

Über das Abgleichen der Druckflächen von Würfeln und Zylindern aus Beton

Von Jürgen Dahms und Karsten Rendchen, Düsseldorf

Übersicht

Die Druckflächen von Prüfkörpern aus Beton müssen so beschaffen sein, daß eine gleichmäßige Krafteinleitung erfolgen kann. Dies ist in der Regel der Fall, wenn die Flächen ausreichend fest und eben sind. Nach DIN 1048 Blatt 1 dürfen die zu belastenden Flächen keine größeren Abweichungen von der Ebenheit als 0,1 mm aufweisen. Wenn dies nicht der Fall ist, müssen sie geschliffen oder mit besonderen Abgleichschichten versehen werden. Prüfkörper mit Abgleichschichten aus Zementmörtel sollen frühestens im Alter von 4 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft werden. Abgleichschichten aus Hartgips, Schwefel und einem Gemisch aus Schwefel und Quarzmehl ermöglichen u. U. eine frühere Prüfung der Probekörper.

Zur Beurteilung des Einflusses dieser Abgleichschichten auf die ermittelte Druckfestigkeit von Würfeln und Zylindern dienen Prüfkörper mit einer Abgleichschicht aus Zementmörtel sowie mit geschliffenen und formglatten Druckflächen.

Mit Abgleichschichten aus Hartgips, Schwefel und gemagertem Schwefel kann Beton mit einer Druckfestigkeit bis etwa 200 kpl/cm² zutreffend geprüft werden. Ein Beton höherer Festigkeit wird dagegen mit diesen Abgleichschichten eine kleinere Druckfestigkeit erhalten, dies um so mehr je größer die Schichtdicke und je unregelmäßiger die abzugleichende Druckfläche des Betons ist. Die Druckfestigkeit von Zylindern wurde weniger vermindert als die von entsprechend abgeglichenen Würfeln.

1. Allgemeines

Die Würfel oder Zylinder, an denen die Druckfestigkeit eines Betons ermittelt werden soll, müssen ebene und möglichst geschlossene Druckflächen aufweisen, damit die Druckkraft gleichmäßig auf den Prüfkörper wirken kann. Die Druckflächen sollen rechtwinklig zur Druckachse liegen und während der Belastung eben bleiben. Bereits kleinere Unebenheiten in den Druckflächen der Prüfkörper können zu einer Exzentrizität und ungleicher Lasteintragung und somit zu einer verminderten Druckfestigkeit des Prüfkörpers führen, siehe Bild 1 [1]. Aus diesem Grund sind die zulässigen Abweichungen von der Ebenheit in DIN 1048 Blatt 1 —

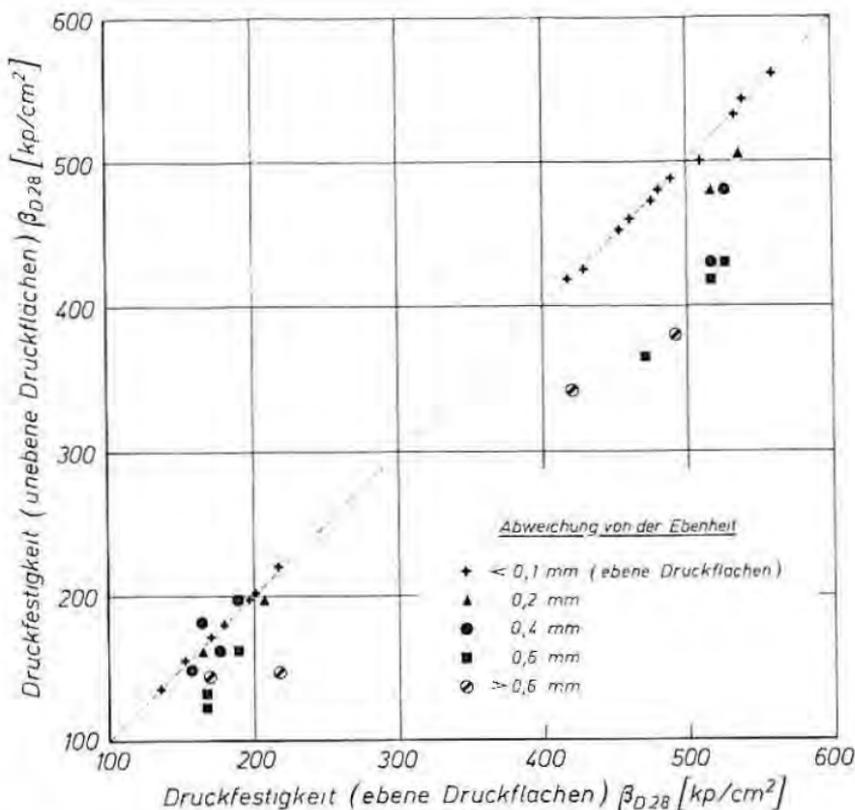


Bild 1 Einfluß der Ebenheit von Druckflächen auf die Druckfestigkeit von Betonwürfeln nach [1]

Prüfverfahren für Beton; Frischbeton, Festbeton gesondert hergestellter Probekörper — auf 0,1 mm begrenzt. In den USA sind nach ASTM C 617-73 [2] sogar nur Abweichungen bis zu 0,05 mm erlaubt.

Unebenheiten und Fehlstellen können durch Formen mit unebenen Flächen und undichten Fugen entstehen, ferner durch mangelhafte Verdichtung sowie durch Beschädigung der entformten Probekörper. Bei in Formen hergestellten Zylindern ist die Herstellungsoberseite und bei gebohrten Kernen oder herausgesägten Würfeln sind im allgemeinen beide Druckflächen nicht ausreichend eben. In diesen Fällen wird nach DIN 1048 Blatt 1 das Abschleifen der Druckflächen oder das Abgleichen mit Zementmörtel vorgeschrieben. Das Abschleifen erfordert wenig Zeitaufwand, jedoch eine teure Präzisionsschleifmaschine, mit der in der Regel unter Wasserzufuhr geschliffen wird. Mit dem Naßschleifen ist ein Durchfeuchten des Betons verbunden, durch das die Druckfestigkeit eines vorher trockenen Betons etwas abgemindert erhalten wird [3], deshalb ist es zweckmäßig, den Prüfkörper bis zur Prüfung ausreichend trocknen zu lassen.

Wenn keine Schleifmaschine verfügbar ist, werden unebene Druckflächen in der Regel mit einer dünnen Zementmörtelschicht abgeglichen. Bei der Prüfung muß der Mörtel ausreichend fest sein, darf sich nicht ablösen und keine Schwindrisse aufweisen. Hierzu

sollte jede Abgleichschicht wenigstens 48 Stunden feucht nachbehandelt werden und bis zur Prüfung noch einen Tag austrocknen können. Dieses Verfahren erfordert bei zweiseitigem Abgleichen wenigstens 4 Tage. Bei der Prüfung von Betonen in sehr jungem Alter oder wenn die Unebenheiten erst kurz vor dem Prüftermin festgestellt werden, sind, wenn nicht abgeschliffen werden kann, Abgleichschichten aufzubringen, die sehr rasch erhärten.

In ASTM C 617-73 [2] sind zum Beispiel neben Zementmörtel auch mit feinkörnigem Zuschlag gemagerter Schwefel und hochfester Gips mit Schichtdicken bis zu 8 mm zum Abgleichen von Betonzylindern vorgesehen. In der Bundesrepublik Deutschland darf für Hohlblocksteine aus Leichtbeton nach DIN 18 151 neben Zementmörtel auch Gips für die Abgleichschicht verwendet werden. Zur Zeit wird auch überlegt, ob in DIN 1048 Blatt 2 — Prüfverfahren für Beton; Festbeton fertiger Bauwerke und Bauglieder — das Abgleichen mit Schwefel unter bestimmten Bedingungen vorgesehen werden kann. Die Angaben in der Literatur über die Eignung stofflich verschiedener Abgleichschichten sind zum Teil, besonders was den Einfluß der Betondruckfestigkeit betrifft, widersprüchlich. Die nachfolgend beschriebenen, in den letzten Jahren im Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten Untersuchungen sollen zusammen mit der Auswertung des Schrifttums einen Beitrag zur Frage der Zweckmäßigkeit von Abgleichschichten, ihrer stofflichen Zusammensetzung und der Arbeitstechnik liefern.

2. Schrifttum

G. E. Troxell [4] hat mit Abgleichschichten aus Hartgips, Stuckgips und aus handelsüblichem, mit Quarzmehl gemagertem Schwefel (Tafel 1) bei Betonen mit geringer Druckfestigkeit (rd. 200 kp/cm²) unabhängig von der Beschaffenheit der abzugleichenden Druckfläche nur eine geringe Auswirkung auf die Zylinderdruckfestigkeit des Betons erhalten. An Beton mit rd. 550 kp/cm² Druckfestigkeit

Tafel 1 Druckfestigkeit D und Elastizitätsmodul E von erhärtetem Gips und Schwefel nach [4] im Alter von 1 h (Prüfkörper d = 5 cm, h = 10 cm)

Prüfkörper aus	D kp/cm ²	E kp/cm ²
Hartgips	350	10 000
Stuckgips	120	40 000
Schwefel + Quarzmehl	400	50 000

wurden bei mit Hartgips und gemagertem Schwefel abgeglichenen ebenen Druckflächen an Zylindern (d = 7,5 cm, h = 15 cm) ungefähr gleiche Betondruckfestigkeiten erreicht. Durch das Abgleichen mit Stuckgips entstand demgegenüber eine um 10 % geringere Druckfestigkeit. Beim Abgleichen gewölbter Druckflächen fiel gegenüber ebenen Ausgangsflächen die Druckfestigkeit der Zylinder mit Hartgips bis zu 7 % und mit gemagertem Schwefel bis

zu 10 % geringer aus, während eine Abgleichschicht aus Stuckgips die Druckfestigkeit sogar um rd. 60 % senkte.

T. E. Kennedy [5] hat Betonzyylinder ($d = 15 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$) mit Druckfestigkeiten von rd. 200 kp/cm^2 , 300 kp/cm^2 und 400 kp/cm^2 mit verschiedenen Gipsarten und unterschiedlichen Gemischen aus Schwefel und Quarzmehl abgeglichen. Unabhängig vom Alter der Abgleichschicht zwischen einer halben Stunde und 3 Stunden erhielt er bei geringen Schichtdicken bis zu 3 mm jeweils gleiche Betondruckfestigkeiten. Bei größeren Schichtdicken von etwa 6 mm, 13 mm und 19 mm wurden bei Abgleichschichten aus Gips geringfügig niedrigere Betondruckfestigkeiten erreicht als bei den entsprechenden Schichten aus gemagertem Schwefel.

Ausgehend von den Feststellungen von T. E. Kennedy haben F. M. Masters und A. C. Loewer [6] ein Gemisch aus Schwefel und Schmolte sowie 3 Gemische aus Schwefel und Quarzsand untersucht. 2 Gemischen wurden verschiedene Zusätze, sogenannte Weichmacher, zugegeben. Bei diesen Untersuchungen an zylindrischen Prüfkörpern ($d = 15 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$) ergaben sich sowohl für Beton geringer Festigkeit (rd. 200 kp/cm^2) als auch für Beton höherer Festigkeit (rd. 400 kp/cm^2) bei dünnen Abgleichschichten bis zu 3 mm – unabhängig von der Zusammensetzung der Abgleichschicht – für Altersstufen der Abgleichschicht von 2 Stunden bis 30 Stunden jeweils gleiche Zylinderdruckfestigkeiten. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Kennedy mit gemagertem Schwefel wurden bei Betonen höherer Festigkeit durch eine von 3 mm auf rd. 50 mm zunehmende Dicke der Abgleichschichten bis zu 36 % kleinere Zylinderdruckfestigkeiten ermittelt.

G. Werner [7] hat von 1949 bis 1956 umfangreiche Versuche durchgeführt. Für die Abgleichschichten benutzte er Tonerdezement, Gips geringer Festigkeit „1“, zwei Hartgipse „A“ und „B“, ein Gemisch aus 1 Gew.-T. Gips und 1 Gew.-T. Portlandzement, zwei Schwefel-Quarzmehl-Gemische „A“ und „B“ und reinen Schwefel, siehe Tafel 2. Die Druckfestigkeit der Betone, aus denen die Betonzyylinder ($d = 15 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$) bestanden, betrug rd. 150 kp/cm^2 und 500 kp/cm^2 . Die zu beschichtenden Druckflächen der Zylinder waren glatt oder rau.

Bei der Betondruckfestigkeit von 150 kp/cm^2 wurde die Zylinderdruckfestigkeit nur geringfügig, bei 500 kp/cm^2 dagegen stärker durch die Festigkeit der Abgleichschicht und die Oberflächenbeschaffenheit der Ausgangsfläche beeinflusst. Die Druckfestigkeit der Zylinder aus Beton mit rd. 500 kp/cm^2 mit rauher Ausgangsfläche, die mit den Gipsen „1“, „A“ und „B“ und dem Gips-Zement-Gemisch abgeglichen worden waren, fiel gegenüber der Druckfestigkeit der Zylinder mit einer Abgleichschicht aus Tonerdezement je nach Festigkeit der Abgleichschicht um 5 bis 43 % kleiner aus. Für die mit reinem bzw. mit gemagertem Schwefel abgeglichenen Zylinder ergaben sich ebenfalls entsprechend der Festigkeit der Abgleichschicht zwischen 15 und 30 % geringere Druckfestigkeiten.

Bei Beton mit der Druckfestigkeit von rd. 500 kp/cm^2 wurden mit Abgleichschichten aus Tonerdezement und aus Hartgips unabhängig von der ursprünglichen Beschaffenheit der Zylinderdruckfestig-

Tafel 2 Druckfestigkeit D und dynamischer Elastizitätsmodul E von Prüfkörpern aus verschiedenen Stoffen für Abgleichschichten nach [7]

Prüfkörper aus	Alter h	D kp/cm ²	E ⁴⁾ kp/cm ²
Tonerdezement	24	625 ¹⁾	310 000
Gips 1	3	83 ²⁾	60 000
Gips A	24	512 ³⁾	150 000
Gips B	24	487 ³⁾	150 000
Gips-PZ-Gemisch	24	99 ²⁾	90 000
Schwefel-Quarzmehl-Gemisch A	3	499 ¹⁾	240 000
Schwefel-Quarzmehl-Gemisch B	3	440 ¹⁾	160 000
Schwefel	3	104 ¹⁾	100 000

1) Prüfkörper d = 7,5 cm, h = 15 cm

2) Prüfkörper 5 cm x 5 cm x 5 cm

3) Prüfkörper 5 cm x 5 cm x 10 cm

4) Prüfkörper 5 cm x 5 cm x 30 cm

keiten etwa gleiche Druckfestigkeiten ermittelt. Mit den anderen Abgleichschichten wurden bei glatten Ausgangsflächen rd. 8 bis 20 % höhere Zylinderdruckfestigkeiten als bei entsprechenden Zylindern mit rauher Ausgangsfläche erreicht.

McDonell [8] verwendete zum Abgleichen von Zylindern (d = 15 cm, h = 30 cm) ein Gemisch aus 6 Gew.-T. Schwefel und 1 Gew.-T. Flugasche. Die Druckfestigkeit dieses Gemisches, ermittelt an Würfeln mit 5 cm Kantenlänge, betrug nach 2 Stunden rd. 360 kp/cm². Er folgerte aus seinen Versuchen, daß mit diesem Gemisch nach einer Aushärtungszeit von rd. 2 Stunden auch Betone mit einer Zylinderdruckfestigkeit von rd. 500 kp/cm² geprüft werden können.

W. H. Price [9] erzielte mit Abgleichschichten aus Tonerdezement, Portlandzement und einem Gemisch aus 3 Gew.-T. Schwefel und 1 Gew.-T. Schamotte gleiche Zylinderdruckfestigkeiten wie mit geschliffenen Zylinderdruckflächen.

S. Ahmed [10] glich Würfel (15 cm Kantenlänge) mit einem Gemisch aus 62 Gew.-% Schwefel, 36 Gew.-% sehr feinem Sand und 2 Gew.-% Ruß ab und erreichte damit Betondruckfestigkeiten, die etwa 5 % niedriger lagen als die von Würfeln mit formglatten Druckflächen.

N. E. Henning [11] verwendete für das Abgleichen von Zylindern (d = 15 cm, h = 30 cm) Tonerdezement und ein Gemisch aus 44 Gew.-% Schwefel, 36 Gew.-% Hüttensand, 12 Gew.-% Kalksteinmehl, 7 Gew.-% Flugasche und 1 Gew.-% Ruß. Er erhielt etwa gleich hohe Zylinderdruckfestigkeiten.

H. G. Collins [12] verwendete für seine Versuche ein Gemisch aus 60 Gew.-% Schwefel, 30 Gew.-% Quarzsand und 10 Gew.-% Flugasche (Druckfestigkeit nach 24 Stunden rd. 400 kp/cm², Elastizitätsmodul 120 000 kp/cm²). Gegenüber geschliffenen Würfeln, die eine Druckfestigkeit von 819 kp/cm² aufwiesen, wurden an mit

diesem Gemisch abgeglichenen Würfeln nach einer Stunde um 34 % und nach 19 Stunden um 22 % geringere Druckfestigkeiten erhalten. Collins weist auf mögliche Schwierigkeiten hin, die bei der Verwendung von Schwefel oder Schwefelgemischen auftreten können. Beim Abkühlen des verwendeten flüssigen Schwefels von rd. 125 °C auf etwa 20 °C entstehen durch eine Volumenverminderung von rd. 4 Vol.-% Hohlräume in der Abgleichschicht, insbesondere wenn diese dick ist und sich in Partien mit schneller Abkühlung große Kristalle bilden können, siehe Bild 2. Solche Schichten wirken sich besonders ungünstig auf die Betondruckfestigkeit aus.



Bild 2 Hohlraumbildung beim Abkühlen dicker Schwefelschichten

In den Vorschriften des Corps of Engineers CRD-C 29-53 [13] wird darauf hingewiesen, daß sowohl die Druckfestigkeit als auch der Elastizitätsmodul der Abgleichmaterialien größer sein sollten als die Werte des zu prüfenden Betons. Diese Forderung dürfte nach den in Tafel 2 aufgeführten Werten nicht immer zu erfüllen sein. Man muß dazu auch beachten, daß Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul der dünnen Abgleichschichten nicht mit denen vergleichbar sind, die an größeren Probekörpern ermittelt werden.

Zusammenfassend kann aus dem angeführten Schrifttum gefolgert werden, daß bei niedrigen Betonfestigkeiten der Einfluß der Abgleichschicht auf die Würfel- oder Zylinderdruckfestigkeit gering ist. Bei höheren Betonfestigkeiten wurde der Einfluß der Abgleichschicht unterschiedlich gefunden. Unabhängig davon wird deutlich, daß im Bereich höherer Druckfestigkeiten des Betons kleinere Würfel- oder Zylinderdruckfestigkeiten erhalten werden, wenn die Rauigkeit der ursprünglichen Druckflächen und die Dicke der Abgleichschichten zunehmen.

3. Versuchsumfang

Die Untersuchungen wurden mit Würfeln (20 cm Kantenlänge) und Zylindern ($d = 15$ cm, $h = 30$ cm) aus zwei Betonen, die etwa den Festigkeitsklassen Bn 150 und Bn 450 entsprachen, durchgeführt.

Die Prüfung von Würfeln und Zylindern erschien zweckmäßig, da beide Formen nach DIN 1045 zugelassen sind und sich ein unterschiedlicher Einfluß von der Herstellung her ergeben kann. Bei den in zylindrischen Formen hergestellten Prüfkörpern muß die Abstreichseite geschliffen oder abgeglichen werden, da sie den an die Ebenheit gestellten Anforderungen in der Regel nicht genügt. Auch die aus Betonfahrbahndecken entnommenen Bohrkerne müssen an beiden Druckflächen abgeglichen oder abgeschliffen werden [14]. Die Druckflächen der Würfel und Zylinder wurden mit Portlandzementmörtel, Hartgips, Schwefel sowie einem Gemisch aus Schwefel und Quarzmehl abgeglichen. Da die Beschaffenheit der abzugleichenden Druckflächen (Ausgangsflächen) und die Dicke der Abgleichschicht sowie ihr Alter von Einfluß sein können, wurden formglatte und künstlich aufgerauhte Oberflächen verschieden dick beschichtet und in einem Alter von 2 Stunden bis 4 Tagen geprüft. Dicke Abgleichschichten aus Gips wurden nicht aufgebracht, da nach den in Abschnitt 2 aufgeführten Berichten angenommen werden konnte, daß sich dicke Gipsschichten ähnlich auf die Betondruckfestigkeit auswirken wie dicke Schichten aus Schwefel und gemagertem Schwefel. Dicke Schichten wurden dagegen bei Zementmörtel gewählt, um festzustellen, ob dadurch bei Prüfkörpern aus Beton Bn 150 höhere Festigkeiten gefunden werden.

Als Vergleichskörper dienten Würfel und Zylinder, bei denen die Druckflächen geschliffen worden waren.

3.1. Beton

Nach dem Schrifttum und nach eigenen Versuchserfahrungen wirken sich Abgleichschichten je nach der eigentlichen Betondruckfestigkeit verschieden auf die Druckfestigkeit der abgeglichenen Würfel und Zylinder aus. Für die angestrebten Betone Bn 150 und Bn 450 wurden bei Rohdichten von $2,18 \text{ kg/dm}^3$ bzw. $2,41 \text{ kg/dm}^3$ im Alter von 28 Tagen Würfeldruckfestigkeiten von 176 kp/cm^2 bzw. 522 kp/cm^2 erhalten. Wenn auch damit die Serienfestigkeit für den Bn 150 etwas unterhalb der für diese Festigkeitsklasse erforderlichen von 200 kp/cm^2 liegt, so wird dieser Beton im Text vereinfacht als Beton Bn 150 bezeichnet.

3.1.1. Betonzusammensetzung und Frischbetoneigenschaften

Beide Betone wurden aus Portlandzement Z 350 F und Rheinkies-sand zusammengesetzt. Die Sieblinie des Zuschlaggemisches verlief für den Bn 450 im günstigen Bereich etwas unterhalb der Regelsieblinie B_{32} und für den Beton Bn 150 etwas oberhalb der Regelsieblinie C_{32} . In Tafel 3 sind die Betonzusammensetzungen und die Frischbetoneigenschaften zusammengefaßt. Die Konsistenz des Betons Bn 450 war plastisch (mittlerer Bereich K 2) und die des Betons Bn 150 weich (obere Grenze von K 3).

3.1.2. Herstellung und Lagerung der Prüfkörper

Die Betone wurden nach Zugabe aller Ausgangsstoffe 90 s lang in einem 250-l-Zwangsmischer gemischt. Je Beton wurden 120 Würfel und 120 Zylinder hergestellt. Um den Einfluß der Streuung aus der

Tafel 3 Betonzusammensetzung und Frischbetoneigenschaften

Beton	Mischung in Gew.-Teilen Z : G : W	Rohdichte kg/dm ³	Zement- gehalt kg/m ³	Ausbreit- maß cm	Verdich- lungsmaß v
Bn 150	1 : 7,23 : 0,98	2,21	240	51	1,02
Bn 450	1 : 5,84 : 0,51	2,41	320	35	1,18

Herstellung zu berücksichtigen, wurden aus jeder der 3 Mischungen eines Herstellungstages 5 Würfel und 5 Zylinder für jeweils 5 Prüfkörperserien zusammengestellt. Nachdem für jede der zu untersuchenden Einflußgrößen 3 Prüfkörper betoniert worden waren, wurde das Betonierprogramm wiederholt, so daß schließlich für jede zu untersuchende Einflußgröße 6 Prüfkörper zur Verfügung standen.

Der Beton für den Bn 450 wurde in zwei Schichten unter Verwendung eines Aufsatzkastens eingefüllt und jede Schicht auf einem Rütteltisch (Schwingungszahl 3000/min, Schwingungsbreite rd. 1 mm) 15 s lang verdichtet. Der Beton für den Bn 150 wurde während des Einfüllens durch Stochern verdichtet. Alle Proben lagerten bis zum Entformen im Alter von 24 Stunden unter feuchten Tüchern im Herstellungsraum, danach weitere 6 Tage unter Wasser von 20 °C. Während dieser Zeit wurden auch die Druckflächen der dafür vorgesehenen Prüfkörper abgeschliffen. Anschließend lagerten alle Proben bis zum Abgleichen bzw. bis zur Prüfung im Alter des Betons von 28 Tagen im Klimaraum bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte.

Je Beton wurden die Druckflächen von 6 Würfeln derart abgeschliffen, daß die Abweichungen von der Ebenheit, gemessen in der Diagonalen, weniger als 0,05 mm betragen. 60 Würfel wurden mit formglatten Flächen belassen. Die Formen entsprachen DIN 51 229 – Formen für würfelförmige und zylindrische Probekörper aus Beton –. Hiervon wurden später 54 Würfel abgeglichen. Bei weite-

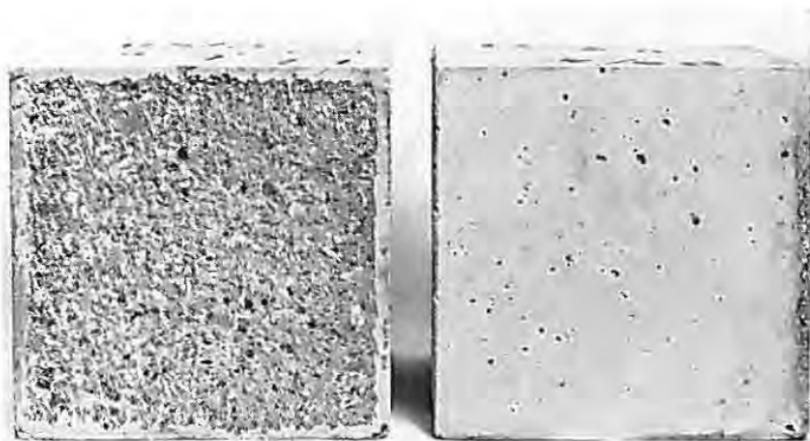


Bild 3 Aufgeraute und formglatte Würfel Druckflächen

ren 54 Würfeln wurden die später abzugleichenden Druckflächen etwa 1 Woche vor der Prüfung bis rd. 5 mm tief mit einem Meißel bis an den Rand abgespitzt, so daß eine aufgeraute Fläche entstand, siehe Bild 3.

6 Zylinder je Beton wurden einseitig (Herstellungsoberfläche) und 60 Zylinder auf beiden Druckflächen geschliffen. Außerdem sind die beiden Druckflächen von 54 Zylindern wie bei den Würfeln angespitzt worden.

3.2. Zusammensetzung der Abgleichschichten

Die Zusammensetzungen der Abgleichschichten sowie die Rohdichten, Druckfestigkeiten und Elastizitätsmoduln der erhärteten Stoffe und Gemische gehen aus Tafel 4 hervor. Als Prüfkörper wurden Zylinder mit einem Durchmesser von 5 cm und einer Höhe von rd. 10 cm gewählt. Die Rohdichte und die Druckfestigkeit wurden entsprechend DIN 1048 Blatt 1 und der Elastizitätsmodul nach DIN 1048 Blatt 3 ermittelt. Anstelle des hier verwendeten PZ 550 eignet sich zum Abgleichen auch PZ 450 F oder Tonerdeschmelzzement.

Tafel 4 Zusammensetzung, Druckfestigkeit D und Elastizitätsmodul E von Mischungen für Abgleichschichten (Prüfkörper d = 5 cm, h = 10 cm)

Prüfkörper aus	Mischung in Gew.-Teilen	Prüfalter	Rohdichte kg/dm ³	D kp/cm ²	E kp/cm ²
Zementmörtel (PZ 550)	Zement : Sand 0/1 mm : Wasser 1 : 1 : 0,39	3 d	2,16	535	243 000
		4 d	2,16	559	241 000
Hartgips	Gips : Wasser 1 : 0,30	2 h	1,89	293	144 000
Schwefel	—	2 h	1,98	157	25 000
		24 h	2,00	184	24 000
Schwefel + Quarzmehl	Schwefel : Quarzmehl 0/0,1 mm 3 : 1	2 h	2,10	457	85 000

3.3. Abgleichen

Die zum Abgleichen verwendete Vorrichtung konnte zum Aufbringen aller Abgleichschichten verwendet werden. Sie ermöglichte das Einstellen unterschiedlicher Schichtdicken. Die Vorrichtung nach Bild 4 besteht aus einem quadratischen Rahmen mit 4 Feststellschrauben, der lose auf die ebene Abgleichplatte aufgestellt wird. Der Probekörper wird darin eingespannt, nachdem mit entsprechenden Lehren die Schichtdicke festgelegt worden ist¹⁾.

¹⁾ Da in der Praxis stets Abgleichschichten so dünn wie möglich anzustreben sind, ist in der Regel ein derartiger Rahmen nicht erforderlich. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen zur gezielten Herstellung von Schichten bestimmter Dicke war diese Vorrichtung jedoch notwendig.

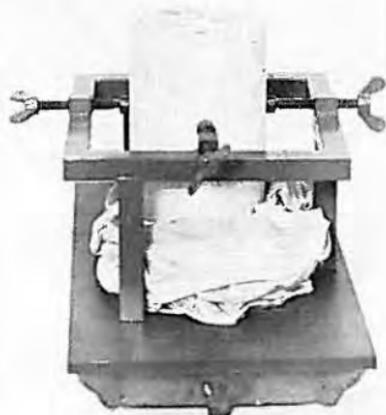
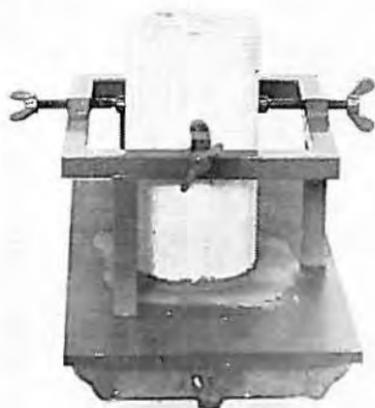
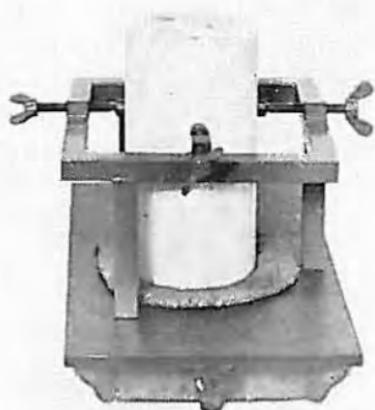
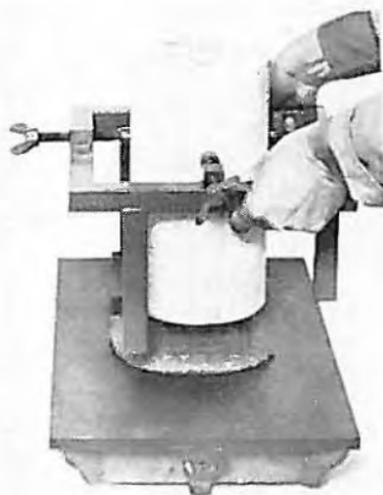
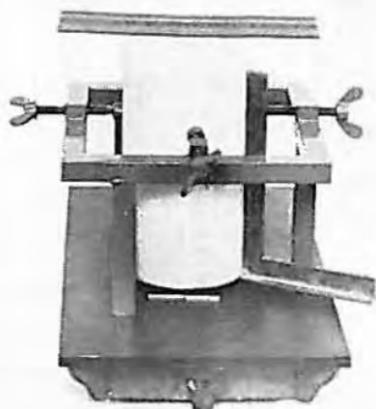
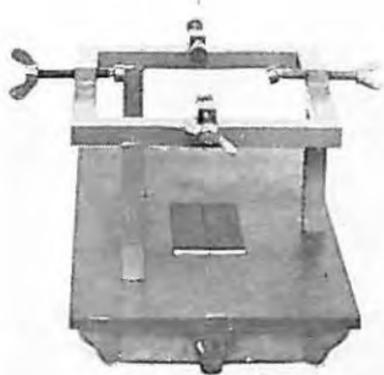


Bild 4 Abgleichen mit Zementmörtel

Bei Beschichtung mit Schwefel und gemagertem Schwefel wurden so Schichtdicken von 3 mm und 6 mm, bei Portlandzementmörtel Schichtdicken von 5 mm und 10 mm und bei Hartgips eine Schichtdicke von 3 mm eingestellt.

3.3.1. *Besonderheiten beim Abgleichen mit Zementmörtel und mit Gips*

Die für das Abgleichen mit Zementmörtel vorgesehenen Würfel und Zylinder lagerten 24 Tage im Klimaraum und wurden dann mit der abzugleichenden Fläche zunächst etwa 2 Stunden lang rd. 3 cm tief in Wasser gestellt, um den trockenen Beton so weit vorzufeuichten, daß er der frisch aufgetragenen Mörtelschicht kein Wasser entzog.

Unmittelbar vor dem Abgleichen wurden die Flächen mit einem Schwamm abgetrocknet und anschließend dünnflüssiger Zementleim eingebürstet. Der Probekörper wurde in einen Rahmen fest eingespannt, wobei die Höhe durch Lehren für die Dicke der Abgleichschicht und die horizontale und vertikale Lage mit Hilfe einer Wasserwaage und eines Winkels fixiert wurden. Anschließend wurde der Probekörper mit dem Rahmen angehoben, der Mörtel auf die schwach geölte Abgleichplatte aufgetragen und dann der Rahmen mit dem Probekörper in den Zementmörtel eingedrückt, siehe Bild 4. Der herausgedrückte Mörtel wurde, nachdem er etwas steifer geworden war, mit der Kelle angedrückt und vorsichtig abgestochen. Anschließend wurde die Zementmörtelschicht mit feuchten Tüchern umwickelt. 24 Stunden nach dem Aufbringen der ersten Abgleichschicht wurde die gegenüberliegende Druckfläche in gleicher Weise abgeglichen und 48 Stunden lang feucht gehalten. Danach lagerten die Probekörper noch 24 Stunden an der Luft, bevor sie im Alter von 28 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft wurden.

Beim Aufbringen der rd. 3 mm dicken Gipsschicht wurde entsprechend verfahren, jedoch entfielen hier die Vor- und Nachbehandlung. Die Proben wurden rd. 2 Stunden vor der Prüfung abgeglichen. Bereits 20 min nach dem Aufbringen der ersten Schicht war diese so weit erhärtet, daß die zweite Fläche abgeglichen werden konnte.

3.3.2. *Besonderheiten beim Abgleichen mit gemagertem und mit reinem Schwefel*

Das Abgleichen mit Schwefel erfolgte jeweils 2 Stunden und 24 Stunden vor der Prüfung. Dazu wurden für die Würfel quadratische und für die Zylinder runde Metallrahmen auf eine leicht eingeölte Glasplatte aufgesetzt, siehe Bild 5. Die Schwefelmasse wurde zum Schmelzen auf rd. 150 °C erhitzt und anschließend auf 120 bis 125 °C abgekühlt, weil der geschmolzene Schwefel bei dieser Temperatur eine kleinere Viskosität (rd. 10 P) aufweist als bei 150 °C und daher leichter zu verarbeiten ist. Der flüssige Schwefel wurde je nach erforderlicher Schichtdicke etwa 5 mm bzw. 10 mm hoch eingegossen und der für die entsprechende Schichtdicke eingespannte und entsprechend Abschnitt 3.3.1 ausgerichtete Würfel oder Zylinder insbesondere bei der Herstellung dicker Schichten

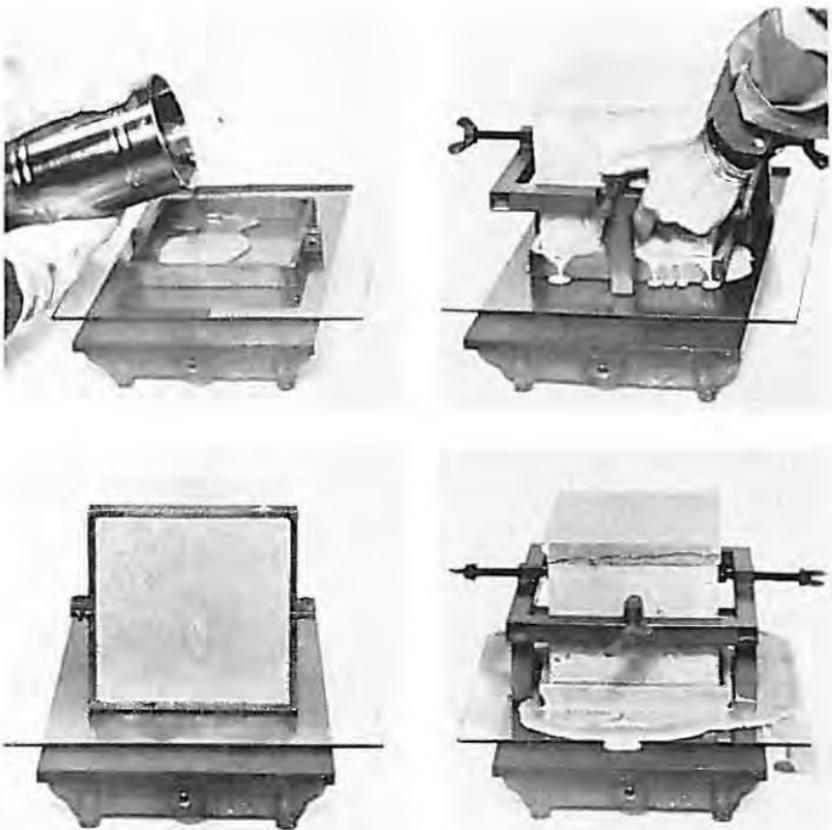


Bild 5 Abgleichen mit Schwefel

mit einer Kippbewegung über eine Kante in den Schwefel eingetaucht, so daß Lufteinschlüsse möglichst vermieden wurden. Überschüssige Schwefelmasse wurde dabei über den Rahmen hinausgedrückt. Der Probekörper konnte unmittelbar danach von der Glasplatte und aus dem Metallrahmen gelöst und die zweite Druckfläche abgeglichen werden.

Bei den mit Quarzmehl gemagerten Schwefelmassen wurde entsprechend vorgegangen. Schwefel und Quarzmehl wurden gemischt, auf rd. 150°C erhitzt und ebenfalls bei rd. 125°C in den Rahmen gegossen.

4. Versuchsergebnisse

Die für Würfel und Zylinder aus den Betonen Bn 150 und Bn 450 ermittelten Druckfestigkeiten sind als Mittelwerte aus 6 Einzelprüfungen in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Betondruckflächen bzw. der Abgleichschicht in Tafel 5 zusammengestellt. Insgesamt wurden bei der Prüfung der Würfel aus Beton Bn 150 Druckfestigkeiten zwischen 166 und 190 kp/cm^2 festgestellt (Mittel: 179 kp/cm^2) und für die Zylinder Werte zwischen 157 und 177 kp/cm^2 (Mittel: 167 kp/cm^2) ermittelt. Die Mittelwerte stimmen in etwa mit

Tafel 5 Druckfestigkeit von Betonwürfeln und -zylindern mit verschiedenartigen Druckflächen (Mittel aus 6 Prüfwerten)

Betondruckfläche (Zustand, Abgleich- schicht)	Beton Bn 150				Beton Bn 450			
	Würfel		Zylinder		Würfel		Zylinder	
	kp/ cm ²	%						
geschliffen	180	100	165	100	521	100	417	100
glatt ¹⁾ bzw. geschliffen ²⁾	176	98	164	99	522	100	374	90
glatt Gips, dünn	178	99	172	104	486	93	417	100
rau Gips, dünn	172	96	163	99	474	91	403	97
glatt PZ-Mörtel, dünn	184	102	160	97	493	94	405	97
rau PZ-Mörtel, dünn	174	97	165	100	489	94	412	99
glatt PZ-Mörtel, dick	181	101	160	97	468	90	394	94
rau PZ-Mörtel, dick	169	94	157	95	494	95	404	97
glatt Schwefel 2 h, dünn	180	100	169	102	475	91	412	99
rau Schwefel 2 h, dünn	188	104	170	103	429	82	388	93
glatt Schwefel 2 h, dick	168	93	171	104	389	75	343	82
rau Schwefel 2 h, dick	177	98	158	96	339	65	298	71
glatt Schwefel 24 h, dünn	185	103	170	103	475	91	421	101
rau Schwefel 24 h, dünn	187	104	177	107	460	88	408	98
glatt Schwefel 24 h, dick	190	106	169	102	412	79	366	88
rau Schwefel 24 h, dick	166	92	171	104	405	78	355	85
glatt Schwefel + Quarzmehl, dünn	182	101	171	104	491	94	417	100

1) Druckflächen der Würfel formglatt

2) Bodenfläche der Zylinder formglatt, Herstellungsoberseite geschliffen

Tafel 5 (Fortsetzung)

Betondruckfläche (Zustand, Abgleich- schicht)	Beton Bn 150				Beton Bn 450			
	Würfel		Zylinder		Würfel		Zylinder	
	kp/ cm ²	%	kp/ cm ²	%	kp/ cm ²	%	kp/ cm ²	%
rauh Schwefel + Quarzmehl, dünn	187	104	174	105	468	90	402	96
glatt Schwefel + Quarzmehl, dick	187	104	171	104	438	84	396	95
rauh Schwefel + Quarzmehl, dick	171	95	167	101	433	83	375	90
Mittelwert \bar{x}	179	100	167	101	458	88	390	94

den Druckfestigkeiten der Würfel und Zylinder überein, deren Druckflächen geschliffen worden sind (180 bzw. 165 kp/cm²).

Die Druckfestigkeiten der Würfel und Zylinder aus Beton der höheren Festigkeitsklasse Bn 450 lagen für die Würfel zwischen 339 und 522 kp/cm² (Mittel: 458 kp/cm²) und für die Zylinder zwischen 298 und 421 kp/cm² (Mittel: 390 kp/cm²). Die Mittelwerte lagen um 12 bzw. 6 % unter den Druckfestigkeiten, die für die Prüfkörper mit geschliffenen Druckflächen erhalten wurden (521 bzw. 417 kp/cm²). In Tafel 5 sind die Druckfestigkeiten außerdem auf die Druckfestigkeiten der Prüfkörper mit geschliffenen Druckflächen bezogen (100 %). Die anteiligen Festigkeiten sind in Bild 6 noch einmal gesondert dargestellt. Die Druckfestigkeiten der Würfel aus Bn 150 mit den verschiedenen Prüfflächen weichen höchstens um - 8 % bis + 6 % von den Druckfestigkeiten der Würfel mit geschliffenen Druckflächen ab. Die entsprechenden Werte liegen bei den Zylindern zwischen - 5 % und + 7 %.

Mit den Würfeln und Zylindern aus Beton Bn 450, die mit Abgleichschichten geprüft wurden, ergaben sich in zwei Fällen Druckfestigkeiten, die denen der Prüfkörper mit geschliffenen Druckflächen entsprachen. In allen anderen Fällen jedoch wurden mit den Würfeln um 5 % bis 35 % kleinere Druckfestigkeiten und mit den Zylindern um rd. 1 % bis 29 % kleinere Druckfestigkeiten erzielt.

5. Erörterung der Ergebnisse

5.1. Einfluß der Zusammensetzung der Abgleichschicht

In den Tafeln 6 und 7 sind die Druckfestigkeiten der gleichartigen Prüfkörper einer Reihe zusammengestellt und die Mittelwerte und Standardabweichungen errechnet, wobei hierfür weder der Einfluß der ursprünglichen Beschaffenheit der Betondruckfläche (Ausgangfläche) noch der Einfluß der Schichtdicke berücksichtigt

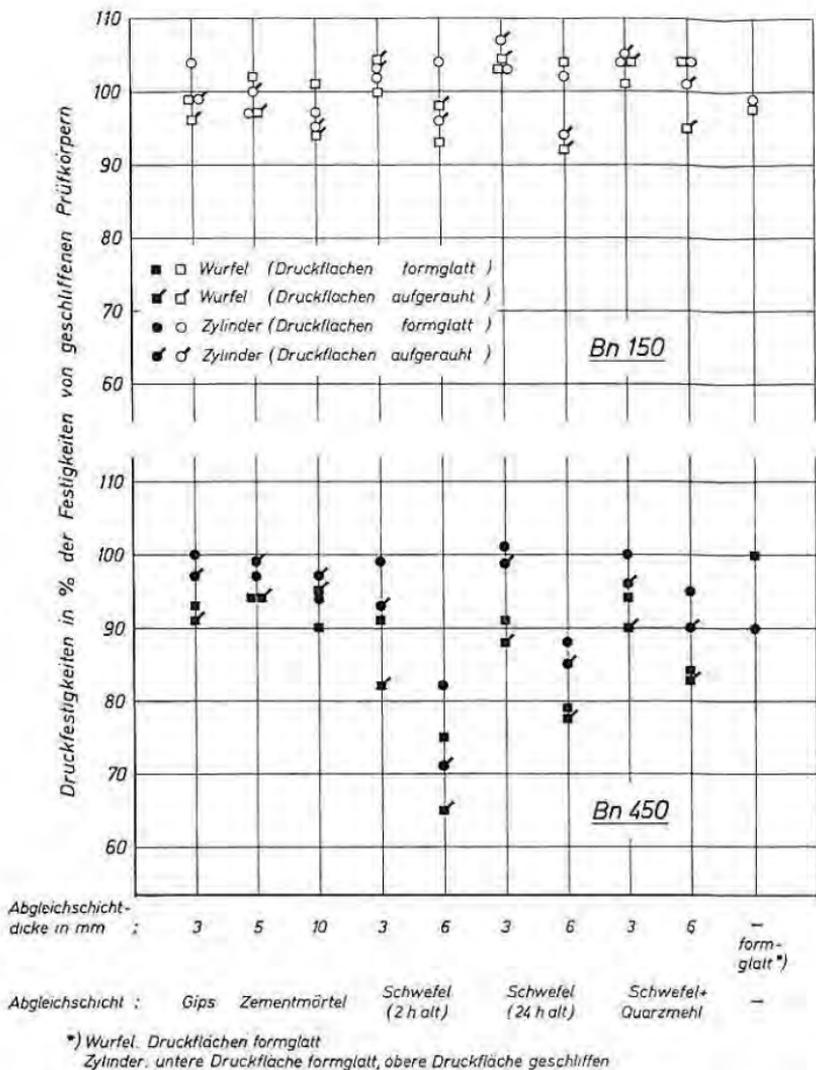


Bild 6 Einfluß stofflich verschiedener Abgleichsschichten und Schichtdicken auf die Druckfestigkeit von Betonwürfeln und -zylindern

wurde. Die Mittelwerte der Druckfestigkeiten sind in Bild 7 noch einmal wiedergegeben. Demnach ist bei den Prüfkörpern aus Beton Bn 150 kein deutlicher Einfluß der stofflich verschiedenen Beschaffenheit der Abgleichsschicht erkennbar. Auch die Einzelwerte unterscheiden sich verhältnismäßig wenig. Die Standardabweichung lag für Würfel und Zylinder zwischen 10 und 16 kp/cm^2 , siehe auch Bild 8. Mit Ausnahme der mit Gips abgeglichenen Prüfkörper ist die Standardabweichung der Druckfestigkeiten bei den Würfeln um 3 bis 5 kp/cm^2 größer als bei den Zylindern und bei den mit Zementmörtel abgeglichenen Prüfkörpern am geringsten.

Bei den Prüfkörpern aus Beton Bn 450 (Tafel 7 und Bild 8) waren die Unterschiede der Druckfestigkeiten je nach Abgleichsschicht größer. Der Unterschied zwischen höchster Druckfestigkeit (Ab-

Tafel 6 Druckfestigkeit von Würfeln (W) und Zylindern (Z) aus Beton Bn 150 mit verschiedenartigen Abgleichschichten (Einzelwerte in kp/cm^2)

beschichtete Beton- druckfläche Schichtdicke	Abgleichschicht									
	Gips		Zement		Schwefel 2 h alt		Schwefel 24 h alt		Schwefel+ Quarzmehl	
	W	Z	W	Z	W	Z	W	Z	W	Z
glatt dünn	190	182	165	141	189	174	195	178	185	171
	194	201	192	164	175	165	206	181	189	170
	182	173	206	179	179	178	188	166	178	179
	166	159	197	169	183	169	175	163	186	173
	165	157	184	152	179	156	178	161	185	163
	171	161	161	157	175	171	170	171	171	168
rauh dünn	167	155	185	177	176	167	170	164	183	171
	176	167	192	170	205	181	197	187	197	182
	198	183	177	173	206	170	211	200	201	192
	192	165	158	155	177	171	191	185	179	160
	178	156	167	155	175	158	173	173	171	162
	183	149	167	160	190	175	179	155	192	175
glatt dick			179	153	179	170	188	174	167	158
			153	165	193	189	198	187	186	179
			194	170	178	178	213	184	208	193
			174	165	165	155	180	156	207	182
			174	147	170	160	172	149	177	161
			179	162	—	172	190	162	176	151
rauh dick			177	164	171	149	169	173	183	169
			176	157	186	172	173	161	199	182
			172	169	202	182	162	176	180	167
			165	151	186	141	171	157	168	161
			161	153	159	157	160	182	134	168
			160	149	160	146	162	179	161	156
Mittelwert \bar{x}	180	167	177	161	178	167	182	172	182	171
Standard- abweichung s in kp/cm^2	12	15	13	10	16	12	15	13	16	11

gleichschicht Zementmörtel) und niedrigster (Abgleichschicht Schwefel) betrug bei den Würfeln rd. 80 kp/cm^2 und bei den Zylindern rd. 50 kp/cm^2 .

Während die Standardabweichung der mit Gips in dünner Schicht und der mit Zementmörtel abgeglichenen Prüfkörper zwischen 13 und 20 kp/cm^2 lag, ergaben sich mit den Abgleichschichten, die Schwefel enthielten, Standardabweichungen zwischen 23 und 54 kp/cm^2 . Besonders groß war die Standardabweichung der Einzelwerte bei den mit reinem Schwefel abgeglichenen Prüfkörpern und am kleinsten bei den mit Zementmörtel abgeglichenen Prüfkörpern.

5.2. Einfluß der Schichtdicke

Aus der summarischen Darstellung in Bild 7 wird deutlich, daß sich besonders mit schwefelhaltigen Abgleichschichten bei Prüf-

Tafel 7 Druckfestigkeit von Würfeln (W) und Zylindern (Z) aus Beton Bn 450 mit verschiedenartigen Abgleichschichten (Einzelwerte in kp/cm^2)

beschichtete Beton- druckfläche Schichtdicke	Abgleichschicht									
	Gips		Zement		Schwefel 2 h alt		Schwefel 24 h alt		Schwefel+ Quarzmehl	
	W	Z	W	Z	W	Z	W	Z	W	Z
glatt dünn	474	426	485	394	459	416	450	421	488	418
	478	396	496	402	466	427	459	401	490	414
	448	395	493	411	473	411	469	421	488	401
	495	439	489	391	504	394	476	435	501	436
	506	427	506	417	475	423	483	426	478	416
	516	417	489	416	471	400	511	420	498	416
rauh dünn	495	404	485	401	446	411	475	406	488	426
	464	411	459	400	432	398	465	410	489	410
	472	393	461	397	427	411	461	414	445	405
	458	395	501	424	432	372	482	410	466	398
	475	417	524	412	408	362	435	408	455	394
	479	399	504	435	427	376	440	399	463	376
glatt dick			469	401	362	324	423	377	442	389
			463	404	365	338	410	353	442	382
			459	381	371	333	417	349	446	382
			494	401	411	341	391	366	427	423
			458	386	424	369	414	379	438	378
			462	391	399	353	414	370	435	422
rauh dick			495	412	357	331	416	347	413	376
			506	417	356	324	424	353	397	370
			470	401	332	332	390	339	427	374
			509	407	332	272	392	363	439	392
			504	405	324	244	436	358	459	404
			481	382	331	286	369	368	465	336
Mittelwert \bar{x}	480	410	486	404	408	360	438	387	457	397
Standard- abweichung s in kp/cm^2	20	15	19	13	54	50	36	30	28	23

körpern aus Beton Bn 450 geringere Druckfestigkeiten ergeben und nach Bild 8 auch die Standardabweichungen größer sind. Um einen dabei möglicherweise beteiligten Einfluß der Schichtdicke und der Beschaffenheit der abzugleichenden Betonfläche zu beurteilen, wurden diese Varianten in Bild 9 im Vergleich zu den mit geschliffenen Prüfkörpern erhaltenen Druckfestigkeiten herausgestellt. Man erkennt, daß mit 3 bis 10 mm dicken Abgleichschichten keine wesentlichen Unterschiede in der Druckfestigkeit der Prüfkörper aus Beton Bn 150 verbunden sind. Die Druckfestigkeiten der Würfel und Zylinder unterscheiden sich um höchstens 20 kp/cm^2 .

Bei den Prüfkörpern aus Beton Bn 450 wird ein Einfluß der Schichtdicke zum Teil deutlich erkennbar. Während bei einer Zunahme der Dicke der Abgleichschicht aus Zementmörtel von 5 auf 10 mm im Mittel praktisch die gleiche Druckfestigkeit erzielt wurde, ergab

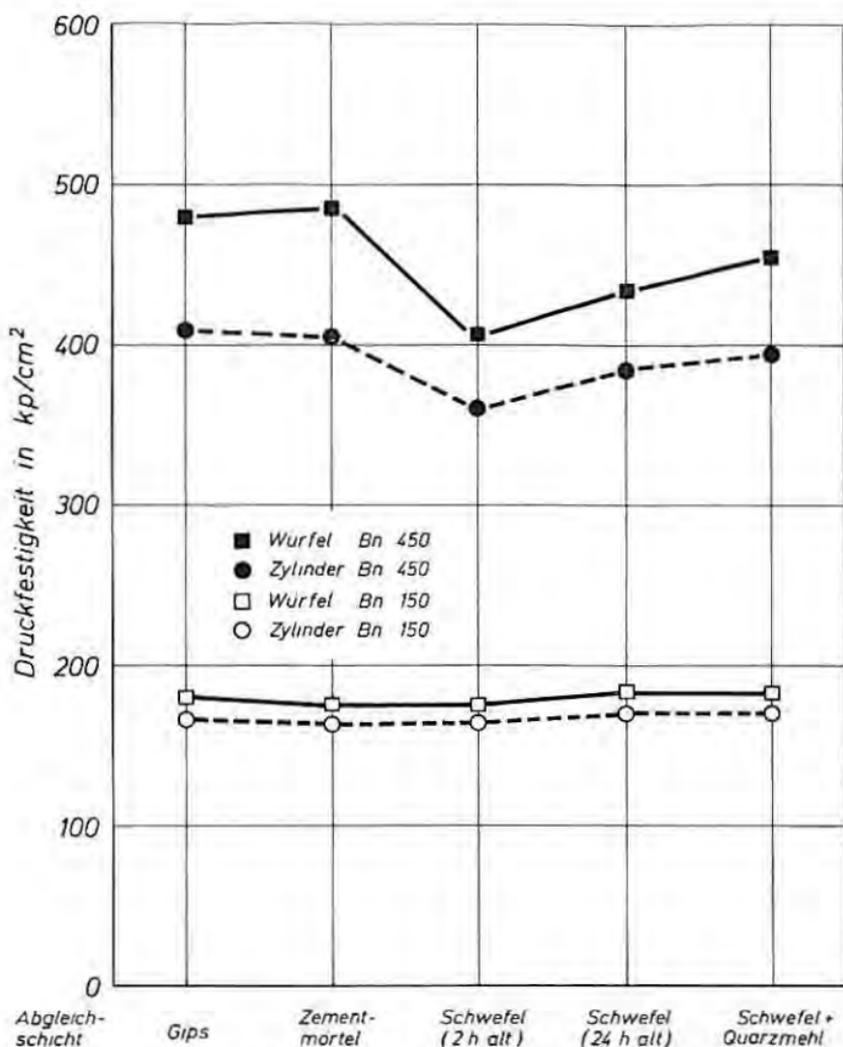


Bild 7 Einfluß stofflich verschiedener Abgleichschichten auf die Druckfestigkeit von Betonwürfeln und -zylindern (Mittel der Prüfwerte für unterschiedliche Schichtdicken und Beschaffenheit der Betondruckflächen)

sich bei den Abgleichschichten aus Schwefel bei einer Zunahme der Schichtdicke von 3 auf 6 mm ein Abfall der Druckfestigkeit um bis zu 90 kp/cm².

5.3. Einfluß der Beschaffenheit der Ausgangsflächen

Der Einfluß der Ausgangsflächen wird ebenfalls aus Bild 9 ersichtlich (vgl. auch Tafel 5). Die Prüfung der Würfel und Zylinder aus Beton Bn 150 ergab demnach, daß die Beschaffenheit der Betondruckflächen unter der Abgleichschicht für Betonfestigkeiten in dieser Größenordnung keinen nennenswerten Einfluß hat. Größere Unterschiede in der Druckfestigkeit der Würfel und Zylinder mit rauher gegenüber glatter Betondruckfläche stellten sich beim Beton der höheren Festigkeitsklasse Bn 450 ein. Während die Prüfkörper, deren aufgeraute Druckflächen mit Zementmörtel abgeglichen worden sind, zum Teil etwas höhere Druckfestigkeiten lieferten, ergab sich bei den entsprechenden sowohl mit reinem

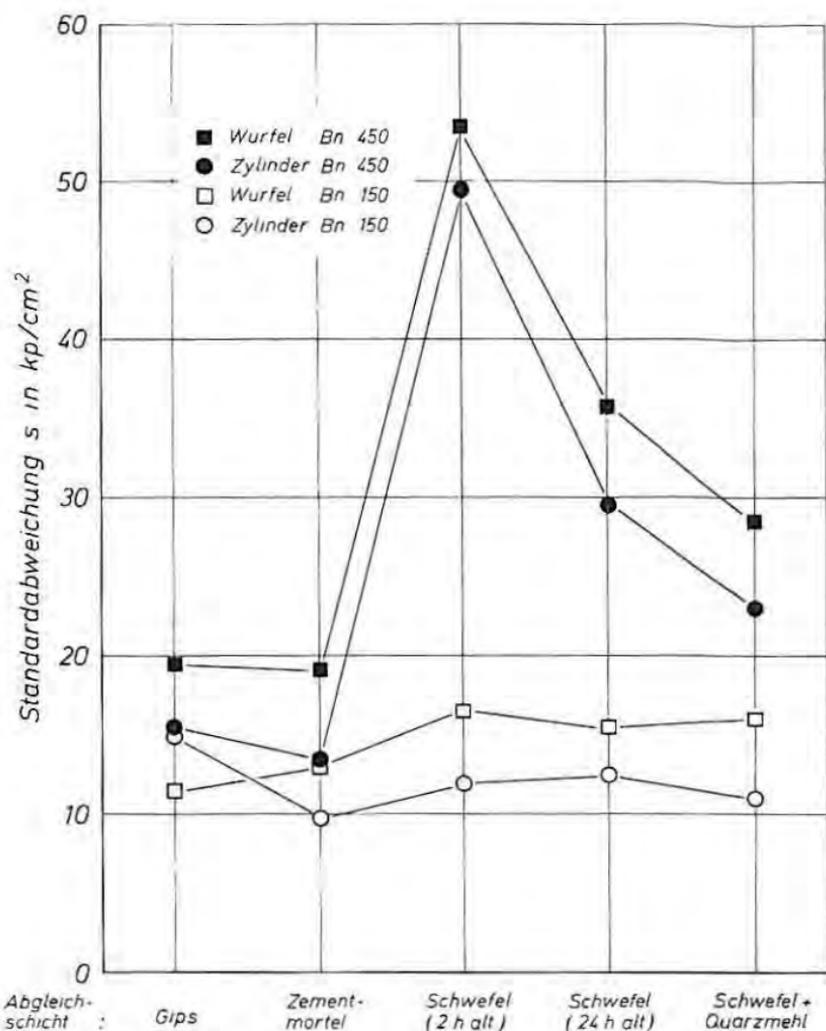


Bild 8 Standardabweichung der Druckfestigkeiten aller Prüfwerte zu den Mittelwerten in Bild 7

Zementmörtel abgeglichenen und im Alter von 2 Stunden bzw. 24 Stunden geprüften Prüfkörpern als auch bei den mit gemagertem Schwefel abgeglichenen Prüfkörpern eine Minderung der Druckfestigkeit durch eine raue Ausgangsfläche um bis zu 50 kp/cm^2 . Diese Minderung war bei den Würfeln ausgeprägter als bei den Zylindern. Sie war besonders deutlich bei den 2 Stunden alten Schwefelschichten.

6. Zusammenfassung und Folgerungen für die Praxis

6.1. An Würfeln (Kantenlänge 20 cm) und Zylindern ($d = 15$ cm, $h = 30$ cm) aus Beton Bn 150 und Bn 450 wurde der Einfluß verschiedener Abgleichschichten aus Zementmörtel, Hartgips und Schwefel und einem Gemisch aus Schwefel und Quarzmehl auf die Druckfestigkeit untersucht. Die 3 bis 10 mm dicken Abgleichschichten wurden auf ursprünglich formglatte oder aufgeraute

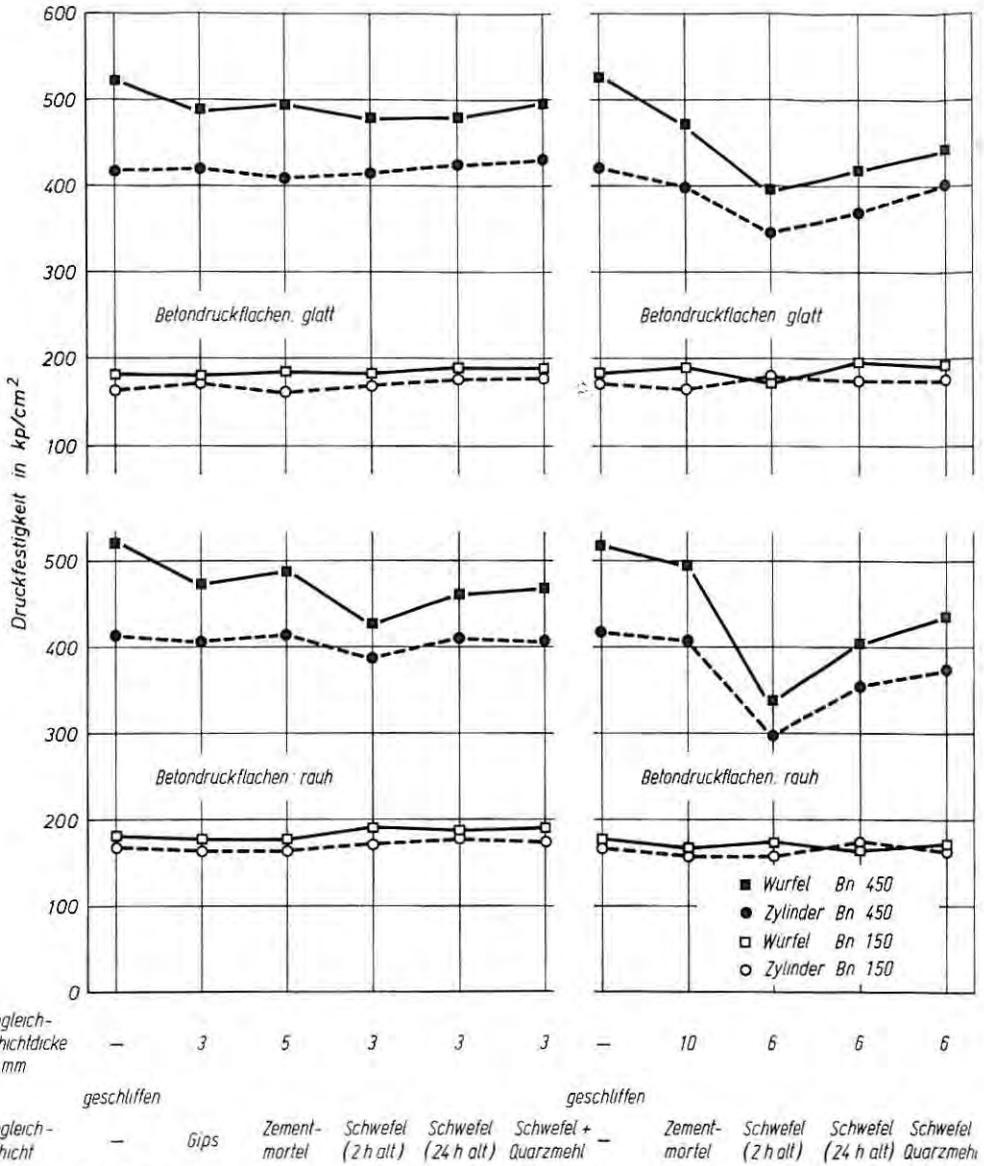


Bild 9 Einfluß der Beschaffenheit der Betondruckflächen und der Dicke von Abgleichschichten auf die Druckfestigkeit von Würfeln und Zylindern aus Beton Bn 150 und Bn 450

Betondruckflächen (Ausgangsflächen) der Prüfkörper aufgetragen. Die erhaltenen Prüfergebnisse wurden mit den Ergebnissen, die an Prüfkörpern mit formglatten und geschliffenen Prüflflächen erhalten wurden, verglichen.

6.2. Unabhängig von der Festigkeitsklasse des Betons der Prüfkörper wurden die höchsten und gleichmäßigsten Druckfestigkeiten erhalten, wenn die Betondruckflächen eben geschliffen wurden. Praktisch gleiche Druckfestigkeiten entstanden aber auch mit formglatten, ebenen Druckflächen oder solchen, die sachgemäß mit Zementmörtel abgeglichen worden waren.

6.3. Bei Betonen mit Druckfestigkeiten bis 200 kp/cm^2 fiel die Druckfestigkeit der Prüfkörper mit Abgleichschichten aus Hartgips, Schwefel oder gemagertem Schwefel ebenfalls etwa gleich groß aus wie die der Prüfkörper mit geschliffenen Flächen.

Bei der Prüfung von Würfeln und Zylindern der Festigkeitsklasse Bn 450 wurden mit Abgleichschichten mehr oder weniger verminderte Druckfestigkeiten erhalten. Festigkeitsmindernd wirkten sich hierbei eine geringere Eigenfestigkeit der Abgleichschicht gegenüber der Betonfestigkeit aus, was in der Regel auch mit einem niedrigen E-Modul verbunden ist. Ferner wirkten sich größere Schichtdicken und unregelmäßige Ausgangsflächen ungünstig aus. Bei einer Abgleichschicht aus Zementmörtel trat dagegen der Einfluß der Schichtdicke und der Rauigkeit der Betondruckfläche zurück. Bei dicken Schichten entstanden bei schwefelgebundener Abgleichschicht wegen deren geringem Elastizitätsmodul offenbar große Verformungen in der Abgleichschicht. Hierdurch wirkten sich, ähnlich wie bei weichen Zwischenlagen zwischen Druckplatte der Presse und der Druckfläche des Betons, Zugspannungen über die ganze Höhe des Zylinders aus, siehe Bild 10.

6.4. Die Druckfestigkeiten der Zylinder wurden durch die Abgleichschichten im allgemeinen etwas weniger vermindert als die der Würfel, für deren Druckfestigkeit sich meist auch eine etwas höhere Standardabweichung errechnete.



Bild 10 Spaltzugriß bei der Druckprüfung eines mit 6 mm dicker Schwefelschicht abgeglichenen Zylinders

6.5. Sofern keine Prüfkörper mit ebenen und formglatten Beton-druckflächen geprüft werden können, benötigt das Schleifen zwar die höchsten Investitionskosten, jedoch für die Herstellung ebener Druckflächen den geringsten Aufwand. Das Abgleichen mit Hartgips oder mit Zementmörtel ist verhältnismäßig einfach. Prüfkörper mit Abgleichschichten aus Gips können nach wenigen Stunden geprüft werden, solche mit Zementmörtel erst nach mehreren Tagen. Abgleichschichten aus Schwefel erlauben eine frühere Prüfung, doch ist das Herstellen der Abgleichschichten umständlicher.

Hartgips hoher Festigkeit kostet rd. das Doppelte eines Portlandzements Z 450 F oder Z 550 und ist auch nicht immer im Baustoffhandel erhältlich. Etwa dreimal mehr als Zement kostet der verwendete Brockenschwefel.

6.6. Allgemein können nachstehende Folgerungen zur Beachtung in der Praxis dienen:

Mit Würfeln und Zylindern aus Beton, die geschliffene, formglatte oder mit Zementmörtel abgegliche Druckflächen aufweisen und den Anforderungen der DIN 1048 Blatt 1 entsprechen, werden praktisch gleich große Druckfestigkeiten erhalten.

Würfel und Zylinder aus Beton mit Druckfestigkeiten bis 200 kp/cm^2 können auch mit dünnen Schichten aus Hartgips, Schwefel oder gemagertem Schwefel geprüft werden.

Bei höheren Druckfestigkeiten des Betons können Abgleichschichten aus Hartgips, gemagertem Schwefel und besonders aus reinem Schwefel zu geringeren Prüffestigkeiten führen, um so mehr je größer die Schichtdicke ist.

Die Streuung (Standardabweichung) von Einzelwerten der Druckfestigkeit gleicher Prüfkörper nimmt mit abnehmender Eigenfestigkeit und abnehmendem Elastizitätsmodul der Abgleichschicht zu. Festigkeit und Verformung der Abgleichschicht sollten daher möglichst in der Größenordnung des abzugleichenden Betons liegen.

Zylindrische Prüfkörper sind offensichtlich bei der Druckfestigkeitsprüfung weniger anfällig gegen unterschiedliche Abgleichschichten als Würfel. Sie weisen geringere Streuungen auf.

SCHRIFTTUM

- [1] Mängel, S.: Beitrag zur Prüfung von Betonwürfeln. Betonstein-Zeitung 34 (1968) H. 4, S. 197/200.
- [2] ASTM C 617-73; Standard method of capping cylindrical concrete specimens. 1973 Annual Book of ASTM Standards, Part 10. Amer. Soc. Testing and Materials, Philadelphia 1973.
- [3] Dahms, J.: Einfluß der Eigenfeuchtigkeit auf die Druckfestigkeit des Betons. beton 18 (1968) H. 9, S. 361/365; ebenso Betontechnische Berichte 1968, Beton-Verlag, Düsseldorf 1969, S. 113/126.
- [4] Troxel, G. E.: The effect of capping methods and end conditions before capping up on the compressive strength of concrete test cylinders. Proc. Amer. Soc. Testing Materials 41 (1941) S. 1038/1044.

- [5] Kennedy, T. B.: A limited investigation of capping materials for concrete test specimens. Proc. Amer. Concr. Inst. (1944/45) S. 117/126.
- [6] Masters, F. M., und A. C. Loewer: The effect of capping materials on apparent strength of concrete specimens. Concrete (Chicago) 60 (1952) Nr. 11, S. 30/36.
- [7] Werner, G.: The effect of type of capping material on the compressive strength of concrete cylinders. Proc. Amer. Soc. Testing Materials 58 (1958) S. 1166/1186.
- [8] McDonell, H. F.: Flyash-sulfur mixture for capping concrete test cylinders. Proc. Amer. Concr. Inst. 51 (1954/55) S. 573/576.
- [9] Price, W. H.: Factors influencing concrete strength. Proc. Amer. Concr. Inst. 47 (1951) S. 417/432.
- [10] Ahmed, S.: Effect of capping on the compressive strength of concrete cubes. Magazine of Concrete Research 7 (1955) Nr. 9, S. 21/24.
- [11] Henning, N. E.: Concrete test molds and concrete capping materials. Proc. Amer. Concr. Inst. 57 (1960/61) S. 851/854.
- [12] Collins, H. G.: Sulfur mixtures for capping. Proc. Amer. Concr. Inst. 37 (1940/41) S. 693/696.
- [13] CRD-C 29-53: Method of capping concrete specimens for compression tests. Handbook for Concrete and Cement, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U. S. Army, Vicksburg.
- [14] Walz, K.: Anleitung für Entnahme und Behandlung von Bohrkernen aus Betonfahrbahnen zur Prüfung auf Druckfestigkeit. beton 20 (1970) H. 6, S. 255/256; ebenso Betontechnische Berichte 1970, Belon-Verlag, Düsseldorf 1971, S. 95/98.