

Betonförderung durch lange Fallrohrleitungen im Schachtbau

Von Jürgen Dahms, Düsseldorf

Übersicht

Der über Tag gemischte Beton wird in einem senkrechten Stahlrohr von 15 bis 20 cm Durchmesser bis zu beliebiger Teufe abgestürzt. Nach Einführung dieses Verfahrens konnte im Kohlenbergbau von Kriwoj Rog (UdSSR) die Schichtleistung beim Schachtausbau um das 2,5- bis 3fache gesteigert werden.

Der Beton fällt anfänglich mit ungleichmäßiger Beschleunigung, später mit gleichbleibender Fallgeschwindigkeit. Um Entmischung zu vermeiden, soll die Korngröße des Zuschlags nicht über 30 mm reichen. Weicher, zusammenhängender Beton mit einem Ausbreitmaß von 40 bis 50 cm läßt sich dann in Rohren von 15 bis 20 cm Durchmesser ohne Schwierigkeit abstürzen.

In den USA wurde der Beton auch zum Ausbau von Gesteinstrecken in gesondert hergestellten Bohrlöchern von 30 cm Durchmesser und darin verlegten Stahlrohren von 20 cm Durchmesser abgestürzt.

1. Einleitung

Bei Schachtneubauten oder Schachtweiterteufungen wird heute für verschiedene Ausbauarten Beton verwendet: als Hinterfüllung beim Tübbingschacht, als selbständiger Stahlbetonmantel, als Füllung beim doppelwandigen Stahl-Beton-Verbundschacht oder in Form von Betonfertigteilen. In den meisten Fällen muß dieser Beton hohe Festigkeit und Wasserundurchlässigkeit aufweisen und dementsprechend zusammengesetzt sein. Durch eine zweckentsprechende Zusammensetzung muß auch dazu beigetragen werden, daß auf dem Wege von der Mischmaschine bis an die Einbaustelle der Beton nicht wesentlich steifer wird oder sich entmischt. Bei den langen Transportwegen im Bergbau können sich hierbei Schwierigkeiten ergeben.

Bis vor wenigen Jahren wurde der Beton nach unter Tage ausschließlich durch Kübel gefördert. Abgesehen davon, daß die Kübelförderung des Betons die Leistung der übrigen Förderung verminderte, mußte der Beton an der Einbaustelle oft noch einmal durchmischt werden, da er sich entmischte.

Neuerdings konnten diese Schwierigkeiten durch Abstürzen des Betons in Fallrohrleitungen umgangen werden. Auf dieses Verfahren wurde in Deutschland von A. Meyer und M. H. Thompson an Hand von Erfahrungen im südafrikanischen Bergbau hingewiesen [1]. Aus Veröffentlichungen aus Südafrika [1, 2], England [3], den USA [4, 5] und aus Rußland [6, 7, 8, 9] ist bekannt geworden, daß sich diese Betonförderung allgemein bewährt hat.

Bei einigen Schachtneubauten und Schachtweitertiefungen ist man jetzt auch in Deutschland z.T. dazu übergegangen, den Beton in Fallrohrleitungen abzustürzen. Als Bedenken gegen dieses Verfahren werden ab und zu noch die Möglichkeiten des Entmischens und des Versteifens des Betons sowie der Verstopfung der Fallrohrleitung vorgebracht.

Im folgenden sollen nach ausländischen Arbeiten und einigen Untersuchungen, an denen das Forschungsinstitut der Zementindustrie beteiligt war, die Verhältnisse beim Abstürzen und die arbeitstechnischen Vor- und Nachteile erläutert werden.

2. Abstürzen in Fallrohren

Von der über Tag – möglichst in Schachtnähe – liegenden Mischanlage gelangt der Beton über ein Förderband, eine Rinne oder eine Betonpumpe in den Vorratstrichter oberhalb des Fallrohres und bei Öffnen des Verschlusses in das Fallrohr. (Der Beton kann auch kontinuierlich abgestürzt werden.) Das lotrecht stehende Stahlrohr von etwa 15 bis 20 cm Durchmesser soll möglichst fest durch Konsolen und Halterungen mit der Schachtwand verbunden sein. Bereits geringe Abweichungen von einem lotrechten Verlauf bewirken einen raschen Verschleiß. Die Fallrohrleitung kann praktisch beliebig lang sein. Im südafrikanischen Goldbergbau sind schon Leitungen bis in 1760 m Teufe verlegt worden [2]. Am unteren Ende der Fallrohrleitung stürzt der Beton in einen Auffangbehälter, der auch dem Wiedervermischen dient. Aus einem Überlauf fließt der Beton in einer Rinne oder einem Rohr an die Einbaustelle. Es ist jedoch auch möglich – wie es besonders in Rußland geschieht –, daß der Beton mit Hilfe eines schwenkbaren Endstückes der Fallrohrleitung (also ohne Auffangbehälter) direkt hinter die Schalung an die Einbaustelle gestürzt wird. Die Energie des aufschlagenden Betons muß dann von dem schrägen Rohrarm und dem bereits in der Schalung befindlichen Beton, der Schalung und dem Gebirge bzw. dem vorläufigen Ausbau aufgenommen werden.

2.1 Fallvorgang

Der abstürzende Beton wird durch die Anziehungskraft der Erde beschleunigt. Als Gegenkräfte wirken der Luftwiderstand und die Wandreibung. Da die Luft im Rohr sich vor dem abstürzenden Beton verdichtet und da der Luftwiderstand mit steigender Fallgeschwindigkeit so lange anwächst, bis er die Beschleunigung aufwiegt, bleibt von diesem Zeitpunkt an die Fallgeschwindigkeit gleich. Mit dieser Annahme hat J. Z. Zaslavskij [8] den Fallvorgang der Betonmischung untersucht.

Der Weg, den der Beton in einem Rohr der Länge L_1 während der Fallzeit t_1 beim Abstürzen zurücklegt, setzt sich zusammen aus der Strecke L_b mit etwa gleichmäßig beschleunigtem Fall während der Zeit t_b und der Strecke L_k mit gleichbleibender Fallgeschwindigkeit V_k während der Zeit $(t_1 - t_b)$. Bei einer Anfangsgeschwindigkeit $V_0 = 0$ ergibt sich für

$$V_k = \frac{2L_1}{2t_1 - t_b} \quad (1)$$

Bei einem zweiten Rohr der Länge L_2 betrage die gesamte Fallzeit t_2 (L_b , t_b und V_k bleiben dabei unverändert). Daher gilt analog

$$V_k = \frac{2L_2}{2t_2 - t_b} \quad (2)$$

$$t_b = \frac{2(L_2 \cdot t_1 - L_1 \cdot t_2)}{L_2 - L_1} \quad (3)$$

$$V_k = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$L_b = \frac{L_2 \cdot t_1 - L_1 \cdot t_2}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

Die für die Praxis wichtigen Werte t_b , V_k und L_b lassen sich aus den Gleichungen (3) bis (5) errechnen, wenn die Fallzeiten t_1 und t_2 von mindestens 2 Rohren L_1 und L_2 durch Versuch einmal bestimmt worden sind.

Zaslavskij beschreibt solche Versuche, die auf der Grube Lenin 1959 mit Rohren von 150 mm ϕ und von 354, 416 und 485 m Länge durchgeführt wurden (je etwa 65 m Längenunterschied). Der Wasserzementwert des Betons lag zwischen 0,55 und 0,60, und das Setzmaß betrug 9 bis 11 cm (weicher Beton). Als Grobzuschlag wurden Granit, Eisenquarzit und Hochofenschlacke in der Korngruppe 5/50 mm verwendet. Die Fallzeiten in Abhängigkeit von der Art und Zusammensetzung der Grobzuschlagsstoffe lagen bei den einzelnen Rohrlängen dicht zusammen (Streubereich etwa $\pm 0,5$ sek). Aus allen Betonen fanden sich als Fallzeiten im Mittel

11,8 sek für 354 m,
13,6 sek für 416 m,
15,6 sek für 485 m (siehe Tafel 1).

Die Differenz der Rohrlängen betrug jeweils etwa 65 m und der Unterschied der Fallzeiten etwa 2 sek, daraus ist zu folgern, daß die Geschwindigkeit im unteren Teil der Rohre gleichförmig war und 30 bis 35 m/s betrug. Tafel 2 enthält die rechnerische Auswertung der Versuche. Eine gleichförmige Geschwindigkeit stellte sich hier im Mittel nach 61 m ein und betrug im Mittel 35 m/s (kleinste Strecke $L_b = 50,3$ m für Eisenquarzit 5/20 mm und größte 67,8 m für Granit 20/40 mm). Die Fallzeit mit be-

Tafel 1 Versuche über die Falldauer von Beton mit verschiedenem Grobzuschlag in drei Rohrleitungen [8]

Art und Korngröße des Grobzuschlags		Falldauer einer Probe in sek bei einer Länge der Rohrleitung von		
		354 m	416 m	485 m
Granit	20 . . . 40 mm	11,9	13,7	15,6
Granit	5 . . . 20 mm	12,0	13,7	15,8
Eisenquarzit	5 . . . 20 mm	11,3	13,0	15,0
Hochofenschlacke	5 . . . 50 mm	12,2	14,0	16,0
Mittel		11,8	13,6	15,6

Tafel 2 Errechnete Fallstrecke L_b und Fallzeit t_b bis zum Erreichen der gleichbleibenden Fallgeschwindigkeit V_k nach den Versuchsergebnissen der Tafel 1 [8]

Grobzuschlag	L_b in m	t_b in sek	V_k in m/s
Granit 20 ... 40 mm	67,8	3,8	35,4
Granit 5 ... 20 mm	59,0	3,4	34,6
Eisenquarzit 5 ... 20 mm	50,3	2,5	35,4
Hochofenschlacke 5 ... 50 mm	67,3	3,9	34,5
Mittel	61,1	3,4	35,0

schleunigter Bewegung betrug etwa 3,4 sek. Die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit ist in Bild 1 schematisch dargestellt.

Somit ergibt sich, daß der Weg, den der Beton bis zum Erreichen der gleichförmigen Geschwindigkeit in einem Rohr von 150 mm Durchmesser zurücklegt, etwa 60 m beträgt. Zaslavskij folgert daraus, daß unter Berücksichtigung geringer Meßfehler oder der vereinfachenden Annahmen die Beschleunigungsstrecke nicht über 100 m liegen dürfte.

Das bedeutet, daß von dieser Falltiefe an der Beton unten immer mit der gleichen Endgeschwindigkeit austritt, also unabhängig davon, wie tief er dann noch in der Rohrleitung fällt, ob 100 m oder 1000 m.

2.2 Entmischen

Der Beton, der über den Einfülltrichter in Chargen oder kontinuierlich in die Fallrohrleitung eingefüllt wird, soll möglichst

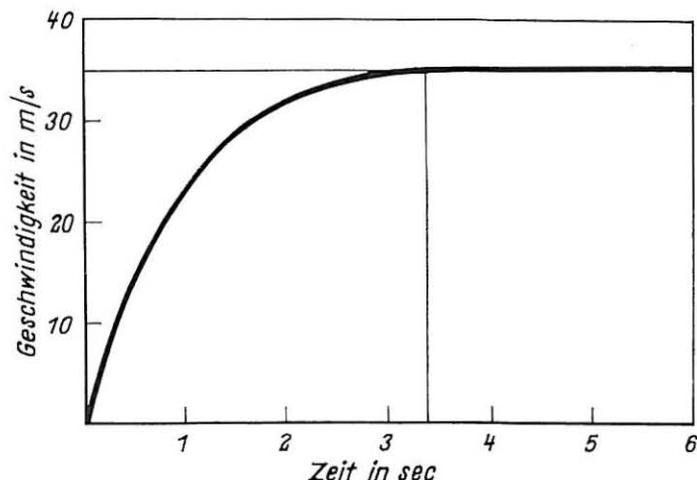


Bild 1 Beziehung zwischen Fallzeit und Fallgeschwindigkeit einer Betonmischung in einer Rohrleitung von 150 mm Durchmesser; nach J. Z. Zaslavskij [8]

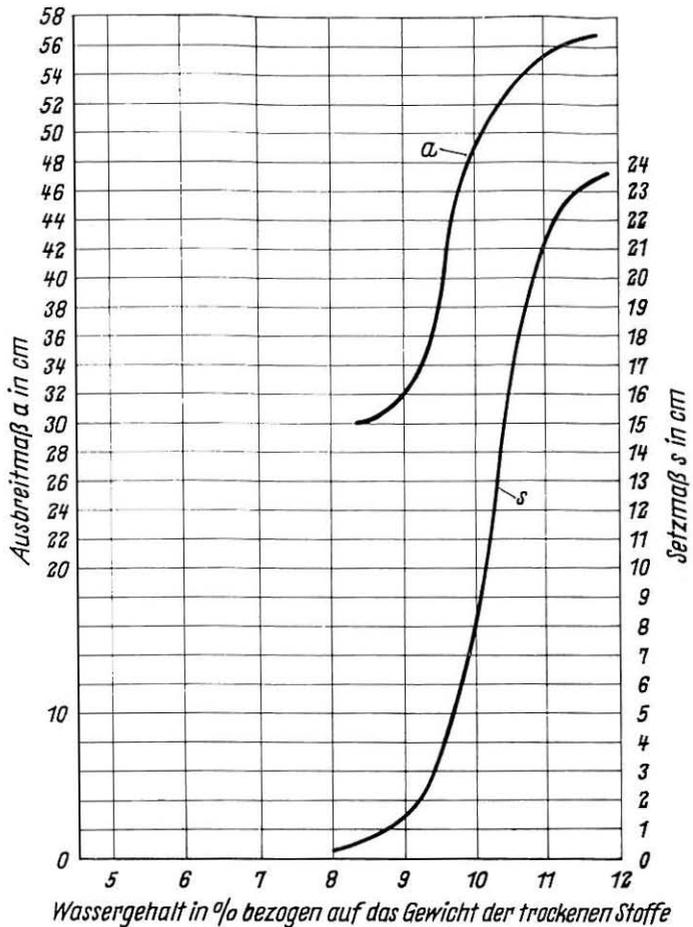


Bild 2 Setzmaß s und Ausbreitmaß a für Beton gleichen Wassergehalts. Beton aus rd. 240 . . . 300 kg Zement je m^3 und Kiessand mit einer Kornzusammensetzung im Bereich der Sieblinien D und E; nach K. Walz [10]

unverändert unten aufgefangen werden. Die unterschiedlichen Rohdichten von Zuschlag und Zementleim, der Luftstrom und die Wandreibung wirken auf ein Entmischen des Frischbetons hin. Dem stehen die Kohäsionskräfte zwischen Zuschlagstoff und Zementleim gegenüber, die mehr oder weniger den Frischbeton zusammenhalten. Die groben Zuschlagkörner mit ihrer verhältnismäßig kleinen Oberfläche im Vergleich zu ihrer Masse verhalten sich daher hinsichtlich der Neigung zum Entmischen ungünstig, besonders wenn sie eine sehr hohe Rohdichte aufweisen.

Diese Überlegungen hat Zaslavskij [6] unter Betriebsbedingungen in einer Rohrleitung von 152 mm Durchmesser und 450 m Länge für Betone aus Zuschlägen mit verschiedenen Grobkorngruppen aus Hochofenschlacke, Granit und Eisenquarzit (Rohdichten von 2,12 für Hüttenschlacke bis 3,2 kg/dm^3 für Eisen-

quarzit) untersucht. Der Wasserzementwert lag für etwa gleiche Verarbeitbarkeit zwischen 0,51 und 0,61. Das Mischungsverhältnis Zement : Zuschlagstoff betrug 1 : 4 bis 1 : 5 (nach Raumteilen). Das Setzmaß lag zwischen 9 und 12 cm, das entspricht einem Ausbreitmaß von rd. 50 cm (Bild 2). Proben zur Bestimmung der Konsistenz und der Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen wurden über Tag an der Mischmaschine und nach dem Abstürzen am Überlauf entnommen. Es wurden sowohl Chargen von 10 bis 20 l als auch von 100 l durch die Fallrohrleitung abgestürzt.

Nach Tafel 3 kann man allgemein folgern, daß mit zunehmender Rohdichte des Grobzuschlags und mit zunehmendem Größtkorn die Neigung zum Entmischen zunimmt.

2.3 Konsistenz

Das Setzmaß der nach dem Abstürzen im Schacht entnommenen Proben war im Mittel (siehe Tafel 3) um 2 cm kleiner als vorher; es trat also eine geringe Versteifung ein.

Auf einer Zeche des westlichen Ruhrgebietes führte das Forschungsinstitut der Zementindustrie entsprechende Untersuchungen durch. Hier wurde der Beton zum Ausbau von zwei Füllrörtern und des Schachtsumpfes etwa 600 m tief in einer Rohrleitung von 175 mm Durchmesser abgestürzt. Der Beton war zusammengesetzt aus 1,00 Gew.-T. Hochofenzement, 6,64 Gew.-T. Kiessand 0/15 mm und 0,44 Gew.-T. Wasser. Dem Beton wurde ein Verflüssiger zugegeben. Innerhalb von 2 Stunden wurde von 20 Mischungen vor und nach dem Abstürzen das Ausbreitmaß nach DIN 1048 bestimmt. Es fand sich vor dem Abstürzen zwischen 36 und 52 cm (Mittel 42,4 cm) und nach dem Abstürzen zwischen 37 und 52 cm (Mittel 42,8 cm).

Bei weiteren Versuchen mit weichem Beton nach Tafel 4 wurde ein geringfügiges Versteifen festgestellt. Das Ausbreitmaß nach DIN 1048 ging von 49 auf 45 cm bzw. von 47,5 auf 46 cm zurück.

2.4 Festigkeit

Die in Tafel 3 zusammengestellten Festigkeiten von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge nach 28 Tagen aus russischen Versuchen [6] lassen auf eine Verminderung der Festigkeiten schließen, wenn der Beton zum Entmischen neigt. Der Festigkeitsabfall war bei den in größeren Chargen (100 l) geförderten Betonen am größten. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß das Entmischen einer größeren Charge sich im Auffangbehälter weniger ausgleicht als bei den kleineren Chargen, die sich im Auffangbehälter zu einer größeren Charge vermischen, aus der dann ebenfalls der Beton für die Würfel entnommen wurde. Bei den sich nicht entmischenden Betonen fand sich auch bei den größeren Chargen kein Festigkeitsabfall.

Bei den Versuchen nach Tafel 4 sind die Mittelwerte der Druckfestigkeiten von je drei Würfeln, die aus 2 verschiedenen Mischungen vor und nach dem Abstürzen hergestellt wurden, mit 493 kp/cm² gegenüber 490 kp/cm² und mit 424 kp/cm² gegenüber 422 kp/cm² praktisch gleich groß ausgefallen.

Nach solchen Feststellungen (2.2, 2.3 und 2.4) kann man schließen, daß üblicher, weicher Beton mit einer für Stahlbeton ge-

Tafel 3 Einfluß der Korngröße und der Rohdichte des Zuschlags auf das Entmischen des Betons während des Fallens im Abstürzrohr; nach Zaslavskij [6]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Art des Zuschlags	Rohdichte	Größe Korngruppe des Zuschlags	Wasserzementwert	Setzmaß *) des Betons bei Entnahme		Verhalten des Betons beim Austritt aus dem Fallrohr	28 Tage-Würfeldruckfestigkeit Beton entnommen		
				über Tag	nach dem Abstürzen		über Tag	unter Tage in Chargen von 10 bis 20 l	rd. 100 l
—	kg/dm ³	mm	—	cm	cm	—	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
Granit	2,6	5 . . . 10	0,52	9 (49)	7 (47)	keine Entmischung	143	140	142
		10 . . . 20	0,55	11 (50)	8 (48)	sehr schwache Entmischung	156	158	147
		20 . . . 40	0,56	12 (51)	9 (49)	merkliche Entmischung	177	146	94
Eisenquarzit	3,2	5 . . . 10	0,53	9 (49)	8 (48)	keine Entmischung	159	163	158
		20 . . . 40	0,61	12 (51)	9 (49)	deutliche Entmischung	170	98	44
Hochfenschlacke	2,1	10 . . . 40	0,51	11 (50)	9 (49)	keine Entmischung	121	118	125

*) In Klammern sind die zugehörigen errechneten Ausbreitmaße wiedergegeben [10]

Tafel 4 Konsistenz, Rohdichte und Druckfestigkeit einer Mischung vor und nach dem Abstürzen. [Beton aus 1,00 Gew.-T. Zement + 6,53 Gew.-T. Kiessand (0/15 mm) + 0,52 Gew.-T. Wasser]

1	2		3	4		5	6		7
	Mischung Nr.	Ausbreitmaß		Rohdichte (20 cm-Würfel)			28 Tage-Würfeldruckfestigkeit		
—		vor dem Abstürzen	nach dem Abstürzen	vor dem Abstürzen	nach dem Abstürzen	vor dem Abstürzen	nach dem Abstürzen	vor dem Abstürzen	nach dem Abstürzen
—	cm	cm	kg/dm ³	kg/dm ³	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	
1	49	45	2,35	2,37	509	492			
			2,37	2,37	485	491			
			2,38	2,38	486	488			
			2,37	2,37	493	490			
Mittel 1									
2	47,5	46	2,38	2,35	423	432			
			2,37	2,37	437	422			
			2,38	2,36	412	412			
			2,38	2,36	424	422			
Mittel 2									

eigneten Zusammensetzung ohne Schwierigkeiten durch Fallrohrleitungen abgestürzt werden kann, ohne daß die Festigkeit des Betons kleiner ausfällt als vor dem Abstürzen. Im ganzen dürfte sich zum Abstürzen ein Beton eignen, der eine Zusammensetzung aufweist, die für weichen Pumpbeton angemessen ist (Mehlkorngehalt mindestens 350 kg/m³). Grobzuschlag aus be-

sonders schwerem Gestein oder mit einem Größtkorn über 30 mm fördert das Entmischen. Man kann ferner folgern, daß bei einem abnehmenden Verhältnis von Wasser zu Mehlkorngelalt unter sonst gleichen Bedingungen das Zusammenhaltevermögen des Betons zunimmt.

2.5 Verstopfung

Auf der Schachanlage Cynheidre in England [3] scheiterte zunächst der Versuch, den Beton durch Fallrohrleitungen nach unter Tage zu fördern, weil der dort verwendete Pumpbeton die Fallrohrleitung verstopfte. Man vermutete die Ursache in den Unterbrechungen der Betonzuführung durch den Pumpvorgang. Die Verstopfungen dürften jedoch ihre Ursache in den zu geringen Rohrdurchmessern von rd. 12 cm gehabt haben. Es ist nicht erforderlich, daß der Beton kontinuierlich zugeführt wird, denn selbst beim Zubringen über ein Förderband und ohne Zwischenschaltung eines Auffangtrichters, also bei unregelmäßiger Zuführung kleiner Mengen, traten bei den zuvor beschriebenen Untersuchungen mit den Rohren größeren Durchmessers keine Verstopfungen auf.

Mit unterschiedlichen Rohrdurchmessern, Wasserzementwerten, Konsistenzgraden und Kornzusammensetzungen wurden auf einer Versuchsanlage der Grube „Sarja“ im Gebiet von Kriwoj Rog (UdSSR) sehr eingehende Untersuchungen über Verhältnisse, die

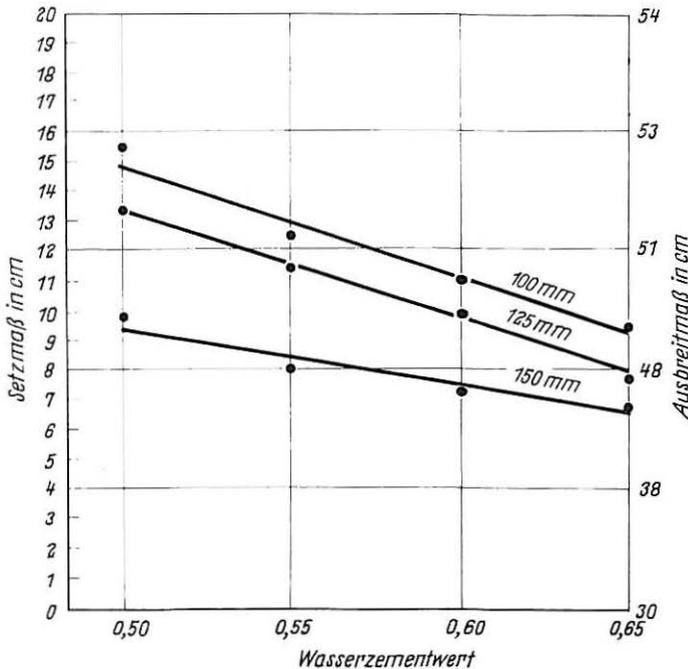


Bild 3 Mindestwerte des Setzmaßes für das Abstrützen von Beton in Rohren von 100 mm, 125 mm und 150 mm Durchmesser, abhängig vom Wasserzementwert; nach J. Z. Zaslavskij [7]

zum Verstopfen führen, angestellt [7]. Für die Versuche wurden Fallrohre von 100, 125 und 150 mm Durchmesser und 10 m Länge benutzt. Am oberen Rohrende waren ein Schieber und ein Trichter von etwa 50 l Inhalt angeordnet. Von hier aus fiel der Beton nach dem Ziehen des Schiebers durch das Rohr. Es wurde dasjenige Setzmaß festgestellt, das ein Abstürzen ohne Verstopfungen erlaubte, nötigenfalls unterstützt durch Anschlagen an die Rohrwand mit einem pendelnd aufgehängten Gewicht von 1 kg.

Die untersuchten Betone wiesen nach Tafel 5 Zementgehalte von 350 bis 600 kg/m³ und neben Natursand mit hohem Mehlkornanteil als Grobkorn Granitsplitt von 5...10 mm, 10...20 mm oder 20...40 mm auf.

Das Setzmaß lag zwischen 6,8 und 15,5 cm, was bei den gewählten Zuschlägen und Wasserzementwerten zwischen 0,50 und 0,65 Ausbreitmaßen von etwa 46 bis 53 cm entspricht [10], also einem weichen Beton.

Vergleicht man die für das Abstürzen noch angängigen Konsistenzmaße mit dem zugehörigen Wasserzementwert, so stellt man fest, daß der Beton mit zunehmendem Wasserzementwert steifer gehalten werden kann, siehe Bild 3. (Das heißt, daß der Beton dann weniger Zementleim enthalten darf.) Die Verstopfungsgefahr ist natürlich beim 100 mm-Rohr größer als beim 150 mm-Rohr. Das drückt sich auch in der Neigung der Geraden für die Rohre in Bild 3 aus.

Bei den Versuchen in einem deutschen Schacht (siehe oben) betrug der Rohrdurchmesser 175 mm; Betone mit einem Ausbreitmaß von 40 bis 46 cm konnten ohne Störung abgestürzt werden.

Zweckmäßig erscheint nach diesen Versuchen ein Fallrohr von wenigstens 150 mm Durchmesser. Das Setzmaß sollte für das 150 mm-Rohr zwischen 7 und 10 cm liegen, entsprechend einem Ausbreitmaß von etwa 47 bis 50 cm. Für engere Rohre muß der Beton beweglicher eingestellt werden (Bild 3), wobei aber die Neigung zum Entmischen zunimmt.

Bei allen Feststellungen ist zu berücksichtigen, daß ein Konsistenzmaß wie das Setzmaß nicht ausreicht, um alle Eigenschaften des Betons, von denen das Verstopfen abhängt, zu erfassen. Die Klebrigkeit des Feinmörtels (Haftung an der Rohrwand), die Neigung des Betons zum Entmischen usw. haben neben der Konsistenz sicher einen Einfluß. Eine bessere Beurteilung weichen Betons ist daher durch den Ausbreitversuch möglich.

3. Betonierbetrieb und Wirtschaftlichkeit

Neben der verminderten Behinderung des Betriebs im Schacht wird mit dem Abstürzen des Betons durch Fallrohre auch eine höhere Ausbauleistung erwartet. Hierüber haben E. V. Kazakovic und D. P. Trofimov [9] im Revier von Kriwoj Rog eingehende Untersuchungen angestellt.

In diesem Revier wurde eine weitgehend mechanisierte Betonherstellung und Förderung (siehe Bild 4) eingeführt. Der im Freifallmischer (1) direkt neben dem Fördergerüst hergestellte Beton rutscht in einer schrägen Rinne (2) in den Einfülltrichter (3) der Fallrohrleitung (4). Der Beton wird nach dem Fall im Aufgangbehälter (5) aufgefangen und fließt aus einem Überlauf in

Tafel 5 Mindestsetzmaß für Beton zum Abstürzen durch Rohre verschiedenen Durchmessers; Betone mit verschiedenem Wasserzementwert und Größtkorn; nach Zaslavskij [7]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Rohr- durch- messer	Grob- zuschlag (Granit- splitt)	W/Z = 0,50			W/Z = 0,55			W/Z = 0,60			W/Z = 0,65		
		Setzmaß	Z : S : G *)	Zement- gehalt	Setzmaß	Z : S : G *)	Zement- gehalt	Setzmaß	Z : S : G *)	Zement- gehalt	Setzmaß	Z : S : G *)	Zement- gehalt
mm	mm	cm	—	kg/m ³									
100	10/20	15,5	1 : 0,8 : 1,9	560	12,5	1 : 1,1 : 2,4	475	11,0	1 : 1,2 : 2,7	435	9,5	1 : 1,4 : 3,5	450
125	5/10	13,0	1 : 0,8 : 1,7	598	11,0	1 : 1,1 : 2,3	480	10,0	1 : 1,2 : 2,6	440	8,5	1 : 1,4 : 3,0	395
	10/20	13,5	1 : 0,9 : 2,0	532	11,2	1 : 1,1 : 2,2	475	10,8	1 : 1,3 : 2,9	412	7,0	1 : 1,5 : 3,3	370
	20/40	13,3	1 : 0,9 : 2,1	529	12,0	1 : 1,2 : 2,9	416	9,1	1 : 1,4 : 3,3	384	7,5	1 : 1,6 : 3,6	355
150	10/20	9,8	1 : 1,0 : 2,2	500	8,0	1 : 1,3 : 2,9	415	7,3	1 : 1,4 : 3,0	400	6,8	1 : 1,6 : 3,6	352

*) Z : S : G = Zement : Sand : Granit (nach Gewicht)

Tafel 6 Schichleistung beim Schachtausbau bei verschiedener Förderung des Betons; nach E. V. Kazakovic und D. P. Trofimov [9]

1	2	3	4	5	6	7	8
Grube	Schacht- durchmesser	Schacht- teufe	Wanddicke	Förderung in	Arbeiter im Schacht		Einbauleistung
					Bühne	Nebenarbeiten	
—	m	m	cm	—	—	—	m ³ /Schicht
Gigant-Glubokaja	7,5	620	30	Kübeln	3	5	1,2
Lenin	7,5	825	30	Fallrohren	2	2	3,8
Iushnaja-Wenfiljazionnaja	5,5	550	25	Kübeln	3	4	0,9
Iushnaja-Wenfiljazionnaja	5,5	550	25	Fallrohren	2	1	4,2
Nowaja	6,0	340	25	Fallrohren	2	1	4,3

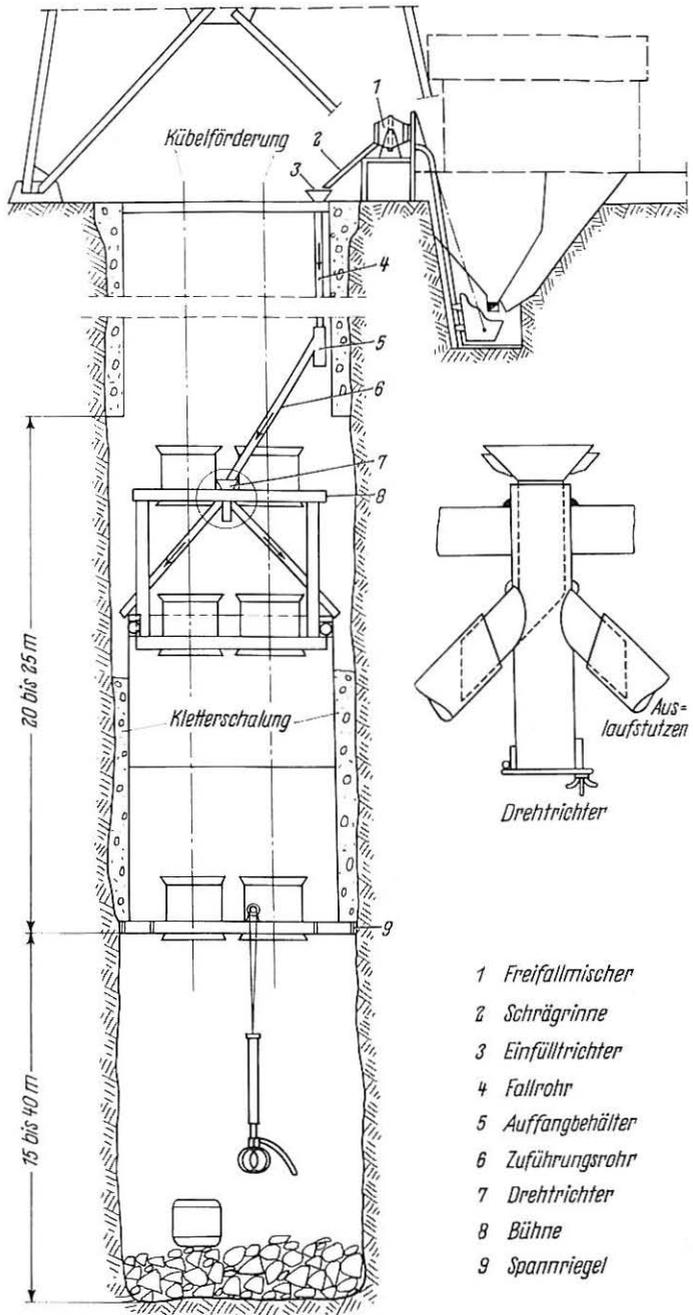


Bild 4 Gleichzeitiges Abteufen und Ausbauen eines Schachtes mit Abstürzen des Betons durch eine Rohrleitung; nach E. V. Kazakovic und D. P. Trofimow [9]

einer Rinne (6) in einen Drehrichter mit 4 Auslaufstützen (7), der in der Mitte einer hierfür gesondert aufgehängten Bühne (8) angebracht ist. Drei Rohrstützen des drehbaren Trichters sind jeweils geschlossen, und die Betonmischung fließt aus dem vierten Stützen direkt hinter die Schalung ab. Je Schicht sind bei dieser Anordnung drei Arbeiter für die Herstellung des Betons über Tag erforderlich: ein Maschinist an der Mischmaschine, ein Arbeiter zum Bedienen des Schrappers für die Zuschlagstoffe und ein Arbeiter zur Überwachung am Einlauffrichter zur Fallrohrleitung. Auf der Verteilerbühne im Schacht sind zwei Arbeiter eingesetzt, die für die gleichmäßige Verteilung des Betons zu sorgen haben. Für das Verdichten steiferen Betons hinter der Schalung sind weitere ein oder zwei Arbeiter erforderlich.

Diese Betonausbauarbeiten behinderten das Abteufen in keiner Weise. Die Fördermaschinen konnten während der gesamten Zeit für die Ausbruch- und Personenförderung benutzt werden. Der mechanisierte Ausbau steigerte die Schichtleistung in der Zeit von 1957 bis 1960 im Gebiet von Kriwoj Rog auf das 2,5- bis 3fache. Die Leistungssteigerung durch den Betontransport mit Fallrohrleitungen gegenüber der Kübelförderung geht für verschiedene Gruben aus Tafel 6 hervor.

Während bei der Kübelförderung noch auf der Betonierbühne und für Nebenarbeiten 7 bis 8 Arbeiter erforderlich waren, sind beim Abstürzen durch Fallrohre 3 bis 4 Arbeiter ausreichend. Die Schichtleistung konnte trotz der geringeren Zahl an Arbeitern auf das 3- bis 5fache gesteigert werden.

Von einigen deutschen Ausführungen ist bekannt, daß der Beton mit Hilfe eines beweglichen Endstückes vom Fallrohrende hinter die Schalung verteilt wird und insgesamt 3 oder 4 Mann für Verteilen, Verdichten und Umlegen des Auslaufs ausreichen; dabei ergab sich die in Tafel 6 angegebene Arbeiterzahl in etwa auch für deutsche Verhältnisse. Die russischen Schichtleistungen in m^3 sind gering; in Deutschland wurden im Mittel etwa 8 bis 12 m^3 Betoneinbau je Schicht erreicht. Hierin sind das Verfahren der Bühne und das Versetzen der Schalung mit eingeschlossen.

4. Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Es liegt auf der Hand, daß auch schachtnahe Ausbauräume unter Tage, für die ein Betonausbau wirtschaftlich wird, durch den Schacht über Fallrohrleitungen mit Beton versorgt werden können.

Für weiter abliegende Strecken können besonders angelegte Bohrlöcher mit größerem Durchmesser (z. B. 30 cm) zum Abstürzen des Betons dienen. Als Beispiel hierfür wird der Ausbau der Schachtanlagen San Manuel und Kelley in den USA angeführt [5]. Bild 5 zeigt dazu die Betonförderung beim Ausbau der San Manuel Kupfermine.

Dort wurde in ein Bohrloch von 30 cm Durchmesser ein Stahlrohr von 20 cm Durchmesser eingesetzt. Der Beton wurde von einer zentralen Trockenmischanlage mit Fahrzeugen zu der kleineren Mischanlage am Bohrloch gefahren und abgestürzt. Unter Tage gelangte er vom Überlauf und einer Zwischenmischanlage in Kübelwagen auf Schienen an die Einbaustelle. Entmischter Beton wurde vor dem Einbau in einem kleinen Mischer auf

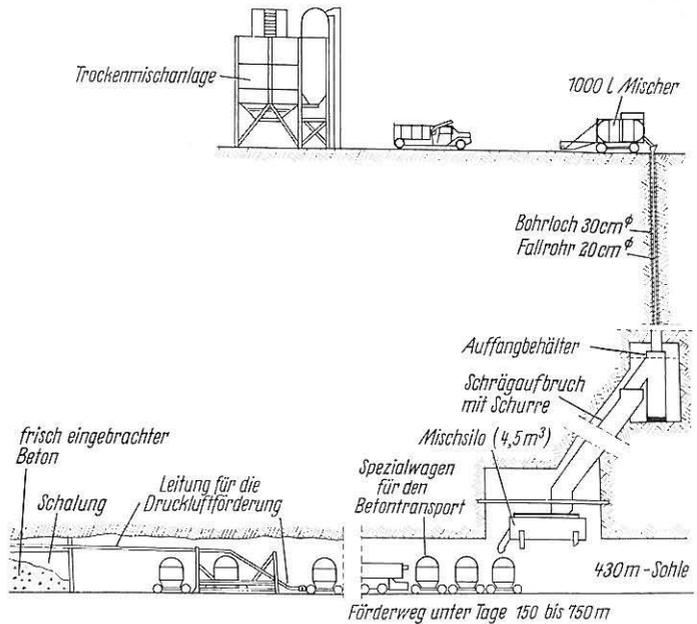


Bild 5 Förderung von der Trockenmischanlage über Tag bis hinter die Schalung in den Strecken; nach C. L. Pillar [5]

Schienen noch einmal durchmischt, bevor er mit Hilfe von Druckluft hinter die vorbereitete Schalung gelangte.

Bei normalem Betrieb wurde der Beton eines Zuges mit sechs Kübelwagen von insgesamt $6,5 \text{ m}^3$ in etwa 15 min hinter die Schalung gedrückt. Auf der Kelley-Schachtenanlage wurden auf diese Weise über $20\,000 \text{ m}^3$ Beton ohne Störung durch eine solche gebohrte Fallrohrleitung abgestürzt. Innerhalb von 4 Jahren wechselte man völlig vom früheren Holzbau zum Betonausbau über.

5. Zusammenfassung

Es wurde versucht, die beim Abstürzen von Beton durch Fallrohrleitungen auftretenden Fragen an Hand von Untersuchungen zu beantworten. Zusammenfassend kann gesagt werden:

5.1 Eine beliebige Menge Beton fällt in einem Rohr bis höchstens 100 m mit ungleichförmig beschleunigter Bewegung, anschließend – unabhängig von der Teufe – mit gleichbleibender Geschwindigkeit.

5.2 Das Fallrohr sollte einen Durchmesser von 150 bis 200 mm haben, um ein Verstopfen zu vermeiden und den Zusammenhalt des Betons zu wahren. Die Fallrohre können auch in gesondert hergestellte Bohrlöcher eingesetzt werden, um so auch vom Schacht entfernt liegende Grubenräume zu beschicken.

5.3 Zum Abstürzen in Fallrohrleitungen eignet sich ein geschmeidiger und zusammenhängender Beton, der ähnlich wie Pumpbeton zusammengesetzt ist (Mehlkornanteil mindestens 350 kg/m^3). Das Größtkorn sollte im allgemeinen mit 30 mm

begrenzt sein. Die Konsistenz des Betons, gemessen durch das Ausbreitmaß, sollte für die Rohrquerschnitte von 150 bis 200 mm ϕ zwischen 40 und 50 cm betragen. Bei derartiger Zusammensetzung liefert der Beton gleiche Festigkeit wie über Tag.

5.4 Die Schichtleistung bei Schachtausbauten in russischen Gruben konnte durch den Betontransport in Fallrohrleitungen gegenüber der Kübelförderung auf das 2,5- bis 3fache, in einigen Fällen auf das 5fache gesteigert werden.

SCHRIFTTUM :

- [1] Meyer, A., und M. H. Thompson: Ein neuartiges Verfahren zum Betonieren von Schächten aus dem südafrikanischen Goldbergbau. Glückauf 95 (1959) H. 8, S. 454/462.
- [2] Lehmann, G.: Die besonderen technischen Fortschritte beim Abteufen und Herrichten von Schächten in Südafrika. Glückauf 98 (1962) H. 5, S. 261/272.
- [3] Ohne Verf.: Shaft sinking at Cynheidre. Iron and Coal (London) 174 (1957) S. 1079/1082.
- [4] Corbett, R. P.: Concreting remains the answer for ground support at the Kelley. Mining Engineering (New York) 13 (1961) Nr. 7, S. 700/705.
- [5] Pillar, C. L.: Placement and use of concrete underground. Mining Congress Journal (Washington) 46 (1960) Nr. 9, S. 66/72.
- [6] Zaslavskij, J. Z.: Untersuchung der Entmischung von Beton beim Fließen in Rohrleitungen in den Schacht. Sachtnoe Stroitelstvo (Moskau, 1959) Nr. 6, S. 12/16.
- [7] Zaslavskij, J. Z.: Die Fähigkeit von Betongemischen, durch Fallrohrleitungen in den Schacht zu fließen. Sachtnoe Stroitelstvo (Moskau, 1959) Nr. 8, S. 17/20.
- [8] Zaslavskij, J. Z.: Die Bewegung des Betongemisches beim Fördern in den Schacht in Rohrleitungen. Sachtnoe Stroitelstvo (Moskau, 1959) Nr. 12, S. 11/14.
- [9] Kazakovic, E. V., und D. P. Trofimov: Die Wirtschaftlichkeit des Förderns von Betonmischungen in den Schacht mit Hilfe von Fallrohrleitungen. Sachtnoe Stroitelstvo (Moskau, 1960) Nr. 6, S. 20/23.
- [10] Walz, K.: Das Messen mechanischer Eigenschaften des Frischbetons. Arch. für Techn. Messen, Februar 1948, T 41/T 42.

Anmerkung: Die Arbeiten [6] bis [9] wurden von H. Martin, Essen-Rellinghausen, ins Deutsche übersetzt.