlbeton», Beton 37 [12], 491–494 (1987).
- [5] Hilsdorf, H. K., Kropp, J., und Koch, H.-J., «Der Einfluss radioaktiver Strahlung auf die mechanischen Eigenschaften von Beton», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 261, 1–41 (1976).
- [6] Wesche, K., «Baustoffe für tragende Bauteile», Bd. 2, 3. Aufl., Bauverlag GmbH (1993), Seiten 104, 330.
- [7] Erbe, M., und Schulte, F., «Schutz durch Schwerbeton», Beton 40 [10], 434 (1990).
- [8] Herr, R., «Schwerbeton für Klinikum», Beton 45 [3], 197 (1995).
- [9] Meyer, B., «Schwerbeton», Cementbulletin 57 [23], 1–12 (1989).
- [10] «Mit Schwerbeton ummantelte Stahlrohre für Nordsee-Gasleitung», Beton- und Stahlbetonbau 87 [1], 18 (1992).

#### Schwerbeton als Strahlenschutz

Radioaktive Strahlung (siehe Kasten) verändert die Struktur und die Eigenschaften von Werkstoffen. Dies gilt auch für Beton, dessen Strahlungsbeständigkeit im wesentlichen durch die Strahlungsbeständigkeit der Zuschlagstoffe bestimmt wird [3]. Je grösser die Dichte eines Betons ist, desto stärker ist die Schutzwirkung gegenüber Gammastrahlung. Die Abschirmung radioaktiver Strah-

lung führt in Schwerbeton zu einer Temperaturerhöhung, die sich in einer Reduktion der Elastizitätsmoduln sowie der Druck- und noch ausgeprägter der Zugfestigkeit äussern kann. Wesentlich weniger empfindlich sind das Wärmedehnverhalten und die Wärmeleitfähigkeit [4–6]. Bei Luftschutzräumen ist Beton ganz allgemein das beste Baumaterial. Der Einsatz von Schwerbeton beschränkt sich hier – im Gegensatz zu Atomreaktoren – des hohen Preises wegen allerdings auf Ausnahmen.

### Schwerbeton in der Medizin

Schwerbetone dienen in der Medizin dem Strahlenschutz. In Deutschland werden bei jedem Krankenhausbau durchschnittlich  $300 \text{ m}^3$  Strahlenschutzbeton eingesetzt [3]. Ein Beispiel: Der Linearbeschleuniger für die Strahlentherapie in den Städtischen Kliniken in Duisburg arbeitet mit Photonen- und Elektronenstrahlung. Er ist in einem zylindrischen Baukörper untergebracht, dessen Wände 97 bis 173 cm dick sind. Schwerbeton wurde ausschliesslich dort eingesetzt, wo Strahlung auf-treffen kann.

Der Schwerbeton, der nach Vorgaben der Bauherrschaft eine Rohdichte von mindestens  $3200 \text{ kg/m}^3$  aufweisen musste, setzte sich folgendermassen zusammen:

Zuschlag (Baryt, $\rho_o = 4,15 \text{ kg/dm}^3$ ) 46 % Barytsand 0–4 mm 54 % Baryt 4–16 mm	2801 $\text{kg/m}^3$
Hochofenzement (reagiert langsam!)	370 $\text{kg/m}^3$
Anmachwasser	190 $\text{l/m}^3$
Wasserzementwert	0,51
BV (bezogen auf Zement)	0,3 %

Der resultierende Schwerbeton hatte eine Rohdichte von  $3360 \text{ kg/m}^3$  [7]. Sehr ähnlich war auch die Betonrezeptur für den Schwerbetonteil des Röntgenraums im Wuppertaler Klinikum. Die Wände und Decken aus Schwer- und Normalbeton wurden frisch in frisch und in gleichmässigem Tempo betoniert [8]. Über den Strahlenschutzbunker im Kantonsspital Luzern wurde bereits früher im «Cementbulletin» berichtet [9]. Deshalb folgt hier nur noch die Rezeptur des Schwerbetons, der eine Rohdichte von  $3327 \text{ kg/m}^3$  erreichte:

Baryt 0–16 mm (2,4 % Eigenfeuchte)	2640 $\text{kg/m}^3$
Kies 4–8 mm	126 $\text{kg/m}^3$
Kies 8–16 mm	126 $\text{kg/m}^3$
Bindemittel Zement Flugasche	275 $\text{kg/m}^3$ 50 $\text{kg/m}^3$
Zugabewasser	107 $\text{kg/m}^3$
HBV (bezogen auf Bindemittel)	3 %
Wasserzementwert	0,51
Verdichtungsmass	1,26
28-Tage-Druckfestigkeit	43 $\text{N/mm}^2$

### Eine Spezialanwendung

Für die Gasleitung aus dem Gasfeld Sleipner in der Nordsee nach Zeebrugge in Belgien wurden 12,2 m lange Stahlrohre mit einem Durchmesser von 100 cm verwendet. Die Rohre wurden mit zwei Lagen glasfaserverstärkter Bitumschichten (6 bis 8 mm dick) umgeben, auf die Glasfasergewebe und eine Kalkschicht aufgebracht wurden. Anschliessend wurde eine 100 mm dicke Schwerbetonschicht unter erhöhtem Druck aufgespritzt. Als Bewehrung diente eine Doppel-lage aus galvanisiertem Stahldraht-gewebe. Ein Kubikmeter Beton enthielt 1850 kg Eisenerz (Grösst-korn 8 mm), 500 kg Sand und 500 kg Hochofenzement. Nach einer beschleunigten Festigkeitsent-wicklung durch Dampfbehandlung resultierte ein Beton mit einer Roh-dichte von  $3040 \text{ kg/m}^3$  und einer Druckfestigkeit von  $40 \text{ N/mm}^2$ . Die Ummantelung mit Schwerbeton erfolgte aus zwei Gründen: Einerseits wirkt sie gegen den Auf-trieb, andererseits schützt sie vor Beschädigungen durch Schlepp-netze und Ankerketten [10].

Kurt Hermann, TFB