

# Richtlinien für Beton im Grubenausbau

## 1. Allgemeines

Diese Richtlinien beziehen sich auf Beton für den Ausbau von Gesteinsstrecken, Großräumen, Blindschächten und Streckenabzweigen sowie das Hinterfüllen des Streckenausbaus und für Streckensohlen<sup>1)</sup>. Sie enthalten die Anforderungen an die Zusammensetzung, das Mischen, Fördern, Verdichten und Prüfen des Betons. Soweit angemessen, sind die für Beton und Stahlbeton geltenden Bestimmungen berücksichtigt (DIN 1045 „Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton“; DIN 1047 „Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Beton“; DIN 1048 „Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton“).

Für Beton, an den keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Abnutzwiderstand u. ä. gestellt werden, wie z. B. für die Hinterfüllung von Stahlausbauten, reicht eine Betongüte von etwa B 160 aus (Würfeldruckfestigkeit von 160 kp/cm<sup>2</sup> im Alter von 28 Tagen, ermittelt nach DIN 1048).

Für tragende Bauteile, die stärker beansprucht werden, oder für solche, die wasserundurchlässig sein sollen, ist eine Betongüte B 300 zweckmäßig.

## 2. Ausgangsstoffe

### 2.1 Zement

Im allgemeinen sollen Normenzemente der Güteklasse Z 275 (hellbrauner Sack, bei losem Zement Lieferschein, je mit Normenüberwachungszeichen) verwendet werden. Beton mit höherer Anfangsfestigkeit entsteht bei Verwendung von Zement der Güteklasse Z 375 (grüner Sack, bei losem Zement Lieferschein, je mit Normenüberwachungszeichen).

Ist damit zu rechnen, daß der Beton ständig chemisch angreifendem Wasser ausgesetzt ist, so ist eine Wasseranalyse erforderlich (vgl. DIN 4030 „Beton in betonschädlichen Wässern und Böden“). Muß hiernach mit einer beachtlichen Schädigung gerechnet werden, so ist zu entscheiden, ob außer Beton B 300 noch weitere Maßnahmen nötig sind. Bei Wässern mit mehr als 400 mg/l SO<sub>4</sub> sind Normenzemente mit erhöhtem Sulfatwiderstand zu verwenden.

Es darf nur Zement verarbeitet werden, der frei von Klumpen ist; deshalb ist er stets trocken zu lagern.

<sup>1)</sup> Für Spritzbeton und das Verfestigen des Gebirges durch Einpressen von Zementleim sind besondere Richtlinien vorgesehen.

## 2.2 Zuschlagstoffe

### 2.2.1 Eigenschaften

Die Zuschlagstoffe müssen sauber sein und aus festem, durch Wassereinwirkung nicht veränderbarem Gestein mit möglichst geordneter Kornform bestehen<sup>2)</sup>. Zuschlagstoffe mit erheblichem Anteil plattiger oder länglicher Körner sind weniger geeignet.

Als Sand ist gewaschener Natursand, als gröbere Korngruppen naß aufbereiteter Kies, sauberer Splitt aus festem Naturgestein oder Hochofenstückschlacke zu verwenden. Die Zuschlagstoffe sind vor Verunreinigung zu schützen.

### 2.2.2 Kornzusammensetzung

Das Zuschlaggemisch muß gemischtkörnig sein. Das Größtkorn richtet sich nach den Abmessungen des Bauteils sowie den vorhandenen Möglichkeiten zum Fördern und Einbringen des Betons.

Soweit der Beton z.B. zum Hinterfüllen eines mit Bergen hinterpackten Ausbaus verwendet wird, ist als Zuschlag Sand mit einem Größtkorn bis 7 mm zweckmäßig.

Für Beton der Güte B 300 ist ein Zuschlaggemisch mit einem Größtkorn bis 30 mm zu empfehlen. Das Zuschlaggemisch 0/30 mm soll mindestens 50 %, jedoch höchstens 60 % Sand 0/7 mm enthalten. Das Zuschlaggemisch weist eine günstige Sieblinie auf, wenn diese im oberen Teil des besonders guten Bereiches der Regelsieblinien nach DIN 1045 verläuft; siehe Bild 1, schraffierter Bereich.

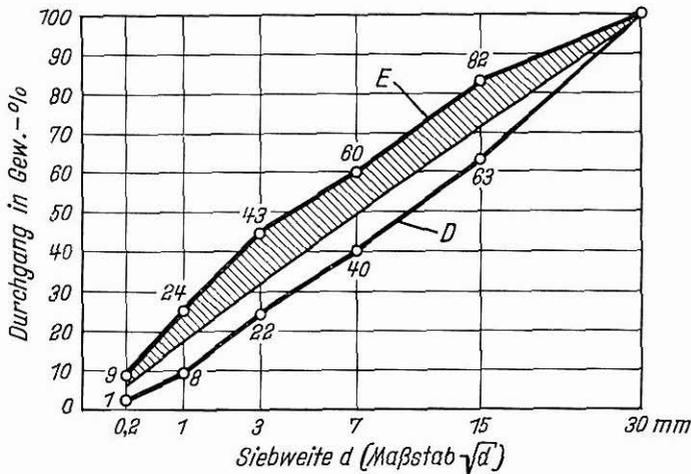


Bild 1 Günstiger Bereich für Sieblinien von Zuschlaggemischen 0/30 mm (schraffiert)

<sup>2)</sup> In Zweifelsfällen ist hinsichtlich Anforderung und Prüfung DIN 4226 „Richtlinien für die Lieferung und Abnahme von Betonzuschlagstoffen aus natürlichen Vorkommen“ zu beachten. Für Hochofenschlacke siehe entsprechend DIN 4301 „Hochofenschlacke und Metallhüttenschlacke für Straßenbau“.

Als Zuschlag kann werkgemischter Betonkiessand verwendet werden (siehe „Vorläufige Richtlinien für die Herstellung und Lieferung von werkgemischtem Betonkiessand“<sup>3)</sup>). Wird kein werkgemischter Kiessand benutzt, so ist Beton B 300 aus getrennt angelieferten und gelagerten Korngruppen 0/7 mm und 7/30 mm herzustellen.

### 2.3 Anmachwasser

Als Anmachwasser sind in der Natur vorkommende saubere Wässer geeignet. Unbekannte Grubenwässer sind durch eine Wasseranalyse auf ihre Eignung zu prüfen.

### 2.4 Zusatzmittel

Zusatzmittel sind für Ortbeton im allgemeinen nicht erforderlich; (für Transportbeton unter gewissen Voraussetzungen, s. unter 6).

## 3. Betonzusammensetzung

in Tafel 1 ist die Zusammensetzung für plastischen (mäßig weichen), gut verarbeitbaren Beton (Konsistenz K 2) angegeben.

Tafel 2 enthält die entsprechenden Stoffmengen für einen 100 l-, 200 l- und 500 l-Mischer in kg und in l.

Tafel 1 Zusammensetzung für 1 m<sup>3</sup> verdichteten Beton (Richtwerte)

Korngröße des Zuschlags	Mengen für 1 m <sup>3</sup> Beton			Mischungsverhältnis
	Zement	Zuschlag (trocken)	Gesamt- wasser*)	Zement : Zuschlag : Wasser**) (trocken)
mm	kg			Gewichtsteile
Belongüte etwa B 160				
0 . . . 7	350	1575	265	1 : 4,5 : 0,75
0 . . . 30	240	1895	180	1 : 7,9 : 0,75
Belongüte etwa B 300				
0 . . . 30	350	1820	175	1 : 5,2 : 0,50

\*) Gesamtwasser = Wassergehalt im feuchten Zuschlaggemisch + Zugabewasser am Mischer

\*\*) gleichbedeutend mit Wasserzementwert

<sup>3)</sup> Wedler, B.: Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton; Ergänzungen und Erläuterungen zur 7. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München 1963, S. 27/30.

Tafel 2 Mengen für eine Füllung eines 100 l-, 200 l- und 500 l-Mischers (Richtwerte)

Mischer- inhalt	Mengen je Mischerfüllung									
	Betongüte etwa B 160						Betongüte etwa B 300			
	Zuschlag: Sand 0/7 mm			Zuschlag: Kiessand 0/30 mm			Zuschlag: Kiessand 0/30 mm			
	Zement	Sand*)	Zugabe- wasser	Zement	Kies- sand*)	Zugabe- wasser	Zement	Sand*)	Kies*)	Zugabe- wasser
l	kg	kg (l)	kg	kg	kg (l)	kg	kg	kg (l)	kg (l)	kg
100	25	115 ( 80)	15	15	120 ( 75)	8	25	65 ( 45)	65 ( 40)	9
200	50	230 (165)	30	30	240 (150)	16	50	135 ( 95)	135 ( 85)	17
500	125	580 (415)	75	75	600 (375)	40	125	335 (240)	335 (210)	42

\*) der Wassergehalt des Zuschlags wurde mit 3 % angenommen

Wird in besonderen Fällen ein weicherer, wasserreicherer Beton benötigt, so muß mit dem zusätzlichen Wasser gleichzeitig auch mehr Zement zugegeben werden, und zwar Wasser zu Zement im Verhältnis 1:2.

#### 4. Abmessen

Der Zement muß gewichtsmäßig, entweder sackweise oder abgewogen aus Gefäßen (Kanister) oder direkt über eine Zementwaage, zugegeben werden. Die Zuschlagstoffe sollen möglichst nach Gewicht abgemessen werden. Bei raummäßiger Zugabe der Zuschlagstoffe sind die Abmeßbehälter mit Marken für die in Tafel 2 angegebenen Raummengen in Litern zu versehen.

Das Wasser wird aus Meßgefäßen oder über Durchlaufwassermesser zugegeben.

#### 5. Mischen

##### 5.1 Mischmaschinen

Für *ortsbewegliche Anlagen* sind 100 l- oder 200 l-Mischer zweckmäßig (entsprechend einer Mischerfüllung von etwa 70 oder 140 l verdichtetem Beton). Um den Transport in Blindschächten gemäß DIN 21 349 und DIN 21 350 zu ermöglichen<sup>4)</sup>, sollten Mischer folgende Abmessungen nicht überschreiten:

Breite: 750 mm,  
 Höhe: 1 700 mm,  
 Länge: 1 500 mm.

Für *ortsfeste Betonieranlagen* sind 200 l- oder größere Mischer empfehlenswert.

<sup>4)</sup> DIN 21349 „Blindschächte; runde Querschnitte“  
 DIN 21350 „Blindschächte; Abmessungen, Ausbau“

## 5.2 Bedienen der Mischmaschine

Die Mischmaschinen müssen von erfahrenen Leuten bedient werden, die in der Lage sind, die unter 3 geforderte Konsistenz K 2 einzuhalten.

Nach Zugabe aller Stoffe soll mindestens 1½ min gemischt werden.

## 6. Transportbeton

Transportbeton (fertiger Frischbeton)<sup>3)</sup> ist mit den zweckentsprechenden Eigenschaften (siehe Abschnitt 1; Abschnitt 2.1, Absatz 2, und Abschnitt 6, Absatz 2) in der Konsistenz K 2 zu beziehen (Lieferbezeichnung).

Beträgt die Zeitspanne vom Mischen bis zum Einbringen mehr als zwei Stunden, so ist mit dem Transportbetonwerk die Zugabe eines Verzögerers zu vereinbaren, damit die Versteifung nicht zu früh einsetzt. Die Zugabemenge richtet sich nach der erforderlichen Verzögerung und wird zweckmäßig durch eine Eignungsprüfung, siehe Abschnitt 10.1, ermittelt.

## 7. Fördern des Betons

Je nach Entfernung der Betonierstelle und je nach Einbaumöglichkeit kann der Beton in Behältern, z. B. in Förderwagen, durch Schläuche, durch Rohrleitungen oder über Bänder gefördert werden.

Gegebenenfalls entmischter Beton muß erneut durchgemischt oder die Entmischung durch gleichmäßiges Verteilen beim Einbringen behoben werden.

Mit Bodenentleerern oder anderen leicht zu entleerenden Wagen wird gefördert, wenn die Betonierstelle weit von der ortsfesten Misanlage entfernt liegt.

## 8. Einbringen und Verdichten des Betons

Der Beton ist in Schichten einzubringen und gleichmäßig zu verdichten. Die Schichthöhe richtet sich nach der Art der Verdichtung. Sie soll bei Verdichtung mit Innenrüttlern (Rüttelflaschen; Durchmesser etwa 50 mm und mehr) nicht mehr als 30 bis 40 cm betragen. Bei Verdichtung durch Stampfer darf die Schichthöhe 20 cm nicht überschreiten.

Schalungsrüttler oder Drucklufthämmer dürfen nur bei Wanddicken des Betons bis zu 20 cm verwendet werden; die jeweils zu verdichtende Schicht soll nicht höher als 40 cm sein.

<sup>3)</sup> Vorläufige Richtlinien für die Herstellung und Lieferung von Transportbeton; siehe Wedler, B.: Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Ergänzungen und Erläuterungen zur 7. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München 1963, S. 31/38, oder Zement-Taschenbuch 1964/65. Bauverlag Wiesbaden 1963, S. 370/381.

Beim Verdichten von Bodenschichten mit Oberflächenrüttlern (Rüttelplatten oder Rüttelbohlen) soll die Betonlage höchstens 20 cm dick sein.

Die Betonierabschnitte und die Schichthöhen sind so zu wählen, daß die Schichten frisch auf frisch eingebaut werden können und dadurch horizontale Arbeitsfugen vermieden werden. Beim Verdichten der obersten Schicht mit Rüttelflaschen darf der bereits verdichtete Beton der darunterliegenden Schicht nur so weit erstarrt sein, daß die Rüttelflasche noch (etwa 15 cm tief) in die untere Schicht abgesenkt werden kann.

## **9. Nachbehandeln des Betons**

Um im Bauwerk die volle Betongüte zu erreichen und um Schwindrisse zu vermeiden, ist der Beton möglichst lange vor Austrocknen zu schützen. Ausgeschalter Beton sollte wenigstens 7 Tage feucht gehalten werden, z. B. durch Abdecken mit nassen Stoffen oder durch häufiges Besprühen mit Wasser. Dieser Forderung entspricht auch das Aufsprühen eines *lösungsmittelfreien* Nachbehandlungsmittels (Nachbehandlungsfilms) sofort nach dem Entschalen.

Schädigende Einflüsse, z. B. starke Erschütterungen oder rasch strömendes oder chemisch angreifendes Wasser, sind vom erhärtenden Beton fernzuhalten. Im Zeitraum von etwa 6 h bis 36 h nach dem Einbringen von Beton ohne Verzögerer (etwa 10 h bis 40 h mit Verzögerer) sollte in *unmittelbarer* Nähe nicht geschossen werden.

## **10. Prüfung und Überwachung**

### **10.1 Eignungsprüfung**

Wird eine vorausgehende Eignungsprüfung, z. B. bei Verwendung von Grubenwasser als Anmachwasser oder von Verzögerern, erforderlich, so ist diese rechtzeitig vor Baubeginn nach DIN 1048 durchzuführen.

### **10.2 Güteprüfung**

Die Betonfestigkeit (Betongüte) kann mit Güteprüfungen durch Herstellen von Probewürfeln gemäß DIN 1048 oder durch Prüfung des erhärteten Betons mit dem Prellhammer gemäß DIN 4240 oder durch Herausbohren von Zylindern entsprechend DIN 21 525 nachgewiesen werden.

# Erläuterungen zu den Richtlinien für Beton im Grubenausbau

Von Kurt Walz und Jürgen Dahms, Düsseldorf

## Übersicht

*Beton wird aus technischen und wirtschaftlichen Gründen für den Ausbau von Steinkohlengruben in zunehmendem Maße verwendet. Da die Anforderungen und die Ausführungsmöglichkeiten unter Tage von denen des üblichen konstruktiven Betonbaus zum Teil beträchtlich abweichen, lag ein Bedürfnis nach einer entsprechenden Richtlinie vor, bei der sowohl die neueren Kenntnisse und Erfahrungen der Betontechnik im Ingenieurbau verwertet als auch die Erfordernisse und erschwerten Bedingungen unter Tage berücksichtigt wurden. Die Richtlinien wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie von einer Gruppe von Fachleuten aus verschiedenen Arbeitsgebieten aufgestellt. — Abweichend vom konstruktiven Ingenieurbau ist es im Grubenausbau im allgemeinen nicht möglich, die auftretenden Beanspruchungen mit einer statischen Berechnung genau zu erfassen und danach eine entsprechende Betongüte zu wählen. Die Richtlinien gehen daher nur von zwei Betongüten aus: B 160 für Ausbauten, denen keine hohen Beanspruchungen zugeordnet werden, und B 300 für Ausbauten, die größeren Gebirgsdruck aufzunehmen haben oder die wasserundurchlässig sein sollen. — Die Erläuterungen gehen darüber hinaus auf die betontechnischen Grundlagen ein (Zemente, Zuschlagstoffe, Mischungszusammensetzung, Beförderungsverfahren, Verdichtung, Nachbehandlung).*

## Vorbemerkung

Seit langem, und in den letzten Jahren zunehmend, wird im Steinkohlenbergbau auch unter Tage Beton eingebaut, z. B. für den tragenden Ausbau von Gesteinsstrecken, Großräumen, Bunkern, Blindschächten, für die Sohlenbefestigung, für das Hinterfüllen von Verzugsplatten, Vermörteln des Versatzes, Ausfüllen von Hohlräumen u. a. m. Die aus Gebirgsbewegungen zu erwartenden Belastungen können nicht im voraus angegeben werden; sie können nur auf Grund von Erfahrungen geschätzt werden. Dies dürfte mit ein Grund dafür sein, daß für Beton im Grubenausbau meist keine bestimmten Gütewerte verlangt werden. Damit fanden die über die allgemeinen handwerklichen Gepflogenheiten hinausgehenden Erkenntnisse der Betontechnologie, wie sie im konstruktiven Ingenieurbau genutzt und in Baubestimmungen verankert sind, im Bergbau nicht in gleicher Weise Eingang — wenn

von dem hier nicht einbezogenen Beton für Tagesschächte und von der Verwendung werksgefertigter Betonformsteine [1] abgesehen wird.

Zweifellos braucht der hier behandelte Beton unter Tage weniger eng definiert zu werden als z. B. ein für ganz bestimmte Beanspruchungen vorgesehener Konstruktionsbeton im Hochbau; auch verlangt die schwierigere Herstellung und Verarbeitung des Betons unter Tage demgegenüber gewisse Vereinfachungen. Die Entwicklung des Grubenausbaus mit Beton zeigt aber, daß doch vielerorts der Vorteil einer sachkundig abgestimmten Betonzusammensetzung und -anwendung erkannt wurde. Hierdurch kam das Bedürfnis auf, auch für Beton im Bergbau, an den statisch oft keine bestimmten Anforderungen gestellt werden, einfache, allgemein nutzbare Richtlinien aufzustellen.

Diese nunmehr vorliegenden „Richtlinien für Beton im Grubenausbau“ wurden von Vertretern des Steinkohlenbergbauvereins und verschiedener Zechen mit Herren von der anwendungstechnischen Seite der Zementindustrie erarbeitet <sup>1)</sup>. Der Ausschuß für Grubenausbau des Steinkohlenbergbauvereins, dem die Richtlinien vorgelegt wurden, hat diese nach geringen Änderungen genehmigt. (Die Richtlinien sind am Schluß wiedergegeben.)

Zu den in den Richtlinien gebrachten einfachen Festlegungen werden in den nachfolgenden Erläuterungen Begründungen und weitergehende technologische Ausführungen gemacht.

## 1. Allgemeines

Beton für tragende Konstruktionen des Hoch- und Tiefbaus muß den von den Bauaufsichtsbehörden eingeführten, amtlichen Bestimmungen entsprechen (DIN 1045 „Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton“ bzw. DIN 1047 „Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Beton“). Der Beton ist dort nach Güteklassen (Festigkeitsklassen) eingeteilt. Am häufigsten werden die Güteklassen B 160, B 225 und B 300 benutzt. Für die Betone dieser Güteklassen wird im Alter von 28 Tagen eine Würfeldruckfestigkeit von 160 kp/cm<sup>2</sup>, 225 kp/cm<sup>2</sup> und 300 kp/cm<sup>2</sup> verlangt. Die Betonwürfel werden dabei nach DIN 1048 „Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton“ hergestellt, gelagert und geprüft; siehe auch Abschnitt 10.

---

<sup>1)</sup> Der Arbeitskreis setzt sich aus den Herren Dipl.-Ing. J. Dahms, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf; Dr.-Ing. G. Draeger, Rheinpreußen AG für Bergbau und Chemie, Homberg (Ndrh.); Dr.-Ing. W. Schaefer, Rheinlbe Bergbau AG, Gelsenkirchen; Dr.-Ing. F. Schuermann, Steinkohlenbergbauverein, Essen; Prof. Dr.-Ing. habil. K. Walz, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf; Dr.-Ing. R. Weber, Bauberatung Zement, Düsseldorf, und Dr.-Ing. H. J. Wierig, Laboratorium der westfälischen Zementindustrie, Beckum, zusammen. — Bei einigen Sonderfragen wirkten Herren der Zeche Friedrich Heinrich, die ihre vielseitigen Erfahrungen mit dem Grubenausbau in Beton anläßlich einer Grubenfahrt dem Arbeitskreis mitteilten, sowie Herren der Baumaschinenindustrie und von Bergwerksunternehmern mit.

Bei dem unter Tage einzubauenden Beton wird man im allgemeinen mit den zwei Betongütern B 160 und B 300 auskommen. Hierfür waren in Anlehnung an die DIN 1045 möglichst einfache betontechnische Bedingungen festzulegen, die zur Gewährleistung der beiden Betongütern notwendig sind.

Beton B 160 eignet sich für Ausführungen, an die keine hohen Anforderungen hinsichtlich Festigkeit oder Wasserundurchlässigkeit gestellt werden. Bauteile, die voraussichtlich starker Belastung oder schleifender Beanspruchung ausgesetzt sind sowie solche, die möglichst wasserundurchlässig sein sollen oder die mit chemisch angreifendem Wasser in Berührung kommen, sind aus Beton der Güte B 300 herzustellen. Für die beiden Betongütern wird in den Richtlinien die erforderliche Betonzusammensetzung angegeben (Abschnitt 3), die bei sachgemäßem Vorgehen mit einiger Sicherheit die betreffende Betongüte gewährleistet.

Dazu wird vorausgesetzt, daß diese definierten Betone in Mischanlagen mit Abmeßmöglichkeiten für Zement, Zuschlag und Wasser entstehen. Der Beton wird unter Tage in einer beweglichen, am jeweiligen Betonierort aufgestellten Abmeß- und Mischanlage oder in einer zentralen, ortsfesten Anlage bereitet. Er kann auch fertiggemischt von über Tag aus einer schachtnahen Betonieranlage oder von einem Transportbetonwerk geliefert werden. Bei einer beweglichen Anlage (Betonierzug) werden Behälter für die Ausgangsstoffe, Mischer und Fördergeräte auf Schienen an die jeweilige Verwendungsstelle gefahren. Solche Anlagen werden eingesetzt, wenn nur gelegentlich oder an weit auseinanderliegenden Stellen verhältnismäßig wenig Beton benötigt wird. Ortsfeste Anlagen mit größerer Leistung werden für umfangreiche Betonierarbeiten an möglichst betriebsgünstiger Stelle eingerichtet.

## **2. Ausgangsstoffe**

### **2.1 Zement**

Die Zemente werden nach DIN 1164 „Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement“ in die Güteklassen Z 275, Z 375 und Z 475 eingeteilt. Die in Abschnitt 3 der Richtlinien aufgeführte Zusammensetzung der Mischungen für die beiden Beton-Güteklassen gilt bei Verwendung von Zementen der Güteklasse Z 275 nach DIN 1164, ebenso auch von Sulfathüttenzement SHZ 275 nach DIN 4210 und von Trasszement TrZ 275 nach DIN 1167. Durch die Verwendung von Normzement ist Gewähr gegeben, daß der Zement die in der Norm bei der Prüfung mit Normenmörtel geforderte Mindest-Druckfestigkeit von 275 kp/cm<sup>2</sup> nach 28 Tagen erreicht, ferner, daß der Zement raumbeständig und normal erstarrend ist. Die tatsächlich Normenfestigkeit dieser Zemente liegt im allgemeinen wesentlich höher.

Gesackter Zement, der in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit längere Zeit lagert, hydratisiert, verliert an Festigkeit und wird klumpig. Teilweise klumpiger Zement, dessen Klumpen sich in der Hand nicht leicht zerdrücken lassen, soll ausgeschieden werden.

Wird in besonderen Fällen eine rasche Festigkeitsentwicklung des Betons erforderlich, z. B. wenn er schon nach kurzer Zeit entschalt werden soll oder Lasten aufzunehmen hat, so werden zweckmäßig Zemente der Güteklasse Z 375 oder gar Z 475 verwendet. Aus Tafel 1 geht hervor, welche Frühfestigkeit, bezogen auf die 28 Tage-Druckfestigkeit, je nach Zement-Güteklasse zu erwarten ist.

Tafel 1 Festigkeitsentwicklung der Zemente (Richtwerte)

Zement-Güteklasse*)	Normen-Druckfestigkeit der Zemente in % ihrer 28 Tage-Druckfestigkeit nach					
	1 Tag	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen	6 Monaten	12 Monaten
Z 275	—	30 . . . 40	55 . . . 65	100	130 . . . 150	135 . . . 165
Z 375	—	40 . . . 50	60 . . . 70	100	130 . . . 140	130 . . . 145
Z 475	25 . . . 35	60 . . . 70	75 . . . 85	100	100 . . . 110	105 . . . 115

\*) Mindestdruckfestigkeit nach 28 Tagen bei Prüfung nach DIN 1164

Die Festigkeit des Betons ist unter sonst gleichen Verhältnissen in dem jeweiligen Alter der tatsächlichen Normenfestigkeit des Zements annähernd verhältnismäßig. Mit Zementen der Güteklassen Z 375 und Z 475 (Mindest-Normendruckfestigkeit nach 28 Tagen 375 und 475 kp/cm<sup>2</sup>) wird auch eine höhere 28 Tage-Betondruckfestigkeit erreicht als mit Zement der Güteklasse Z 275.

Steht Wasser mit hohem Sulfatgehalt an (mehr als 400 mg/l SO<sub>4</sub>), so ist es nötig, neben dem praktisch wasserundurchlässigen Beton der Güte B 300 einen Zement mit erhöhtem Sulfatwiderstand zu verwenden. Solche Zemente, die ebenfalls mit dem Normenüberwachungszeichen versehen sind und die den in DIN 1164 festgelegten Bedingungen entsprechen, sind:

Portlandzement mit höchstens 3 % Tricalciumaluminat,  
 Hochofenzement mit mindestens 70 % Hüttensand,  
 Hochofenzement aus Klinker mit höchstens 3 % Tricalciumaluminat und aus Hüttensand mit höchstens 13 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
 Sulfathüttenzement.

Auch andere Stoffe des Grubenwassers können den erhärteten Beton angreifen. Welches Angriffsvermögen einem Wasser zukommt (schwach, stark, sehr stark), ergibt sich aus einer zweckentsprechenden Wasseranalyse. Dabei sind zu bestimmen:

pH-Wert,  
 kalklösende Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) nach Heyer in mg/l,  
 Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in mg/l,  
 Magnesium (Mg<sup>2+</sup>) in mg/l,  
 Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) in mg/l.

Für die Einstufung nach dem Angriffsvermögen und die davon abhängigen Maßnahmen – auch die Strömungsgeschwindigkeit ist von Einfluß – ist ein Fachmann zu Rate zu ziehen; siehe auch [2,3].

## **2.2 Zuschlagstoffe**

Die Anforderungen für natürliche Zuschlagstoffe zu Beton nach DIN 1045 und DIN 1047 sind in DIN 4226 „Betonzuschlagstoffe aus natürlichen Vorkommen, Vorläufige Richtlinien für die Lieferung und Abnahme“ festgelegt. Dort sind die Korngruppen, nach denen die Zuschlagstoffe geliefert werden, aufgeführt. DIN 4226 enthält ferner Angaben über den zulässigen Gehalt an Über- und Unterkorn, über schädliche Bestandteile und über die Beurteilung der Kornform und der Gesteinseigenschaften. Neben natürlichen Zuschlagstoffen kann für gröbere Korngruppen auch gebrochene Hochofenstückschlacke verwendet werden. Zuschlagstoffe aus gebrochener Hochofenstückschlacke sollen der DIN 4301 „Hochofenschlacke und Metallhüttenschlacke für Straßenbau, Technische Lieferbedingungen“ entsprechen.

Die Kornzusammensetzung und die Kornform der Zuschlagstoffe wirken sich besonders auf die Betoneigenschaften aus, weil dadurch der Wasseranspruch des Betons für eine bestimmte Konsistenz und durch den Wassergehalt die Festigkeit und Dichte des Betons beeinflusst werden. Die Gesteinseigenschaften üblicher Zuschlagstoffe wirken sich für die hier vorgesehenen Betone praktisch nicht aus, auch sind schädliche Bestandteile in handelsüblichen Zuschlagstoffen kaum anzutreffen. Da bei Zechen häufig anderes Gestein anfällt, folgen nachstehend etwas weitergehende Ausführungen.

### *2.2.1 Gesteinseigenschaften und schädliche Bestandteile*

Sande und Kiese sind wegen der ihrer Ablagerung vorausgegangen, natürlichen Aussonderung in der Regel ausreichend fest. Bei üblichen gebrochenen Zuschlagstoffen ist die Eigenfestigkeit des Gesteins im allgemeinen ausreichend; das trifft für Ausbruchgestein jedoch meist nicht zu. Sofern sich ungeeignete Gesteine, z. B. mergelige und tonige Gesteine, überhaupt zu brauchbarem Splitt brechen lassen, weisen sie oft einen hohen Steinmehlgehalt und starkes Wasseraufsaugen auf (feststellbar durch rasches Aufsaugen eines aufgesetzten Wassertropfens).

Zu den schädlichen Bestandteilen gehören vor allem die mehlfeinen Stoffe und bestimmte Schwefelverbindungen. Mehlfeine Bestandteile im Zuschlagstoff (lehm- oder tonhaltige Stoffe, Gesteinsstaub) können schädlich sein, wenn ihr Anteil eine bestimmte Menge überschreitet, wenn sie als Kruste die Zuschlagkörner umhüllen oder wenn sie als feste Knollen vorhanden sind. Die Menge der mehlfeinen Bestandteile kann durch Schütteln des Zuschlags mit Wasser in einem Standglas (Absetzversuch) überschlägig beurteilt werden [4, 5]. Der zulässige Anteil hängt vom Größtkorn des Zuschlags ab (siehe DIN 4226, § 5, Ziffer 1).

Werden Schwefelverbindungen im Zuschlaggestein vermutet, so ist eine eingehendere Untersuchung und Beurteilung angezeigt (siehe DIN 4226, § 5, Ziffer 3).

## 2.2.2 Größtkorn, Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches und Kornform

Das Größtkorn ist so groß zu wählen, wie es die Herstellung, die Förderung und die Verarbeitung des Betons zulassen; seine Nenngröße soll jedoch in der Regel  $1/5$  der kleinsten Bauteilabmessung nicht überschreiten.

Die Kornzusammensetzung eines Zuschlaggemisches wird durch Sieblinien dargestellt. Das Zuschlaggemisch kann aus verschiedenen Korngruppen zusammengestellt werden oder als Ganzes zur Verfügung stehen (werkgemischter Kiessand [6]). Günstige Korngemische mit einem Größtkorn von 7 mm oder 30 mm liegen mit ihren Sieblinien in dem schraffierten Bereich des Bildes 1. Feinere Gemische als nach Linie B oder E erfordern wegen ihrer größeren Oberfläche einen hohen Wasseranspruch. Bei einer größeren Kornzusammensetzung unterhalb der Grenzlinie des

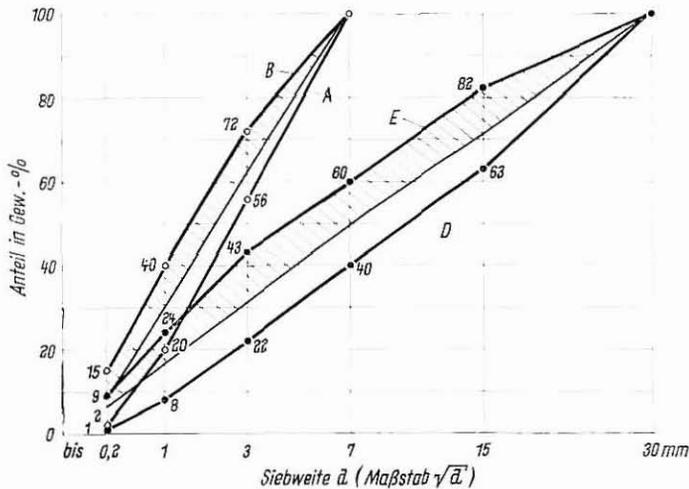


Bild 1 Grenzsieblinien A und B bzw. D und E nach DIN 1045 für günstig zusammengesetzte Zuschlaggemische 0/7 mm und 0/30 mm (empfehlenswerter Bereich für Zuschlag zu Beton im Grubenausbau schraffiert)

schraffierten Bereichs in Bild 1 kann der Beton entmischend, sperrig und schwer verdichtbar ausfallen. Einzelheiten über die Ermittlung der Kornzusammensetzung und über die von Zuschlaggemischen bis 15 mm oder 50 mm Größtkorn finden sich in [4,5].

In Tafel 2 ist der Einfluß verschiedener Kornzusammensetzung von Kiessand auf den Wasseranspruch und die Druckfestigkeit weich angemachten Betons wiedergegeben [7]: Je feinkörniger der Zuschlag für den Beton mit 200 kg Zement je m<sup>3</sup> war (Zeilen 1 bis 3 der Spalten 2 bis 7), um so mehr Wasser war für dieselbe Konsistenz erforderlich (Spalte 9). Bei dem gleichbleibenden Zement-

Tafel 2 Einfluß der Kornzusammensetzung von Kiessand (Sieblinie) auf den Wasseranspruch und die Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen [7]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zeile	Kornzusammensetzung Anteile in % 0 bis						Zement	Wasser	Beton- Druck- festig- keit kp/cm <sup>2</sup>
	0,2 mm	1 mm	3 mm	7 mm	15 mm	30 mm	in 1 m <sup>3</sup> kg	Beton kg	
Zementgehalt: 200 kg in 1 m <sup>3</sup> Beton									
1	3	9	23	44	64	100	200	162	195
2	15	21	41	61	75	100	200	178	144
3	35	55	70	79	88	100	200	294	50
Beton-Druckfestigkeit: 200 kp/cm <sup>2</sup>									
4	3	9	23	44	64	100	215	172	230
5	13	19	39	60	74	100	265	193	200
6	35	55	70	79	88	100	390	258	200

gehalt sank daher die Druckfestigkeit stark ab (Spalte 10). Sollte andererseits eine Druckfestigkeit von 200 kp/cm<sup>2</sup> mit den verschiedenen Zuschlaggemischen erhalten werden, so erforderten die feinkörnigeren Zuschlaggemische mehr Zement (Zeilen 4 bis 6 der Spalte 8). Entsprechend sind nach Tafel 1 der Richtlinien bei Verwendung von Sand 0/7 mm an Stelle eines Kies-Sand-Gemisches 0/30 mm zur Erreichung der Betongüte B 160 rd. 110 kg Zement je m<sup>3</sup> mehr erforderlich.

Mit sehr ungünstig geformten flach- und langspittrigen sowie rauhen Zuschlagkörnern benötigt ein Beton gleicher Konsistenz und Kornzusammensetzung mehr Wasser als sonst gleicher Beton aus Kiessand mit rundlichen Körnern. Wie aus Bild 2 hervorgeht [7], fällt wegen des höheren Wasseranspruchs des hier benutzten ungünstig geformten Granitsplitts und wegen des spittrigen Granitbrechsandes (an Stelle von Natursand) die Druckfestigkeit des Betons unter sonst gleichen Verhältnissen gegenüber dem Beton aus Kiessand ab.

Daraus geht hervor, daß als Sand möglichst Natursand verwendet werden soll und daß die Zuschlagkörner gebrochener Zuschläge

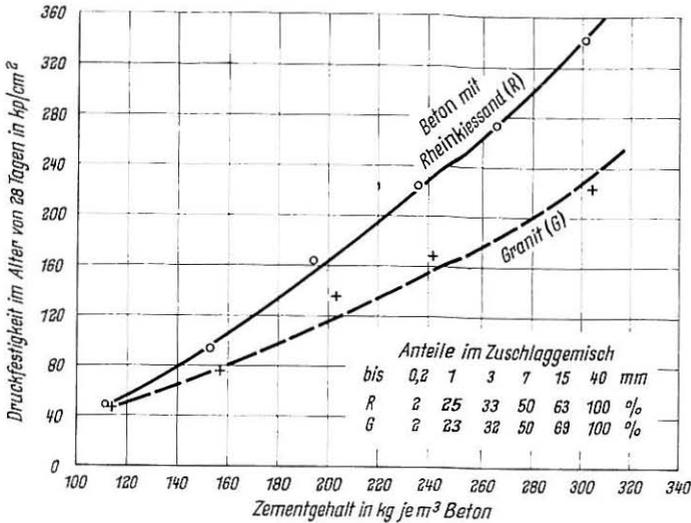


Bild 2 Einfluß der Kornform und -oberfläche auf die Druckfestigkeit von Beton gleicher Konsistenz und Kornzusammensetzung (Zuschlaggemisch R aus Rheinkiesand, G aus gebrochenem, flachsplittrigem Granit) [7]

eine möglichst gedrungene Kornform mit nicht zu rauher Oberfläche aufweisen sollen. Andernfalls ist im Vergleich zum Beton aus Zuschlag mit gedrungenen Körnern entsprechend dem höheren Wasseranspruch ein etwas höherer Zementgehalt notwendig, oder es ist ein sperrigerer, schwerer verdichtbarer Beton in Kauf zu nehmen.

### 2.3 Anmachwasser

Für unbewehrten Beton sind manche, verhältnismäßig stark salzhaltige Wässer als Anmachwasser noch brauchbar, selbst wenn sie erhärteten Beton bereits chemisch angreifen, wie z. B. Meerwasser.

Wenn auch die Festigkeit oder Beständigkeit dadurch nicht störend beeinflußt wird, so kann doch der Erhärtungsverlauf beschleunigt oder verzögert werden.

Grubenwässer, die durch besondere Farbe, ungewöhnlichen Geruch oder Geschmack auffallen, sollte man zur Beurteilung einer Analyse unterziehen (vor allem Cl-Gehalt, zweckmäßig auch Permanganatverbrauch und  $SO_4$ -Gehalt) und aus dem vorgesehenen Zement mit dem fraglichen Wasser und im Vergleich dazu mit Leitungswasser Zementkuchen nach DIN 1164 anfertigen, um das Erstarrungsverhalten und die Raumbeständigkeit vergleichsweise festzustellen. Bei größeren Unterschieden sollte auch die Festigkeit von Normenmörtel (DIN 1164) nach 7 und 28 Tagen geprüft werden.

## 2.4 Zusatzmittel

In den „Vorläufigen Richtlinien für die Prüfung von Betonzusatzmitteln zur Erteilung von Prüfzeichen“ [8] sind folgende Zusatzmittel aufgeführt:

Betonverflüssiger (BV),  
Luftporenbildner (LP),  
Betondichtungsmittel (DM),  
Erstarrungsverzögerer (VZ),  
Erstarrungsbeschleuniger (BE),  
Einpreßhilfen für Einpreßmörtel bei Spannbeton (EH).

Für Beton zu den hier vorgesehenen Aufgaben kommen nötigenfalls Verzögerer (VZ) und Beschleuniger (BE) in Frage, in bestimmten Fällen auch Betonverflüssiger (BV), durch die der Wasseranspruch des Betons für eine bestimmte Konsistenz herabgesetzt und die Verarbeitbarkeit verbessert werden kann. Zusatzmittel sollten nur verwendet werden, wenn sie mit dem amtlichen Prüfzeichen nach den „Vorläufigen Richtlinien“ versehen sind und wenn die im zugehörigen Zulassungsbescheid aufgeführten Hinweise beachtet werden. Demnach sind vor allem für Verzögerer und Beschleuniger im Laboratorium rechtzeitig Eignungsprüfungen mit der vorgesehenen Betonmischung ohne und mit Zusatz durchzuführen, um dabei neben der zweckentsprechenden Zusatzmenge auch die Auswirkung auf die Festigkeit u.a.m. zu ermitteln (siehe [8]).

## 3. Betonzusammensetzung

In den Tafeln 1 und 2 der Richtlinien ist für die Güteklassen B 160 und B 300 die Zusammensetzung der Mischungen als eine Art Rezept angegeben, durch das mit großer Sicherheit diese Betongüten zu erreichen sind. Zum tiefergehenden Verständnis werden hier die Grundsätze der Betontechnologie über die Zusammenhänge angeführt, nach denen man heute Beton mit bestimmten Eigenschaften herstellt [9]:

Die Eigenschaften des frischen und des erhärteten Betons hängen unter sonst gleichen Verhältnissen im wesentlichen ab:

von den Eigenschaften des Zements, besonders von seiner Normfestigkeit;

vom Wasserzementwert  $w$  (Verhältnis des Gewichts  $W$  des Gesamtwassers zum Gewicht  $Z$  des Zements im Frischbeton;  $w = W : Z$ );

von den Eigenschaften des Zuschlags (Kornzusammensetzung, Kornform, Größtkorn und Gestein);

von der Zementleimmenge (Gemisch aus Gesamtwasser und Zement im Frischbeton);

von der Konsistenz, der Verarbeitbarkeit und der Verdichtung des Frischbetons;

vom Alter und von der Nachbehandlung (Beeinflussung der Temperatur und Feuchtigkeit des jungen Betons).

*Beschränkt man sich auf Mischungen, die unter den jeweiligen Verhältnissen ausreichend verdichtbar sind, so gilt für Beton mit geschlossenem Gefüge etwa folgendes: Anzustreben ist ein Beton mit möglichst kleiner Zementleimmenge bei niedrigem Wasserzementwert.*

Eine bestimmte Mindestmenge an Zementleim bzw. Wasser ist erforderlich, um die Kornoberfläche zu umhüllen, den Hohlraum zwischen den Körnern auszufüllen und um eine ausreichende *Verarbeitbarkeit zu erlangen.*

Beton mit feinkörnigem Zuschlaggemisch benötigt mehr Zementleim als Beton mit größerem Zuschlaggemisch. Auch für Zuschlag mit sehr kantigen, wenig gedrunghenen Körnern oder mit sehr rauher Kornoberfläche ist der Zementleimbedarf größer.

Zementleim mit niedrigem Wasserzementwert ist steifer als solcher mit hohem Wasserzementwert, doch ist der Wasserzementwert *allein kein Maß für die Konsistenz und Verarbeitbarkeit des Betons.* Je kleiner die Zementleimmenge bei gleichem Wasserzementwert ist, desto steifer wird der Beton und umgekehrt. Durch Veränderung der Zementleimmenge kann daher bei gleichbleibendem Wasserzementwert die Konsistenz des Betons weitgehend geändert werden.

Je steifer der Zementleim, d. h. je kleiner der Wasserzementwert im Frischbeton ist, um so dichter und fester wird der erhärtete Zementleim (Zementstein) und damit um so höher die Güte des Betons. Bei gleichbleibendem Wasserzementwert entsteht unter üblichen Verhältnissen und bei vollständiger Verdichtung auch mit unterschiedlicher Zementmenge und Kornzusammensetzung Beton etwa gleicher Festigkeit, Undurchlässigkeit und Beständigkeit. Der Zementgehalt allein ist für die Güte des Betons nicht bestimmend. Je größer der Wasserzementwert bei gleicher Zementleimmenge oder je größer die Menge des Zementleims ist, um so mehr schwindet und kriecht ein Beton. Je größer der Zementgehalt ist, desto größer ist die Wärmemenge, die im Beton während des Erstarrens und Erhärtens frei wird (Entstehen von Temperaturspannungen).

Mit den in den Tafeln 1 und 2 der Richtlinien aufgeführten Mischungszusammensetzungen entstehen plastische, durch Rütteln leicht, aber auch durch sorgfältiges Stampfen von Hand noch zuverlässig verdichtbare Betone. Die Konsistenz entspricht dem Bereich K 2 der „Vorläufigen Richtlinien für Transportbeton“ [10]. Dort sind, wie auch im Entwurf der neuen Stahlbetonbestimmungen, noch ein Konsistenzbereich K 1 für steifen Beton und einer für weichen Beton, K 3, aufgeführt:

Konsistenz K 1 (steifer Beton): Untere Grenze für das Verdichten durch kräftig wirkende Rüttler. (Beton beim Schütten noch lose.)

Konsistenz K 2 (plastischer Beton): Durch Rütteln leicht zu verdichten; untere Grenze für das Verdichten durch Stampfen. (Beton beim Schütten schollig bis knapp zusammenhängend.)

Konsistenz K 3 (weicher Beton): Keine größere Verdichtungsarbeit erforderlich. (Beton beim Schütten knapp fließend.)

Naturgemäß weist bei sonst gleicher Mischungszusammensetzung der steife Beton (K 1) einen geringeren und der weiche Beton (K 3) einen höheren Wassergehalt als der hier vorgesehene Beton mit der Konsistenz K 2 auf. Um die gleiche Festigkeit wie der Beton mit der Konsistenz K 2 zu erzielen, könnte der Zementgehalt für Beton mit der Konsistenz K 1 entsprechend vermindert bzw. er müßte für Beton mit der Konsistenz K 3 erhöht werden. Richtwerte für den Gesamtwassergehalt von Beton mit den drei Konsistenzgraden und günstig zusammengesetzten Zuschlagmischen mit unterschiedlichem Größtkorn finden sich in Tafel 3 [9].

Tafel 3 Richtwerte [9] für die Gesamtwassermenge W von Mischungen mit den Konsistenzgraden K 1, K 2 und K 3 aus Sand und Kies mit verschiedenem Größtkorn (Sieblinie im günstigen Bereich)

Konsistenz	Gesamtwassermenge W in Liter für Zuschlaggemische mit einem Größtkorn von			
	7 mm	15 mm	30 mm	50 mm
K 1	210	185	160	150
K 2	230	200	180	170
K 3	255	225	200	190

Zur Kennzeichnung der Konsistenz wird zweckmäßig das einfach bestimmbare Verdichtungsmaß benutzt [11]; siehe Abschnitt 10. Das Verdichtungsmaß  $v$  beträgt bei Beton mit der

Konsistenz K 1:  $v = 1,45$  bis  $1,30$ ,

Konsistenz K 2:  $v = 1,25$  bis  $1,15$ ,

Konsistenz K 3:  $v = 1,10$  bis  $1,05$ .

Ist die Normenfestigkeit des zu verwendenden Zements bekannt und sind ferner die Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches sowie die für die Verarbeitung des Betons angemessene Konsistenz festgelegt, so kann die Betonzusammensetzung, mit der eine bestimmte Betondruckfestigkeit nach 28 Tagen zu erwarten ist, errechnet werden [9].

Aus Bild 3 wird zu der verlangten Betondruckfestigkeit  $B$  und der Normendruckfestigkeit  $N$  des Zements zunächst der zugehörige Wasserzementwert  $w$  ermittelt. Mit der der Tafel 3 entnommenen Gesamtwassermenge  $W$  ergibt sich dann der erforderliche Zementgehalt zu  $Z = W/w$ . Man kann nun mit  $W$  und  $Z$  über die sogenannte Stoffraumrechnung den Anteil des Zuschlags

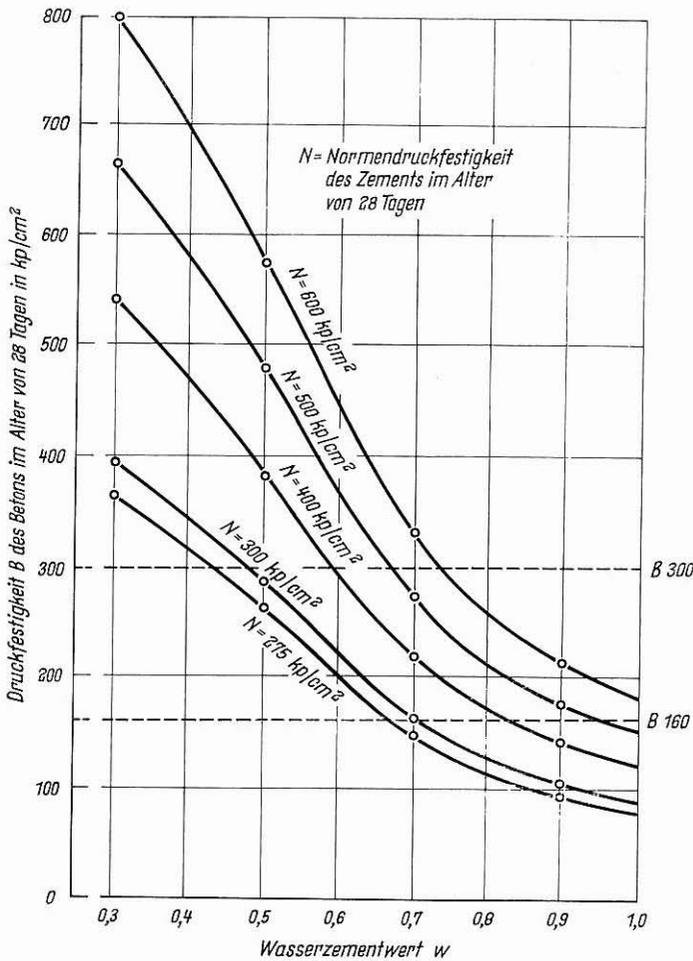


Bild 3 Beziehung zwischen Wasserzementwert  $w$ , Normdruckfestigkeit  $N_{28}$  des Zements und Betondruckfestigkeit  $B$  im Alter von 28 Tagen [9]

in  $1 \text{ m}^3$  verdichtetem Beton errechnen und erhält damit die Zusammensetzung der Mischung (siehe Tafel 1 der Richtlinien). Dabei gilt der Ansatz

$$\frac{Z}{\gamma_{oZ}} + W + \frac{G}{\gamma_G} + P = 1000 \text{ [dm}^3\text{]} \quad (1)$$

Hieraus ergibt sich der Gehalt an oberflächentrockenem Zuschlag zu

$$G = \gamma_G \cdot \left(1000 - P - \frac{Z}{\gamma_{oZ}} - W\right) \text{ [kg]} \quad (2)$$

In diesen Gleichungen bedeuten

G [kg]:	Menge des oberflächentrockenen Zuschlagstoffes
$\gamma_G$ [kg/dm <sup>3</sup> ]:	Rohdichte des oberflächentrockenen Zuschlaggesteins (für kieselige Gesteine etwa 2,6; für dichten Kalkstein, Granit, Gneis, Porphyrt etwa 2,7; für Basalt, Diabas, Diorit etwa 2,9)
$\gamma_{oZ}$ [kg/dm <sup>3</sup> ]:	Reindichte (spez. Gewicht) des Zements (etwa 3,0 bis 3,15; im Mittel 3,1)
P [dm <sup>3</sup> ]:	im verdichteten Beton vorhandener Gehalt an natürlichen Luftporen (Annahme: im Mittel 1,5%)

Auf diese Weise wurden die in Tafel 1 der Richtlinien aufgeführten Mischungen festgelegt, wobei für den Zement eine Normdruckfestigkeit von nur 350 kp/cm<sup>2</sup> eingesetzt wurde (siehe auch unter 2.1).

#### 4. Abmessen

Die Ausgangsstoffe sollen möglichst gewichtsmäßig zugegeben werden. In Tafel 2 der Richtlinien sind die Gewichtsmengen für Zement, Zuschlagstoff und Zugabewasser für Mischergößen von 100 l, 200 l und 500 l angegeben.

Man wird zweckmäßig auch bei gesacktem Zement, soweit die Zementmenge je Mischung nicht vollen Säcken (50 kg) entspricht, Teilmengen in besonderen Behältern abwägen oder die Säcke teilen. Befindet sich über Tag in Schachtnähe ein Zementsilo, so wird der für eine Mischung erforderliche Zement jeweils in ein Gefäß abgewogen, z. B. in Plastikbehälter. Dadurch können auch die sonst auf dem Wege zur Einbaustelle möglichen Beschädigungen von Säcken und Zementverluste vermieden werden.

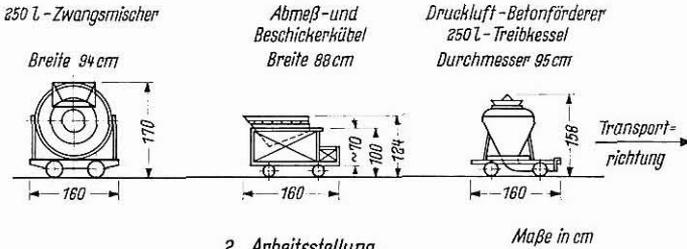
Das Zugabewasser wird über geeichte Durchlaufmesser oder aus Meßgefäßen zugesetzt. Bei stark schwankendem oder von dem in Tafel 2 der Richtlinien abweichenden Wassergehalt des Zuschlags ist es zweckmäßig, bei den einzelnen Mischungen nach und nach soviel Zugabewasser in den Mischer zu geben, bis die vorgesehene Konsistenz (z. B. K2 für die Mischungen in Tafel 2 der Richtlinien) erreicht ist. Denn es wird unter Tage selten möglich sein, einen sich verändernden Wassergehalt des Zuschlags laufend zu bestimmen und das Zugabewasser entsprechend abzustimmen. Andererseits sind aber bei längerer geschützter Lagerung der Zuschläge keine größeren Schwankungen der Feuchtigkeit zu erwarten.

Zuschlagstoffe können über einen Beschickerkübel, der gleichzeitig als Waage dient, oder über eine Bandwaage abgewogen werden. Es ist auch möglich, die Zuschlagstoffe schon über Tag abzuwiegen und jeweils für eine Mischerfüllung in Förderwagen zu geben.

Die raummäßige Zugabe der Zuschlagstoffe ist mehr Schwankungen unterworfen als die Zugabe nach Gewicht. Die raummäßige Zugabe kann mit einem geeichten Beschickerkübel, in

dem Füllmarken angebracht sind, oder mit anderen geeichten Gefäßen, z. B. einem Behälter über dem Förderband wie in Bild 4, vorgenommen werden. Im ersten Fall kann der Beschicker (Aufzugkübel der Mischmaschine) auch mit Hilfe eines Schrapfers nach Bild 5 gefüllt werden.

### 1. Transportstellung



### 2. Arbeitsstellung

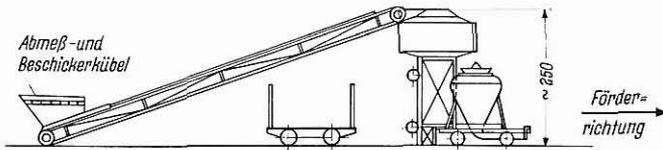


Bild 4 Betonierzug bestehend aus Abmeß- und Beschickerkübel, 250 l-Zwangsmischer und Treibkessel in Transport- und Arbeitsstellung (Fa. Herzbruch & Söhne, Bergwerksunternehmer)

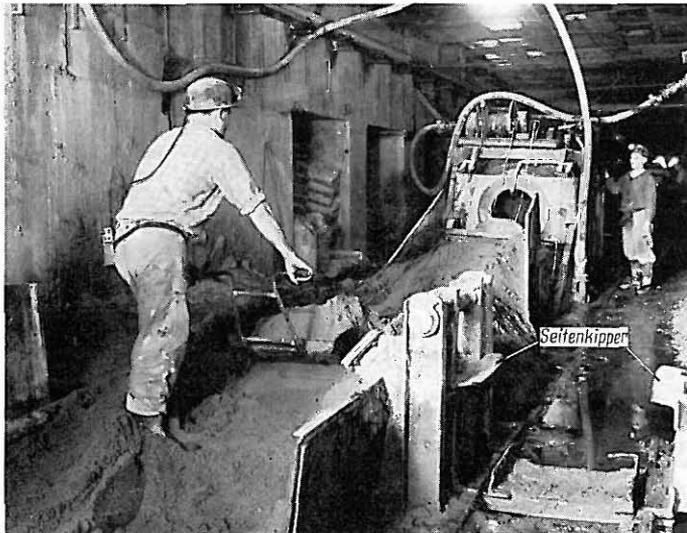


Bild 5 Betonieranlage unter Tage mit Schrapper und Seitenkipper für das Nachfüllen des Zuschlags aus Förderwagen (Werkfoto: Zeche Friedrich Heinrich)

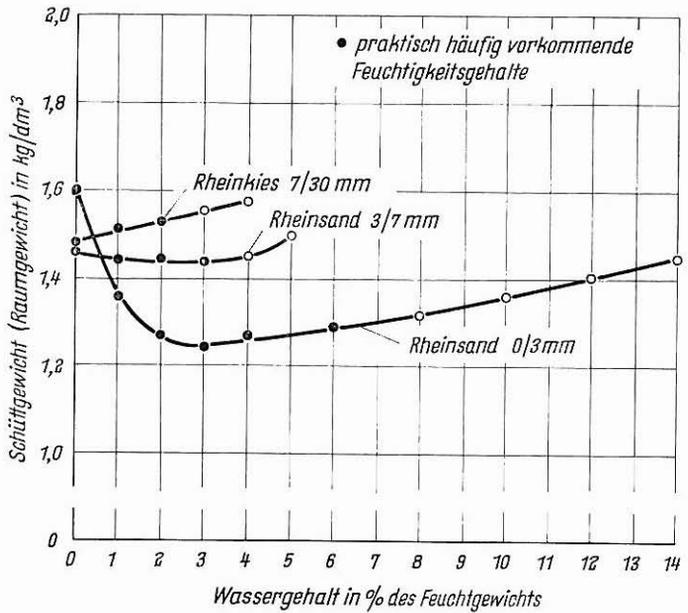


Bild 6 Einfluß des Wassergehalts in Rheinsand 0/3 mm sowie in den Korngruppen 3/7 mm und 7/30 mm auf deren Schüttdichte (Raumgewicht) [12]

Beim raummäßigen Zuteilen von Sand oder Kiessand hängt das Schüttdichte und damit das Gewicht des abgemessenen Zuschlags von der Art des Einfüllens und vom Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlags ab. Bei sandfreien Korngruppen (z. B. 7/30 mm) sind diese Einflüsse vernachlässigbar klein. Wie stark jedoch das Schüttdichte des Sandes 0/3 mm durch wechselnden Feuchtigkeitsgehalt verändert wird, geht aus Bild 6 hervor [12]. Gegenüber trockenem Sand mit einer Schüttdichte von rd. 1,6 kg/dm<sup>3</sup> fällt feuchter Sand beim Schütten stark aufgelockert und weist nur noch eine Schüttdichte von etwas über 1,2 kg/dm<sup>3</sup> auf. Der Wassergehalt von feuchtem Sand liegt im allgemeinen zwischen 2 und 6%. Sofern man die Abmeßgefäße stets durch gleichmäßiges Schütten füllt, sind daher weitgehend gleichbleibende Verhältnisse zu erwarten, wenn der Sand immer „lagerfeucht“ (mäßig feucht) bleibt. Wird gelegentlich sehr nasser Sand geliefert, so soll er im Vorrat längere Zeit ablagern, damit das überschüssige Wasser sich absetzen kann; sollte zwischendurch trockener Sand geliefert werden, so ist die größere Schüttdichte zu berücksichtigen<sup>2)</sup> oder Sand und Kiessand sind vor dem Abmessen nach Raummaß mäßig anzufeuchten.

<sup>2)</sup> Die Raummengen in Tafel 2 der Richtlinien sind aus den Gewichten des Sandes 0/7 mm mit einem Schüttdichte von 1,4 kg/dm<sup>3</sup> und des Kiessandes 0/30 mm von 1,6 kg/dm<sup>3</sup> errechnet.

## 5. Mischen

Als Mischmaschinen sind wegen der besseren Durchmischung des Betons Zwangsmischer zu bevorzugen. Ihre Größe richtet sich nach der erforderlichen Leistung. Mit dem 100 l-Mischer können etwa 2 bis 2,5 m<sup>3</sup> Beton je Stunde hergestellt werden. In den Richtlinien sind in Abschnitt 5.1 gebräuchliche Mischertypen aufgeführt. Abweichungen sind hiervon möglich, wenn die äußeren Abmessungen der Mischer dem Querschnitt der Blindschächte entsprechen. Für ortsfeste Anlagen sind auch andere Abmessungen möglich, da der einmalige Transport nach unter Tage eine weitergehende Zerlegung rechtfertigt.

Da bei schwankender Eigenfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe die Menge des Zugabewassers für die einzelnen Mischungen am einfachsten auf die notwendige Konsistenz abgestimmt wird, siehe Abschnitt 4, muß die Mischmaschine von einem zuverlässigen Mann bedient werden.

## 6. Transportbeton

Transportbeton [10, 13] ist besonders dort angebracht, wo die größeren Betonmengen der Lieferfahrzeuge zügig verarbeitet werden können und die Anfahrtswege nicht zu lang sind. Dieser Beton ist vorteilhaft, weil er gleichbleibend beschaffen ist und keine Vorratslager für die Ausgangsstoffe und Mischanlagen erfordert.

Transportbeton wird in einbaufertigem Zustand am Schacht übergeben. Der Abnehmer muß sich versichern, daß der Beton die bestellten Eigenschaften (auf alle Fälle Konsistenz und Güte des Betons) aufweist [14]. Für Veränderungen des Betons nach der Übergabe ist die Zeche selbst verantwortlich. Bei der Bestellung ist aufzugeben (entsprechend Tafel 1 der Richtlinien): Güteklasse des Betons (B 160 oder B 300), Größtkorn des Zuschlaggemisches (7, 15 oder 30 mm) und Konsistenzgrad des Betons (K 2). Sondereigenschaften, z. B. erhöhte chemische Widerstandsfähigkeit, Wasserundurchlässigkeit, verzögertes Erstarren, sind besonders zu vereinbaren [10, 13].

## 7. Fördern des Betons

Für die Beförderung unter Tage zwischen Übergabe- und Einbaustelle eignen sich mehrere Transportverfahren. Die Auswahl richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen, z. B. Lage der Übergabe- und Einbaustelle, Entfernung, Höhenunterschied, und nach der zu fördernden Betonmenge.

Beton für den Grubenausbau mit der Konsistenz K 2 kann in Förderwagen an die Einbaustelle gefahren oder auf dem Band oder in Rohrleitungen dorthin gefördert werden.

Ein Förderband bedarf wenig Wartung und eignet sich besonders zum Betonieren von Sohlen, Pfeilern und anderen massigen Bauteilen, wenn der Mischer unmittelbar an der Einbaustelle steht. Beim Abstürzen des Betons (am Ende des Förderbandes) ist darauf zu achten, daß der Beton möglichst nicht tiefer als 1 Meter

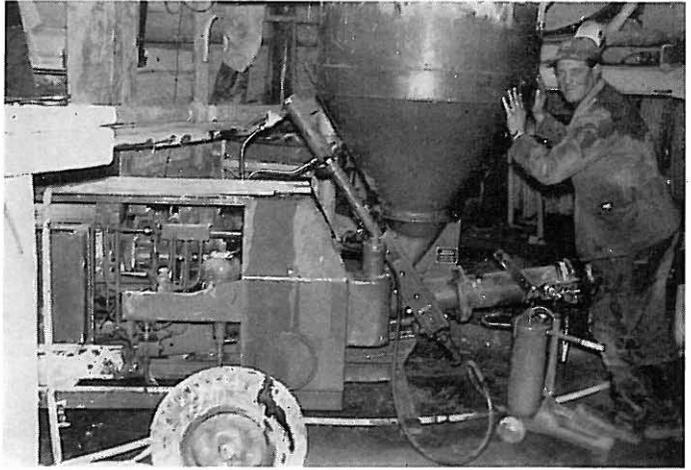


Bild 7 Hydraulisch angetriebene Betonpumpe im Tunnelbau; stündliche Förderleistung bis zu 6 m<sup>3</sup> (Typ PT 6 der Fa. Torkret GmbH)

fällt und sich keine Schüttkegel bilden, da sich der Beton sonst entmischt. Er muß daher laufend verzogen und verteilt werden.

Schläuche für die Beton- oder Mörtelförderung mittels Druckluft werden zusammen mit den auch für Spritzbeton (Mörtel und Beton) üblichen Füllkesseln mit Schleuse verwendet. Diese Förderart eignet sich besonders zum Betonieren an schwer zugänglichen Stellen, wie z.B. zum Hinterfüllen von Verzugplatten und Ausbetonieren der Firste in Strecken. Die Leistung liegt etwa bei 1,5 bis 2 m<sup>3</sup>/h.

In Rohren mit Durchmessern von 125 bis 204 mm kann plastischer bis weicher Beton durch Pumpen (siehe Bild 7) oder pneumatisch (siehe Bild 8) gefördert werden. Die Betonpumpe



Bild 8 Pneumatischer Betonförderer (Typ 703 der Fa. Beton-Spritzmaschinen GmbH & Co) auf einem Grubenfahrzeuggestell [15]

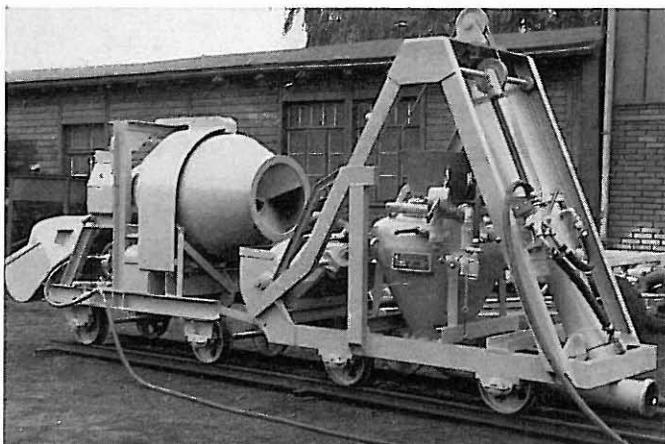


Bild 9 Betonierzug bestehend aus 100 l-Mischer mit Beschicker und 150 l-Treibkessel; alle Geräte mit Druckluft betrieben (Fa. F. W. Schwing GmbH)

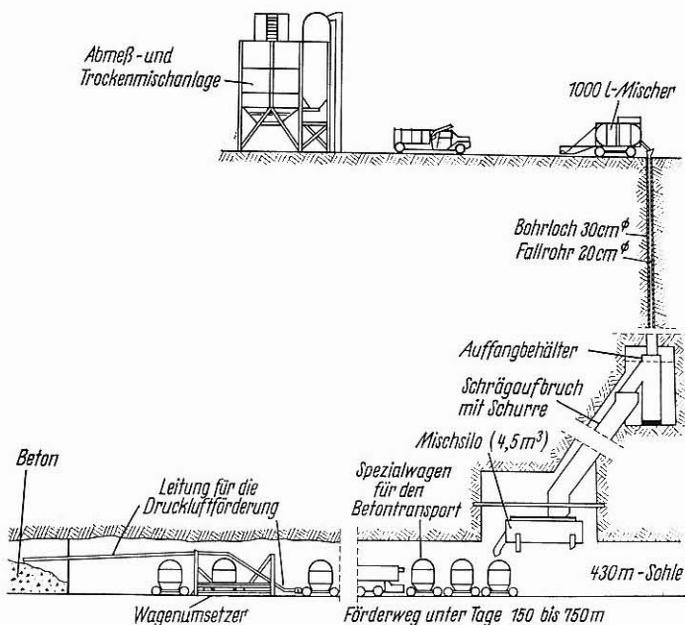


Bild 10 Förderung des Betons von einer Mischanlage über Tag bis hinter die Schalung in der Strecke [16]

[15] hat den Vorteil, daß der Beton langsam und kontinuierlich am Rohrende austritt. Ein Nachteil ist die notwendige Entleerung und Reinigung vor längerer Pause, was nur mit Druckluft oder Wasser möglich ist. Auch bei der pneumatischen Förderung kann man erreichen, daß der Beton langsam und stetig austritt, wenn man den Treibkessel nie vollständig entleert. Der Druck im Treibkessel beträgt je nach Konsistenz des Betons, Förderweite und Fördergeschwindigkeit 2 bis 6 atü. Für die pneumatische Förderung unter Tage stehen besondere Gerätesätze zur Verfügung, siehe Bild 9. Beide Fördermittel – Betonpumpe und pneumatische Anlage mit Treibkessel – erfordern erfahrene Maschinisten.

Eine teilweise Förderung des Betons in Fallrohrleitungen, z. B. auf eine tiefergelegene Sohle oder von über Tag, findet auch in Deutschland immer mehr Verbreitung. Untersuchungen [16] haben gezeigt, daß die Betongüte bei entsprechender Betonzusammensetzung bei dieser Förderung erhalten bleibt. Bild 10 zeigt eine Möglichkeit, wie der Beton von über Tag an die Einbaustelle auf einer Sohle gelangt.

## 8. Einbringen und Verdichten des Betons

Beim Einbringen des Betons ist darauf zu achten, daß er sich nicht entmischt (keine Absonderung von Zementleim oder Kies). Beim Schütten soll der Beton deshalb möglichst gegen die nicht zu hohe Böschung der Schüttlage treffen, was bei größeren Fallhöhen zweckmäßig mittels weiter Schläuche oder Hosenrohre gemäß Bild 11 geschieht [17].

Die mit einer bestimmten Mischungszusammensetzung angestrebte Betongüte erhält man nur dann, wenn der Beton vollständig ver-

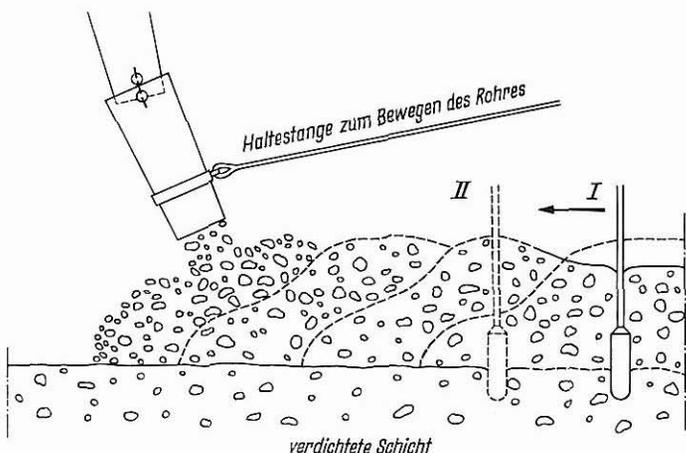


Bild 11 Schütten des Betons gegen die Böschung (Vermeiden von Entmischungen); Verdichten durch Einsetzen des Innenrüttlers in Richtung I . . . II in genügendem Abstand von der Schüttböschung [17]



Bild 12 Prebluft-Innenrüttler (Typ NM 70; Fa. Netter)

dichtet wird. Das wird am zuverlässigsten durch Rüttelverdichtung erreicht. Je nach Bauteil und Abmessung kann man mit Prebluft angetriebene Innenrüttler nach Bild 12, Schalungsrüttler nach Bild 13 oder Oberflächenrüttler nach Bild 14 verwenden. Allgemein muß der Beton gerüttelt werden, solange er beim Rütteln noch beweglich wird.

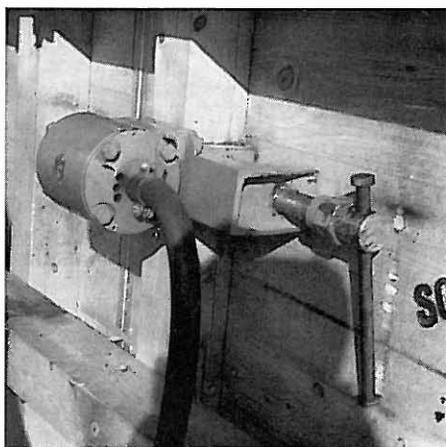


Bild 13  
Prebluft-Schalungs-  
rüttler mit Schnell-  
spannvorrichtung  
(Typ AS 650;  
Fa. Netter)



Bild 14 Preßluft-Rüttelbohle (Typ VG 350; Fa. Netter)

Der Innenrüttler ist das vielseitigste Verdichtungsgerät, da man mit ihm bei schräger Einführung sowohl flache Schüttungen ab 20 cm Dicke als auch aufgehende Bauteile verdichten kann. Das richtige Einsetzen der Rüttelflasche geht aus Bild 11 und Bild 15 hervor [17]. Beim Innenrüttler muß sich der Beton hinter dem Rüttler beim Herausziehen schließen. Ein schädigender Einfluß aus der Rüttelwirkung auf den bereits erstarrenden Beton wurde nicht beobachtet [17].

Oberflächenrüttler, z. B. Rüttelbohlen oder Rüttelplatten, werden wegen ihrer beschränkten Tiefenwirkung für Schütthöhen bis 20 cm Dicke verwendet.

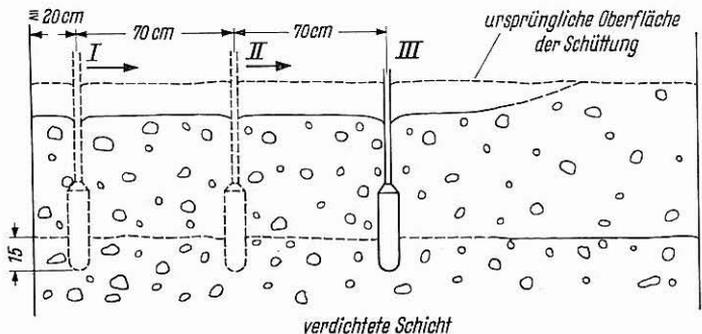


Bild 15 Richtiges Einsetzen der Rüttelflasche; gleichmäßiger Abstand der Einstellstellen; senkrecht einführen rd. 15 cm tief in die untere verdichtete Schicht [17]

Schalungsrüttler, deren Fuß fest mit der Schalung verbunden wird, eignen sich bei schwer zugänglichen Schalungsräumen, in die man keine Innenrüttler einführen kann (unter sonst gleichen Umständen können auch Drucklufthämmer verwendet werden).

## 9. Nachbehandlung des Betons

Beton, der frühzeitig austrocknet, wird in seiner Festigkeitsentwicklung unterbrochen, weil das für die Hydratation des Zements notwendige Wasser entzogen wird. Die Erhärtung des Zements beruht auf seiner chemischen Umsetzung mit dem Wasser zu Neubildungen. Je größer der Anteil des Anmachwassers ist, der in den Neubildungen im Laufe der Zeit gebunden wird, desto fester und dichter wird der Beton. Diese Hydratation setzt sich in Gegenwart von Wasser über lange Zeit fort, bis der ganze Zement hydratisiert ist. In jungem Alter (auch nach 28 Tagen, der üblichen Zeit, nach der die Festigkeit des Betons beurteilt wird) ist je nach Erhärtungsgeschwindigkeit der einzelnen Zemente erst ein mehr oder weniger hoher Anteil des Zements hydratisiert (siehe Tafel 1). Man soll daher möglichst verhindern, daß der Beton – insbesondere aus langsamer erhärtenden Zementen – in jungem Alter scharf austrocknet. In Bild 16 ist die Festigkeitsentwicklung für Beton bei unterschiedlicher Lagerung wiedergegeben [18].

In nicht zu trockener oder nicht stark bewegter Luft wird ein störendes Austrocknen schon durch wiederholtes Besprühen mit Wasser weitgehend unterbunden. Schwieriger ist eine direkte Feuchthaltung des Betons in Grubenräumen mit starker Wetter-

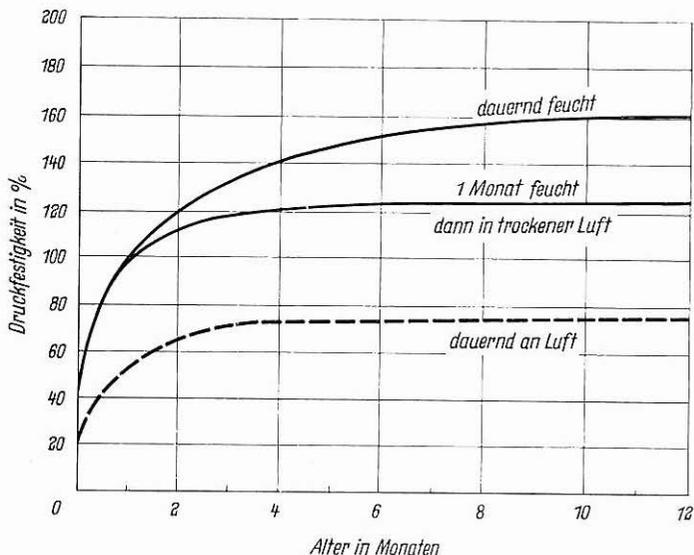


Bild 16 Festigkeitsentwicklung des Betons bei verschiedenartiger Lagerung [18]

führung; hier ist die Betonoberfläche meist besonders rascher Trocknung ausgesetzt. Das damit verbundene Schwinden des Betons kann in den Bauteilen zu Rissen führen. Man kann den Beton vor raschem Austrocknen in einfacher Weise dadurch schützen, daß man sofort nach dem Entschalen einen sogenannten Nachbehandlungsfilm aufsprüht. Für solche Nachbehandlungsfilme bestehen Prüfrichtlinien, siehe [19]. Unter Tage müssen lösungsmittelfreie Nachbehandlungsmittel benutzt werden.

## 10. Prüfung und Überwachung

Eine Anleitung für die Eignungsprüfung, für die Überwachung der Ausgangsstoffe und des Betons auf der Baustelle bieten die „Leitsätze für die Bauüberwachung im Beton- und Stahlbetonbau“ [4]. Bei Eignungsprüfungen, die zur Beurteilung von Verzögerern und Beschleunigern<sup>3)</sup> oder von zweifelhaftem Anmachwasser vor Bau-

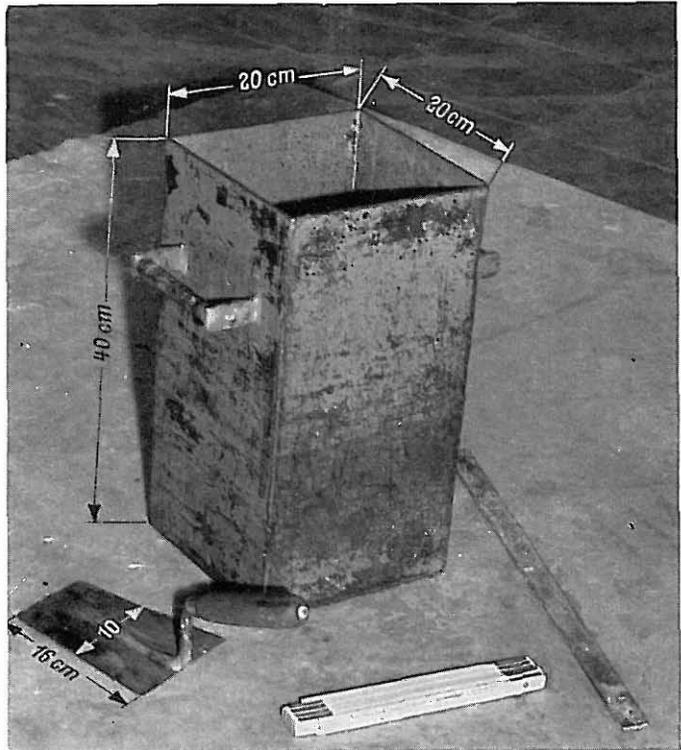


Bild 17 Geräte zur Bestimmung des Verdichtungsmaßes  $v$  [11]

<sup>3)</sup> Siehe auch Anhang zu den „Vorläufigen Richtlinien für die Prüfung von Betonzusatzmitteln zur Erteilung von Prüfzeichen“ [8]



Bild 18 Füllen des Behälters zur Bestimmung des Verdichtungsmaßes  $v$  [11]

beginn durchzuführen sind, soll der Beton möglichst auch bei der später unter Tage vorhandenen Temperatur angemacht werden und lagern, falls sie sich von der üblichen Laboratoriumstemperatur wesentlich unterscheidet. Dagegen sollen die Probewürfel für die Güteprüfung dauernd bei 15 bis 22 °C lagern, und zwar in den ersten 7 Tagen in nassem Sand, unter nassen Säcken oder unter Wasser und anschließend bis zur Prüfung im Alter von 28 Tagen in Raumlufte (siehe DIN 1048 „Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton“).

Die Güteprüfung (Herstellung und Prüfung von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge) dient dem Nachweis für die richtige Zusammen-

setzung des eingebauten Betons. Zur Herstellung der Probewürfel wird die entsprechende Betonmenge den Mischungen vor dem Einbau entnommen.

In Abschnitt 3 wurde zur Überwachung der Konsistenz das Verdichtungsmaß  $v$  vorgeschlagen [11]. Bei dessen Bestimmung wird ein dichter Blechbehälter von 40 cm Höhe und 20 cm x 20 cm Querschnitt (Bild 17) mit dem vorher gut durchgemischten Beton durch loses Einschütten gefüllt. Dazu wird der Beton von einer voll beladenen, trapezförmigen Kelle (Blatt rd. 16 cm x 10 cm) vom Rand des Gefäßes aus über eine Längskante der Kelle in die Form gekippt (Bild 18). Das Abkippen erfolgt reihum von den einzelnen Kanten aus, bis der Behälter gefüllt ist. Der überstehende Beton wird ohne Erschütterung oder Verdichtung abgestrichen. Anschließend wird die Füllung durch ausgiebiges Stampfen oder Rütteln vollständig verdichtet. Die Höhe der verdichteten Füllung ( $h$ ) wird an mehreren Stellen durch Abstich gemessen. Das Verdichtungsmaß beträgt dann  $v = 40 : h$ . Ein kleineres Verdichtungsmaß zeigt an, daß eine Mischung beweglicher, in der Regel also wasserreicher, geworden ist.

### **Schlußbemerkung**

Die Richtlinien für Beton im Grubenausbau enthalten in gedrängter Form die auf die Anforderungen und Bedingungen unter Tage abgestimmten wichtigsten Erfahrungen und Regeln der Betontechnik. Sie sollen den Zechen helfen, einen für unter Tage geeigneten Beton besonders wirtschaftlich herzustellen. In den Erläuterungen sollen darüber hinaus dem mit der Betontechnik weniger vertrauten Bergmann einige Grundlagen vermittelt werden, die zum Verständnis der Festlegungen in den Richtlinien beitragen. Aus diesem Grunde sind auch die allgemein im Betonbau geltenden Bestimmungen, Normen, Richtlinien, Merkblätter sowie noch weitergehende Veröffentlichungen angezogen worden.

### **SCHRIFTTUM :**

- [1] Schaefer, W.: Grundlagen des Betonformsteinausbaus. Glückauf 96 (1960) H. 18, S. 1117/1135.
- [2] Locher, F. W., und H. Pisters: Beurteilung betonangreifender Wässer. Zement-Kalk-Gips 17 (1964) H. 4, S. 129/136.
- [3] Bonzel, J.: Beurteilungsgrundsätze und technologische Maßnahmen für Beton in angreifenden Wässern. Betonstein-Zeitung 29 (1963) H. 11, S. 633/636.
- [4] Leitsätze für die Bauüberwachung im Beton- und Stahlbetonbau. 11. Aufl., Deutscher Beton-Verein, Wiesbaden 1962.
- [5] Formblätter zur Betonherstellung, Nr. AB 1: Prüfen der Zuschlagstoffe. Beton-Verlag, Düsseldorf 1964.

- [6] Werkgemischter Betonkiessand; Vorläufige Richtlinien für die Herstellung und Lieferung (Fassung April 1961); siehe Wedler, B.: Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton; Ergänzungen und Erläuterungen zur 7. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München 1963, S. 27/30.
- [7] Walz, K.: Die Beurteilung der Zuschlagstoffe für Beton. Baumarkt 37 (1938) H. 7, S. 173/174; H. 8, S. 206/207; H. 11, S. 314; H. 12, S. 350.
- [8] Vorläufige Richtlinien für die Prüfung von Betonzusatzmitteln zur Erteilung von Prüfzeichen, Fassung Januar 1965. Betonstein-Zeitung 31 (1965) H. 2, S. 59/61; ebenso Bauwirtschaft 19 (1965) H. 6, S. 149/151.
- [9] Walz, K.: Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften. Beton- und Stahlbetonbau 53 (1958) H. 6, S. 163/169. — Sonderdruck Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München 1963.
- [10] Vorläufige Richtlinien für die Herstellung und Lieferung von Transportbeton; siehe Wedler, B.: Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton; Ergänzungen und Erläuterungen zur 7. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München 1963, S. 31/38.
- [11] Walz, K.: Kennzeichnung der Betonkonsistenz durch das Verdichtungsmaß v. beton 14 (1964) H. 11, S. 505/509; ebenso Betontechnische Berichte 1964. Beton-Verlag, Düsseldorf 1965, S. 207/218.
- [12] Walz, K.: Die Beeinflussung der Betongüte, insbesondere durch die Herstellung und Verarbeitung. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe A, H. 4, S. 2/12; Otto Eisner Verlagsgesellschaft, Berlin 1942.
- [13] Wischers, G.: Herstellung und Verwendung von Transportbeton. Zement-Taschenbuch 1964/65. Bauverlag, Wiesbaden 1963, S. 347/369.
- [14] Formblätter zur Betonherstellung, Nr. AB 3: Betonüberwachung. Beton-Verlag, Düsseldorf 1964.
- [15] Weber, R.: Rohrförderung von Beton. Beton-Verlag, Düsseldorf 1963.
- [16] Dahms, J.: Betonförderung durch lange Fallrohrleitungen im Schachtbau. beton 12 (1962) H. 12, S. 565/570; ebenso Betontechnische Berichte 1962. Beton-Verlag, Düsseldorf 1963, S. 177/190.
- [17] Walz, K.: Rüttelbeton. 3. Aufl., Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1960.
- [18] Walz, K.: Grundlagen der Betontechnologie (Beiheft zum gleichnamigen Lehrfilm des Instituts für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht, Zweigstelle Berlin). 5. Aufl., Beton-Verlag, Düsseldorf 1964.
- [19] Vorläufiges Merkblatt für die Prüfung und Beurteilung von flüssigen Nachbehandlungsmitteln für Straßenbeton, Fassung Februar 1963. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V., Köln 1963.