

61624

# Beton- und Zementdruckfestigkeiten in den USA und ihre Umrechnung auf deutsche Prüfwerte

Von Kurt Walz, Düsseldorf

## Übersicht

*Die im nordamerikanischen Schrifttum angeführten, nach den ASTM-Normen ermittelten Beton- und Zementgüten lassen sich für den gleichen Beton und Zement nicht mit den deutschen Festigkeitswerten vergleichen, weil die Prüfverfahren verschieden sind. Man muß die ASTM-Werte daher, unter Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den Prüfverfahren, auf solche nach DIN 1048 und DIN 1164 umrechnen, wenn man sich eine Vorstellung über die amerikanischen Güterwerte machen will.*

*Auf Grund von vergleichenden Untersuchungen werden einfach merkbare Beziehungen zwischen der Betondruckfestigkeit der ASTM-Zylinder und der von 20 cm-Würfeln nach DIN 1048 sowie zwischen der Zementnormenfestigkeit nach ASTM und der nach DIN 1164 aufgestellt. — Betondruckfestigkeiten und Normenfestigkeiten von Zementen, die in amerikanischen Bestimmungen festgelegt sind oder sich bei bemerkenswerten Untersuchungen fanden, werden umgerechnet und mit entsprechenden deutschen Güterwerten verglichen.*

## 1. Allgemeines

Beim Studium von nordamerikanischen Vorschriften und Berichten über Beton und Zement ist man veranlaßt, die Druckfestigkeit des Betons oder die Normendruckfestigkeit eines Zements auf die entsprechenden deutschen Güterwerte umzurechnen. Dies ist nicht einfach dadurch möglich, daß man die bekannten Umrechnungsfaktoren für inch in cm und pound in kp benutzt, sondern man muß auch berücksichtigen, daß den amerikanischen Güterwerten andere Prüfungen zugrunde liegen und daß sie daher auch nach Umrechnung auf das deutsche Maßsystem noch nicht vergleichbar sind.

## 2. Betondruckfestigkeit

### 2.1 Unterschiede in der Prüfung

Die Betondruckfestigkeit wird in den USA überwiegend, wie z. B. bei der Eignungs- und Güteprüfung, an Zylindern von 30 cm Höhe und 15 cm Durchmesser im Alter von 28 Tagen ermittelt. Dabei wird in der Regel nach den Standards der American Society for Testing and Materials (ASTM) [1, 2, 3] verfahren. Die Zylinder lagern bis zur Prüfung dauernd feucht bei  $23,0 \pm 1,7$  °C. In Deutschland wird die Betondruckfestigkeit an Würfeln

von 20 cm Kantenlänge bestimmt. Man hat bei einer Umrechnung daher nicht nur den Gestaltseinfluß (Zylinder – Würfel) zu berücksichtigen, sondern auch, daß die Würfel in Deutschland nach DIN 1048 bei etwas niedriger Temperatur, nämlich bei 15 bis 22 °C, erhärten und ferner, daß sie nach Luftlagerung geprüft werden (7 Tage feucht und 21 Tage an der Luft).

Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, welche Druckfestigkeiten nach ASTM und nach DIN 1048 für Beton gleicher Zusammensetzung und gleichen Verdichtungsgrades etwa gelten.

Die Druckfestigkeit wird in Amerika in pound/square inch, abgekürzt psi, ausgedrückt. 1 psi entspricht rd. 0,07 kp/cm<sup>2</sup>, so daß z. B. 3000 psi gleich 210 kp/cm<sup>2</sup> sind.

Für die Beziehung zwischen der Zylinderdruckfestigkeit Z (Zylinder h = 30 cm und d = 15 cm) und der Würfeldruckfestigkeit W eines Betons kann man den üblichen, bei gleicher Lagerung der Proben geltenden Verhältniswert von 0,85 : 1,00 voraussetzen. (Die Druckfestigkeit des Betons im Würfel fällt vor allem wegen des Einflusses der Endflächenreibung scheinbar größer aus.)

Es bleibt noch der Einfluß der unterschiedlichen Lagerung bis zur Prüfung zu berücksichtigen, denn der nach DIN 1048 gelagerte, bei der Druckprüfung schon weitgehend ausgetrocknete Würfel liefert eine höhere Druckfestigkeit als ein dauernd feucht

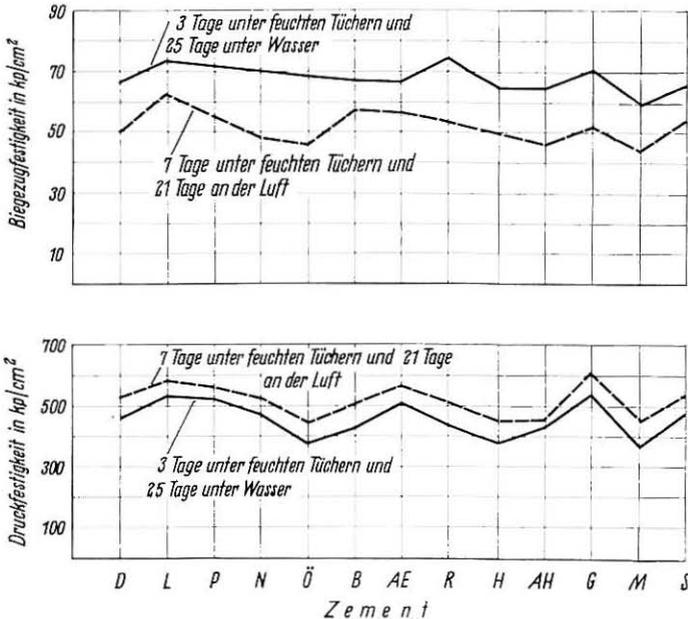


Bild 1 Einfluß einer Luft- oder Feuchtlagerung vor der Prüfung auf die Biegezug- und Druckfestigkeit von Beton

(Gleicher Straßenbeton aus 13 verschiedenen Zementen; Biegezugfestigkeit von Balken 55 cm · 10 cm · 10 cm; Druckfestigkeit von Balkenabschnitten mit 10 cm · 10 cm Belastungsfläche.)

gelagerter Würfel, obwohl die Hydratation des Zements durch die Feuchtlagerung sicher mehr gefördert wird als beim Würfel mit abschließender Luftlagerung.

An dieser geringeren Festigkeit des feuchten Betons dürfte vor allem die allgemein mit einer Durchfeuchtung verbundene „Erweichung“ beteiligt sein. Inwieweit hier in der äußeren, trockenen Zone möglicherweise vorhandene Schwindspannungen sich irgendwie auswirken, ist nicht bekannt. Sicher ist, daß Schwindspannungen bei austrocknenden Biegebalken mindestens vorübergehend die Biegezugfestigkeit herabsetzen können, wie dies auch aus dem oberen Teil des Bildes 1 hervorgeht [4]. Die Biegezugfestigkeit des vor der Prüfung trocken gelagerten Betons ging hier auf das 0,85- bis 0,68fache, im Mittel auf das 0,76fache, der Biegezugfestigkeit des dauernd feucht gelagerten Betons zurück. Die Druckfestigkeit des vor der Prüfung trocken gelagerten Betons lag dagegen um das 1,07- bis 1,23fache, im Mittel um das 1,14fache, höher als die Druckfestigkeit des feucht geprüften Betons.

Um festzustellen, ob Entsprechendes auch für Zylinder gilt und inwieweit es notwendig ist, die kleinere Festigkeit nach Feuchtlagerung bei der Umrechnung der Druckfestigkeit der feucht gelagerten ASTM-Zylinder auf die Druckfestigkeit der nach DIN 1048 vor der Prüfung trocken gelagerten Würfel zu berücksichtigen, wurden einige orientierende Versuche angestellt.

## 2.2 Druckfestigkeit von Würfeln und Zylindern nach Feuchtlagerung und Luftlagerung vor der Prüfung

### Herstellung

Sechs Würfel mit 20 cm Kantenlänge und sechs Zylinder ( $h = 30$  cm,  $d = 15$  cm) wurden je aus einem knapp weichen Beton A und einem steifen Beton B mit einem Portlandzement „wdo“ hergestellt, der eine Normendruckfestigkeit  $N_{28}$  von 453 kp/cm<sup>2</sup> hatte. Der Zuschlag bestand aus Rheinkies sand 0/30 mm, dessen Sieblinie etwa der Regelsieblinie E in Bild 2 der DIN 1045 entsprach. In Tafel 1 sind die wesentlichen Frischbetoneigenschaften aufgeführt.

Tafel 1 Frischbetoneigenschaften der Betone A und B für Würfel und Zylinder

Beton	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	Wasserelementwert	Konsistenz
A	235	0,66	Beton beim Schütten in Schollen zusammenhängend; Ausbreitmaß 39 cm
B	300	0,44	Feinmörtel schmierig-weich; Beton beim Schütten lose, unter Rüttelwirkung rasch weich werdend.

Die Würfel und Zylinder wurden lose auf den laufenden Rütteltisch aufgesetzt, mit Beton A in 20 sec gefüllt und noch 10 sec gerüttelt, mit Beton B in 30 sec gefüllt und weitere 30 sec gerüttelt (Rütteltisch im Leerlauf:  $n = 2800/\text{min}$ ,  $s = 1,0$  mm).

Tafel 2 Mittelwerte der Prüfung von Würfeln (W) und Zylindern (Z) aus Beton A und B (F = Feuchtlagerung; L = Luftlagerung)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Beton	Rohdichte in kg/dm <sup>3</sup> im Alter von 1 Tag				Druckfestigkeit in kp/cm <sup>2</sup>								
					Würfel			Zylinder			$\frac{Z_F}{W_F}$	$\frac{Z_L}{W_L}$	$\frac{W_L}{Z_F}$
	Würfel		Zylinder		W <sub>F</sub>	W <sub>L</sub>	$\frac{W_L}{W_F}$	Z <sub>F</sub>	Z <sub>L</sub>	$\frac{Z_L}{Z_F}$			
F	L	F	L										
A	2,38	2,37	2,39	2,39	288	298	1,035	234	246	1,050	0,81	0,83	1,27
B	2,39	2,40	2,42	2,42	503	540	1,073	445	483	1,085	0,88	0,89	1,21
Mittel	—	—	—	—	—	—	1,05	—	13	1,07	0,85		1,24

### Lagerung und Prüfung

Je drei der Würfel und Zylinder lagerten 28 Tage bei 20°C: entweder 1 bzw. 2 Tage unter feuchten Tüchern, dann unter Wasser (Feuchtlagerung, F), oder 1 bzw. 2 Tage unter feuchten Tüchern, 6 bzw. 5 Tage unter Wasser, dann an der Luft (Luftlagerung, L).

### Ergebnisse

In Tafel 2 finden sich die Mittel der wenig streuenden Prüfergebnisse und die Verhältniszahlen der Würfel- und Zylinderdruckfestigkeiten W und Z bei Prüfung nach den beiden Lagerungen (F und L). Hieraus ergibt sich, daß die luftgelagerten Würfel W<sub>L</sub> die 1,05fache Druckfestigkeit der feucht gelagerten erreichten (Spalte 8); der entsprechende Wert für die Zylinder war 1,07 (Spalte 11)<sup>1)</sup>. Die festigkeitsmindernde Wirkung der Feuchtlagerung tritt also auch bei Zylindern ein.

Das Verhältnis der Zylinder- zur Würfel-Druckfestigkeit für gleich gelagerte Proben ergab sich auch hier im Mittel zu rd. 0,85 (Spalten 12 und 13).

Werden die Druckfestigkeiten der entsprechend DIN 1048 nach Luftlagerung geprüften Würfel mit denen der nach ASTM feucht geprüften Zylinder unmittelbar verglichen (Spalten 7 und 9), so erhält man das Verhältnis der Würfel- zur Zylinderdruckfestigkeit im Mittel zu 1,24 (Spalte 14). Das ist also der Faktor, der den Lagerungseinfluß (Spalte 11) und den Gestaltseinfluß (Spalten 12 und 13) einschließt, entsprechend etwa 1,07/0,85. Man hat also die Umrechnung der ASTM-Zylinderdruckfestigkeiten Z in psi auf die Druckfestigkeiten W von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge nach DIN 1048 in kp/cm<sup>2</sup> mit dem Faktor  $0,07 \cdot 1,24 = 0,087$  vorzunehmen. Nach diesen Feststellungen ergibt sich, aufgerundet,

$$W \text{ [kp/cm}^2\text{]} = 0,09 \cdot Z \text{ [psi]}$$

<sup>1)</sup> Der nach Bild 1 etwas größere Verhältniszahl von 1,14 (siehe unter 2.1) läßt sich mit dem der 20 cm-Würfel nicht vergleichen, weil er an kleineren Proben und durch Teilbelastung erhalten wurde.

Dabei ist allerdings die etwas höhere Lagerungstemperatur nach ASTM (siehe unter 2.1), die eine etwas größere Zylinderdruckfestigkeit liefern dürfte und sich in einem etwas kleineren Faktor ausdrücken würde, nicht erfaßt. Andererseits können die Zylinder im Vergleich zu den Würfeln eine etwas günstigere Festigkeit erhalten haben, weil sie bei der angewandten Rüttelverdichtung offenbar etwas dichter entstanden (Tafel 2, Spalten 2 und 4 sowie 3 und 5). Die beiden entgegengesetzten Einflüsse können sich daher weitgehend ausgleichen, so daß die Umrechnung mit dem Faktor 0,09 berechtigt erscheint<sup>2)</sup>.

### 2.3 Einige Vergleiche zwischen deutschen und amerikanischen Betongüteklassen

#### Stahlbeton

In den amerikanischen Stahlbetonbestimmungen des American Concrete Institute (ACI) sind die zulässigen Betonspannungen den folgenden ASTM-Zylinderdruckfestigkeiten (Betongüteklassen nach 28 Tagen) zugeordnet [5]:

2000	2500	3000	3750	5000 psi
------	------	------	------	----------

Mit dem Umrechnungsfaktor von 0,09 entsprechen diese den Würfeldruckfestigkeiten nach DIN 1048 von

180	225	270	337	450 kp/cm <sup>2</sup>
-----	-----	-----	-----	------------------------

Die größte zulässige Druckspannung bei Bauteilen, die auf Biegung beansprucht sind, ist zum 0,45fachen hiervon angesetzt; auf die Würfeldruckfestigkeit bezogen sind dies

81	101	121	152	202 kp/cm <sup>2</sup>
----	-----	-----	-----	------------------------

In Deutschland unterteilt man für Stahlbeton (DIN 1045) und Stahlbetonfertigbauteile (DIN 4225) vergleichsweise nach den Güteklassen

B 160	B 225	B 300	B 450
-------	-------	-------	-------

mit den zugeordneten zulässigen Druckspannungen, z. B. in Platten und Balken mit Rechteckquerschnitt ( $d > 8$  cm), von

60	80	100	130 kp/cm <sup>2</sup>
----	----	-----	------------------------

Die Umrechnung zeigt, daß die hier angeführten zulässigen Spannungen nach der ACI-Standard höher liegen als die in DIN 1045 und DIN 4225 festgelegten.

#### Straßenbeton

Für Straßenbeton soll nach der ACI-Standard 617-58 [6] die 28 Tage-Zylinderdruckfestigkeit nicht kleiner als 4000 psi sein, das sind, als Würfeldruckfestigkeit ausgedrückt,  $0,09 \cdot 4000 = 360$  kp/cm<sup>2</sup>. Man begnügt sich also in den USA mit einer geringeren Betongüte als bei uns, wo für Betondecken auf Bundesfern-

<sup>2)</sup> Ohne Berücksichtigung der etwas kleineren Druckfestigkeit der ASTM-Zylinder infolge Prüfung nach Feuchtlagerung würde sich nur ein Faktor von  $0,07/0,85 = 0,082$  ergeben.

straßen eine Mindestdruckfestigkeit von 450 kp/cm<sup>2</sup> nach 28 Tagen gefordert wird.

Aus dem kürzlich erschienenen Bericht Nr. 2 über die Baustoffe und die Konstruktion der Fahrbahndecken des nunmehr abgeschlossenen AASHO Road Test [7] geht hervor, daß bei dieser den Stand der USA-Straßenbautechnik berücksichtigenden Groß-Versuchsstrecke für den Beton nach 14 Tagen eine Zylinderdruckfestigkeit von mindestens 3500 psi entsprechend 0,09 · 3500 gleich 315 kp/cm<sup>2</sup> Würfeldruckfestigkeit verlangt wurde<sup>3)</sup>. Im Mittel entstanden 4000 · 0,09 = 360 kp/cm<sup>2</sup> nach 14 Tagen. Errechnet man dafür die 28 Tage-Festigkeiten des Betons durch Interpolation aus den mitgeteilten Druckfestigkeiten für 7 Tage, 21 Tage und 3 Monate, so erhält man für den AASHO Test die vorgeschriebene Zylinderdruckfestigkeit, auf 28 Tage bezogen, zu 3740 psi oder zu 337 kp/cm<sup>2</sup> Würfeldruckfestigkeit bzw. die nach 28 Tagen erlangte Zylinderdruckfestigkeit zu 4280 psi oder 385 kp/cm<sup>2</sup> Würfeldruckfestigkeit. Also auch bei diesem vergleichenden Großversuch über die Dauerhaftigkeit von Betondecken und bituminösen Decken wies der Beton die nach unseren Maßstäben etwas bescheidene Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen von rd. 385 kp/cm<sup>2</sup> auf.

#### *Betonzusammensetzung und Druckfestigkeit*

Noch ein anderer Vergleich mit umgerechneten ASTM-Zylinderdruckfestigkeiten ist aufschlußreich. Nach den ACI-Bestimmungen [5] kann für Betongüten bis 4000 psi auf eine sonst vor Baubeginn anzustellende Eignungsprüfung (Nachweis der Betondruckfestigkeit für die vorgesehene Mischung) verzichtet werden, wenn bestimmte Wasserzementwerte nicht überschritten werden. Diese Wasserzementwerte  $w$  und die Zylinderdruckfestigkeiten  $Z$  nach 28 Tagen bzw. die errechneten zugehörigen Würfeldruckfestigkeiten sind in Tafel 3 aufgeführt.

Tafel 3 Beziehung zwischen den größten zulässigen Wasserzementwerten und Zylinderdruckfestigkeiten nach ACI Standard 318-56, Tafel 302 (a), sowie entsprechende Würfeldruckfestigkeiten (DIN 1048)

max. Wasserzementwert $w$	Zylinderdruckfestigkeit $Z$ psi	Würfeldruckfestigkeit $W$ kp/cm <sup>2</sup>
0,71	2000	180
0,64	2500	225
0,58	3000	270
0,51	3500	315
0,44	4000	360

Zum Entwurf oder zur Festlegung von Betonmischungen für eine bestimmte Würfeldruckfestigkeit nach DIN 1048 benutzen wir

<sup>3)</sup> Bei dieser Umrechnung ist allerdings angenommen worden, daß der für das Alter von 28 Tagen ermittelte Faktor von 0,09 auch für die Prüfung nach 14 Tagen gilt.

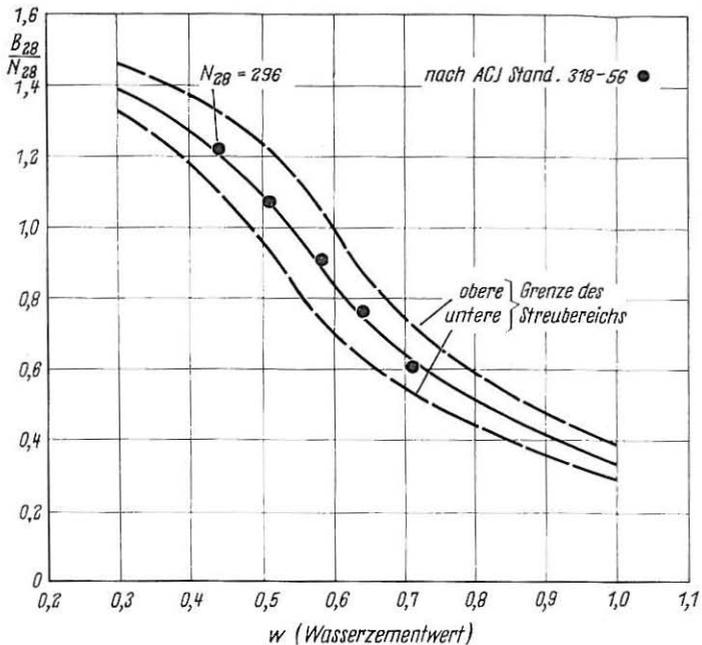


Bild 2 Beziehung zwischen Wasserzementwert  $w$ , Normdruckfestigkeit des Zements  $N_{28}$  und Betondruckfestigkeit  $B_{28}$ . (Punkte entsprechen der Beziehung in Tafel 3 nach ACI Standard 318-56 mit einer Zementnormenfestigkeit  $N_{28}$  nach DIN 1164 von 296 kp/cm<sup>2</sup>.)

eine aus vielen Versuchen gewonnene, graphisch dargestellte Beziehung zwischen Wasserzementwert  $w$ , Zementnormendruckfestigkeit  $N_{28}$  (DIN 1164) und Betondruckfestigkeit  $B_{28}$  nach Bild 2 [8]. Man kann damit, z. B. mit der mittleren Kurve, aus den Wasserzementwerten und Würfeldruckfestigkeiten der Tafel 3 errechnen, welche Zementgüte nach DIN 1164 den amerikanischen Beziehungen zugrunde liegt. Die in Bild 2 eingetragenen Punkte ergaben sich mit einer Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 von nur 296 kp/cm<sup>2</sup>. Diese Zementfestigkeit ist, gemessen an der tatsächlichen Güte der amerikanischen Zemente, nieder und liegt noch etwas unter dem nach ASTM Stand. C 150-61 für gewöhnlichen Portlandzement (Type I) verlangten Mindestwert (siehe unter 3.3). Oder anders ausgedrückt: Die Zementgüte erscheint so nieder, weil sie bei dieser Berechnung stellvertretend auch die Sicherheitsfaktoren für die Schwankung der Betonmischung und die Unterschiede der Normfestigkeit der Zemente einschließt.

Man erkennt, daß eine gute Übereinstimmung der beiden unabhängig voneinander aufgestellten Beziehungen zwischen Wasserzementwert und Druckfestigkeit besteht und daß die Wasserzementwerte nach Tafel 3 eine hohe Sicherheit für die Druckfestigkeit des Betons einschließen.

Eine ähnlich gute Übereinstimmung ergibt sich nach Bild 3 für die Wasserzementwerte ab 0,44 der Festlegungen in der ACI

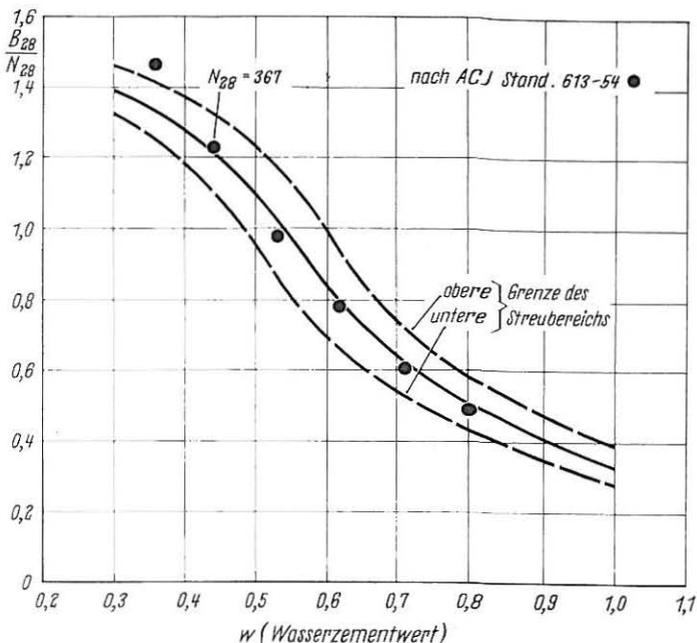


Bild 3 Beziehung zwischen Wassorzementwert  $w$ , Normdruckfestigkeit des Zements  $N_{28}$  und Betondruckfestigkeit  $B_{28}$ . (Punkte entsprechen der Beziehung in Tafel 4 nach ACI Standard 613-54 mit einer Zementnormenfestigkeit  $N_{28}$  nach DIN 1164 von  $367 \text{ kp/cm}^2$ .)

Tafel 4 Beziehung zwischen den Wassorzementwerten und Zylinderdruckfestigkeiten nach ACI Standard 613-54, Tafel 5, sowie entsprechende Würfeldruckfestigkeiten (DIN 1048)

max. Wassorzementwert $W$	Zylinderdruckfestigkeit $Z$ psi	Würfeldruckfestigkeit $W$ kp/cm <sup>2</sup>
0,36	6000	540
0,44	5000	450
0,53	4000	360
0,62	3200	288
0,71	2500	225
0,80	2000	180

Standard 613-54, siehe Tafel 4 [9], wenn die zugehörigen Würfelfestigkeiten eingetragen werden. In dieser Empfehlung erscheint die Zementnormenfestigkeit, auf DIN 1164 bezogen, wesentlich höher, nämlich mit  $367 \text{ kp/cm}^2$ , und die Sicherheit entsprechend geringer.

Diese Beispiele mögen ausreichend zeigen, daß man über eine einfache Umrechnung aufschlußreiche Vergleiche zwischen amerikanischen und deutschen Betonfestigkeiten anstellen kann.

### 3. Amerikanische Zemente und Beziehung zwischen Normendruckfestigkeit nach ASTM und nach DIN 1164

#### 3.1 Amerikanische Zemente

Der überwiegend in den USA verwendete Zement ist der Portlandzement, der in 5 Typen I...V geliefert wird; der Bedarf für die einzelnen Typen ist jedoch sehr unterschiedlich. Dazu kommt neuerdings der gewöhnliche Portland-Hochofenschlackenzement (I S; Portland blast-furnace slag cement) mit einem Schlacken-gehalt von 25...65% und seine Sondertypen mit mäßiger Hydrationswärme (MH) und mäßigem Sulfatwiderstand (MS) sowie ein kombinierter Typ MH-MS. Auch ein Portland-Puzzolan-zement (I P) mit 15...50% Puzzolan ist genormt. Die Portlandzement-Typen I, II und III sowie alle Typen I S und den Portland-Puzzolan-zement I P gibt es außerdem noch als luftporenbildenden Zement (A; air-entraining cement). Damit sind nach den ASTM Standards (C 150-61; C 175-61; C 205-61 T; C 340-58 T) insgesamt 18 Zementtypen und -arten möglich; doch werden einige nur in sehr geringem Ausmaße angewendet. Die gesamte Zement-erzeugung der 176 USA-Werke betrug im Jahre 1961 rd. 54,6 Mill. t; der Anteil der verschiedenen Zementtypen an der Gesamterzeugung des Jahres 1960 ist in Tafel 5 wiedergegeben [10]. Hierin ist der Anteil der in 68% der Werke hergestellten luftporenbildenden Zemente (A-Zemente) von rd. 13% im Ver-gleich zu Deutschland, wo solche Zemente nicht hergestellt werden, verhältnismäßig groß. Bei der Verwendung von LP-Zementen muß man jedoch beachten, daß zunächst sehr gleichbleibende Mischungs- und Baustellenverhältnisse hierfür Voraussetzung sind und daß die Luftporenbildung durch schwan-kende Temperatur, Konsistenz und Sandzusammensetzung der Betonmischungen auf der Baustelle beeinflußt und verändert wird. Da der Anteil des LP-Zusatzmittels im Zement und damit in einer bestimmten Betonmischung immer gleich groß ist, liegt damit unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen auch der ent-stehende Luftgehalt fest, der je nach der spezifischen Luftporen-bildung des Zements und durch die Zusammensetzung der Be-tonmischung über oder unter einem gewünschten Wert (z. B. 3,5%) liegen kann. Wenn ein bestimmter, z. B. für hohen Frost-widerstand des Betons erforderlicher Luftgehalt zu erzeugen und gleichmäßig einzuhalten ist, kann es daher bei der Ver-wendung von LP-Zement nötig werden, ein LP-Zusatzmittel bzw. reinen Zement noch am Mischer zuzugeben, je nachdem der

Tafel 5 Anteil der verschiedenen US-Zementtypen an der Ge-samterzeugung im Jahre 1960 [10]

Typ	Zementart	Anteil in %
I	Gewöhnlicher PZ	rd. 90
II	PZ mit mäßiger Hydrationswärme und erhöhtem Sulfatwiderstand	rd. 3
III	PZ mit hoher Frühfestigkeit	rd. 4,5
IV	PZ mit niedriger Hydrationswärme	< 0,1
V	PZ mit hohem Sulfatwiderstand	rd. 0,1
I S	Portland-Hochofenschlackenzement	rd. 1
I P	Portland-Puzzolan-zement	rd. 1

Luftgehalt der Mischungen zu klein oder zu groß ausfällt. Solche auf der Baustelle notwendig werdenden Korrekturen erschweren u. U. die Anwendung eines LP-Zements.

### 3.2 Normenprüfung

Zur Kennzeichnung der Zementgüte wird in den USA und in Deutschland die Festigkeit an Normenkörpern aus feinsandigem Mörtel bestimmt. Die deutschen Zemente der Güteklasse Z 275 werden nach 7 und 28 Tagen geprüft, Güteklasse Z 375 nach 3, 7 und 28 Tagen und Güteklasse Z 475 zusätzlich noch nach 1 Tag. Für die Prüfung der amerikanischen Zemente gilt ASTM C 109-58: Standard method of test for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2 in. cube specimens). Prüfungen für den Portlandzement des Typs I (gewöhnlicher Zement) finden nach 3, 7 und 28 Tagen und für Typ III (frühhochfester PZ) nur nach 1 Tag und 3 Tagen statt.

Bei einem Vergleich der ASTM-Normendruckfestigkeiten mit solchen nach DIN 1164 genügt es nun ebenfalls nicht (siehe 2.1), die psi-Werte durch Multiplikation mit 0,07 in  $\text{kp/cm}^2$  umzurechnen, denn der ASTM-Prüfmörtel ist anders zusammengesetzt als der nach DIN 1164; außerdem sind die Größe der Prüfkörper und die Lagerungstemperatur unterschiedlich.

Nach ASTM C 109-58 besteht der amerikanische Normenmörtel aus 1,00 Gew.-T. Zement, 2,75 Gew.-T. Normensand und etwa 0,49 Gew.-T. Wasser (Richtwert). Der Mörtel weist knapp weiche Konsistenz und der Normensand (Quarzsand aus Ottawa, Illinois) folgende Kornverteilung auf:

bis	0,15	0,30	0,6	1,2	mm
rd.	2	28	98	100	%

Als Probekörper dienen für die Druckprüfung Würfel von 5,1 cm Kantenlänge, die bei 23 °C ( $\pm 1,7$  °C) in Wasser gelagert werden.

Der Normenmörtel nach DIN 1164 setzt sich aus 1,00 Gew.-T. Zement, 3,00 Gew.-T. Normensand und 0,60 Gew.-T. Wasser zusammen. Er ist infolge seines höheren Wassergehalts weich. Das Normensandgemisch enthält im Mittel etwa folgende Anteile:

bis	0,063	0,09	0,2	0,63	1,25	mm
	8	12	30	35	100	%

Die Prismen 4 cm · 4 cm · 16 cm werden in Wasser von nur 18...21 °C gelagert und die Druckfestigkeit nach der Biegeprüfung durch Teilbelastung auf einer Fläche von 4,0 cm · 6,25 cm (25 cm<sup>2</sup>) bestimmt. Auch auf gleiche Maßeinheit ( $\text{kp/cm}^2$ ) bezogen müssen daher mit der ASTM- und DIN-Prüfung für den gleichen Zement unterschiedliche Normenfestigkeiten entstehen.

### 3.3 Vergleichsuntersuchungen

#### Versuche

Um festzustellen, in welchem Verhältnis die Normendruckfestigkeiten eines Zements bei der Prüfung nach ASTM und DIN 1164 tatsächlich zueinander stehen, wurden mit jedem Prüfverfahren 20 Zemente für das Prüfalter von 3, 7 und 28 Tagen untersucht. Die 28 Tage-Normendruckfestigkeit der Zemente (10

Portlandzemente, 8 Hochofenzemente und 2 Traßzemente) lagen nach DIN 1164 zwischen rd. 300 und 700 kp/cm<sup>2</sup>. Zur Ermittlung der ASTM-Festigkeiten der Zemente wurde, unter Benutzung des Ottawa-Normensandes, nach ASTM C 109-58 verfahren. Der Wasserzusatz soll hiernach so bemessen werden, daß das Fließmaß des Mörtels auf dem ASTM-Ausbreittisch um 100 bis 115 % des ursprünglichen Durchmessers des Mörtelkegels (4") zunimmt, also zwischen 20,3 cm und 21,8 cm liegt. Bei den Vergleichsversuchen wurde zur Vereinfachung für die Mörtel aus den verschiedenen Zementen stets der gleiche Wasserzementwert von 0,52 gewählt. Mit ihm entstanden je nach Zement auf dem ASTM-Ausbreittisch Fließmaße von 19,0 bis 23,0 cm, im Mittel von 21,2 cm. Die Fließmaße und damit der Wasserzementwert der Mörtel entsprachen mit Ausnahme der Mörtel mit den 3 Hochofenzementen, welche Fließmaße von 22,6 cm, 22,7 cm und 23,0 cm aufwiesen, und der Mörtel aus den beiden Traßzementen mit zu kleinen Fließmaßen (19,4 cm und 19,0 cm) der ASTM-Norm. Alle anderen Bedingungen (siehe unter 3.2) wurden eingehalten.<sup>4)</sup>

Die Versuchsergebnisse sind in Bild 4 für die 3 Tage-, in Bild 5 für die 7 Tage- und in Bild 6 für die 28 Tage-Druckfestigkeiten wiedergegeben. Zieht man eine Ursprungsgerade, die dem gemittelten Verhältniswert zwischen den Normendruckfestigkeiten  $N_A$  nach ASTM und  $N_D$  nach DIN 1164 entspricht, so läßt sich damit die Beziehung zwischen den beiden Prüffestigkeiten hinreichend genau wiedergeben; lediglich einige Prüfwerte der Portlandzemente Z 475 fallen etwas stärker heraus.

Zur Umrechnung von ASTM-Normendruckfestigkeiten  $N_A$  auf ungefähr Normendruckfestigkeiten  $N_D$  nach DIN 1164 können hiernach folgende gerundete Beziehungen benutzt werden, für das Prüfalter von

$$3 \text{ Tagen: } N_D = 0,08 \cdot N_A$$

$$7 \text{ Tagen: } N_D = 0,085 \cdot N_A$$

$$28 \text{ Tagen: } N_D = 0,09 \cdot N_A$$

#### Beurteilung

Aus den Bildern 4, 5 und 6 geht auch hervor, daß die Druckfestigkeit des ASTM-Prüfmörtels  $N_A$  (in kp/cm<sup>2</sup>) überwiegend und zum Teil erheblich kleiner als die Druckfestigkeit des DIN-Mörtels  $N_D$  ist, obwohl der Wasserzementwert des ASTM-Mörtels mit  $w_A = 0,52$  kleiner als der nach DIN 1164 ( $w_D = 0,60$ ) ist. (Es finden sich unter 60 Prüfwerten nur 3 Ausnahmen – für

<sup>4)</sup> In einer Untersuchung über die Schwankungen der amerikanischen Portlandzemente [11] wurde auch dem Einfluß unterschiedlicher Wasserzementwerte zwischen 0,45 und 0,51 auf die Normendruckfestigkeit des ASTM-Prüfmörtels nachgegangen. Hiernach entstand die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen mit dem von uns einheitlich benutzten Wasserzementwert von 0,52 gegenüber dem in der ASTM Standard C 109-58 angegebenen Richtwert von 0,49 um nur rd. 2,7 % kleiner. Mörtel, der dabei mit dem oberen Grenzfließmaß von 23,0 cm hergestellt wurde, wies gegenüber Mörtel mit dem Fließmaß an der unteren Grenze (19,0 cm) nur eine um 2 % kleinere Druckfestigkeit auf. Die Druckfestigkeit des von uns verwendeten ASTM-Prüfmörtels, der also zur Vereinfachung immer mit dem gleichen Wasserzementwert (0,52) hergestellt worden ist, dürfte also dadurch praktisch nicht bemerkenswert beeinflusst worden sein.

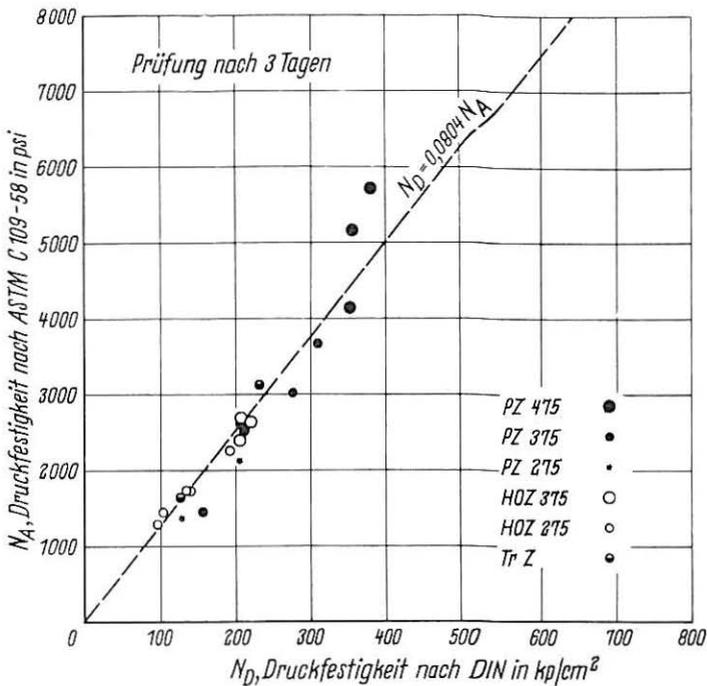


Bild 4 Beziehung zwischen den Zementnormendruckfestigkeiten  $N_D$  nach DIN 1164 [kp/cm<sup>2</sup>] und  $N_A$  nach ASTM [psi] im Alter von 3 Tagen

das Prüfalter von 3 Tagen bei zwei PZ 475 und einem HOZ 275 –, bei denen die ASTM-Druckfestigkeit etwa gleich groß oder größer als die DIN-Festigkeit entstand.)

Nach dem Wasserzementwert-Gesetz sollten sich die Druckfestigkeiten  $N_D$  und  $N_A$  der beiden Mörtel aus gleichem Zement und den beiden Wasserzementwerten von 0,52 und 0,60 bei gleichem Luftporengehalt umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Wasserzementwerte verhalten. Damit würde sich für die Umrechnung ergeben:

$$N_D / (N_A \cdot 0,07) = w_A^2 / w_D^2$$

$$\text{oder } N_D = (w_A^2 / w_D^2) \cdot N_A \cdot 0,07 \text{ kp/cm}^2.$$

Mit den Wasserzementwerten der beiden Prüfmörtel müßte daher  $N_D = (0,27 / 0,36) \cdot N_A \cdot 0,07 = 0,0525 \cdot N_A$  sein. Die Gleichungen für die gemittelten Beziehungslinien der Bilder 4, 5 und 6 ( $N_D = 0,0804 \dots 0,0903 \cdot N_A$ ) weichen im Einklang mit dem hier herausgestellten Widerspruch zum Wasserzementwert-Gesetz von dieser rechnerisch erhaltenen Gleichung ebenfalls erheblich ab.

Da bei den beiden Prüfverfahren der Einfluß der unterschiedlichen Normensande sowie der Gestalt und Größe der Prüfkörper nicht sehr erheblich sein kann und die etwas höhere Temperatur bei der Lagerung nach ASTM (rd. + 3 °C) eher festigkeitssteigernd wirkt, müssen andere Einflüsse, wie z. B. Veränderung des Wasserzementwertes durch Wasserabsondern oder unterschiedlicher Luftgehalt, für die Abweichung von der

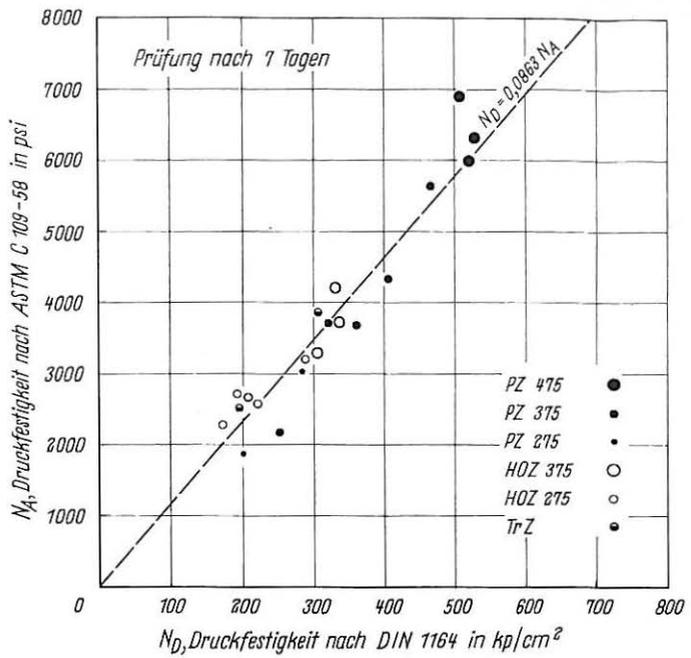


Bild 5 Beziehung zwischen den Zementnormdruckfestigkeiten  $N_D$  nach DIN 1164 [ $\text{kp/cm}^2$ ] und  $N_A$  nach ASTM [psi] im Alter von 7 Tagen

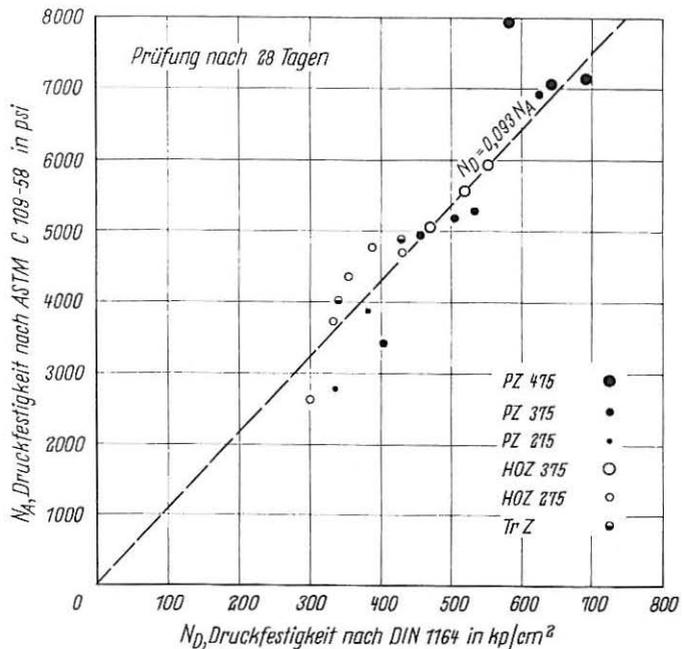


Bild 6 Beziehung zwischen den Zementnormdruckfestigkeiten  $N_D$  nach DIN 1164 [ $\text{kp/cm}^2$ ] und  $N_A$  nach ASTM [psi] im Alter von 28 Tagen

Regel maßgebend sein. Es war daher noch zu klären, welchen Porenraum bzw. wirksamen Wasserzementwert die erhärtenden Prüfmörtel aufwiesen. Dazu sei folgendes ausgeführt: Der in den Formen erhärtende ASTM-Prüfmörtel sonderte praktisch kein Wasser ab. Dies war jedoch beim Mörtel nach DIN 1164 mehr oder weniger deutlich der Fall und sein tatsächlicher Wasserzementwert wurde daher entsprechend kleiner. Andererseits war der Gehalt an eingemischten Luftporen beim ASTM-Mörtel mit einem Mittelwert von 5,1% größer als beim DIN-Mörtel mit im Mittel nur 1,5%. (Der ASTM-Mörtel wird in einem rasch laufenden elektrischen Quirlmischer, einer Art Küchenmischer, gemischt.) Maßgebend für die Druckfestigkeit ist aber unter sonst gleichen Verhältnissen der im erhärtenden Mörtel verbleibende Porenraum, der aus den eingemischten Luftporen sowie dem nicht abgesonderten oder chemisch gebundenen Restwasser gebildet wird.

Bei früheren Versuchen ist festgestellt worden, daß der nach dem Wasserabsondern im erstarrenden Mörtel nach DIN 1164 noch vorhandene Wassergehalt  $W$  im Mittel nur noch einen Wasserzementwert von 0,54 (gegenüber 0,60 beim Mischen) ergibt. Dazu tritt noch der Luftgehalt  $L$  entsprechend 1,5% Luftporen. Der für die Festigkeit bestimmende, wirksame Wasser (+ Luftporen)-Zementwert  $w_D$  ist also  $(W + L) : Z$ . Er errechnete sich mit der Stoffraumrechnung für den frischen, erstarrten Mörtel nach DIN 1164 im Mittel zu 0,57. Der hohe Luftgehalt des ASTM-Mörtels führte dagegen zu einem Wasser(+ Luftporen)-Zementwert von  $\bar{w}_A = 0,62$ .

Man erhält nunmehr für die Umrechnung nach dem Wasserzementwert-Gesetz (siehe vor) die Beziehung  $N_D = (0,384/0,325) N_A \cdot 0,07$  oder  $N_D = 0,083 \cdot N_A$ . Diese Beziehung liegt, wenn man die anderen Einflüsse und die bei einer solchen vereinfachten Berechnung weniger erfaßten Feinheiten der Wasserbindung außer acht läßt, im Bereich der versuchsmäßig erhaltenen Beziehungen der Bilder 4, 5 und 6. Damit ist begründet, daß der oben herausgestellte Widerspruch der Prüfergebnisse zum Wasserzement-Gesetz nur scheinbar ist. In Wirklichkeit entstehen also im Durchschnitt die ASTM-Druckfestigkeiten wegen des höheren Luftgehalts mit einem größeren „wirksamen Wasserzementwert“ als die Druckfestigkeiten mit dem Mörtel nach DIN 1164, dessen „wirksamer Wasserzementwert“ durch das Wasserabsondern und den geringeren Luftgehalt kleiner ausfällt als 0,60.

### 3.4 Normendruckfestigkeiten amerikanischer Zemente nach DIN 1164

#### Mindestnormenfestigkeiten

Als Druckfestigkeit – nach der die Güte der Zemente im allgemeinen beurteilt wird – werden in den USA gemäß ASTM C 150-61: Standard specification for portland cement mindestens verlangt:

nach	1	3	7	28	Tagen
für PZ Typ I	–	1200	2100	3500	psi
PZ Typ III	1700	3000	–	–	psi

Dem entsprechen bei einer Prüfung nach DIN 1164 folgende Druckfestigkeiten<sup>9)</sup>:

für PZ Typ I	–	96	178	315	kp/cm <sup>2</sup>
PZ Typ III	119 <sup>6)</sup>	240	–	–	kp/cm <sup>2</sup>

Nach DIN 1164 gelten folgende Mindestdruckfestigkeiten:

nach	1	3	7	28	Tagen
für Z 275	–	–	110	275	kp/cm <sup>2</sup>
Z 375	–	150	225	375	kp/cm <sup>2</sup>
Z 475	100	300	360	475	kp/cm <sup>2</sup>

Hiernach liegen die geforderten Mindestdruckfestigkeiten für PZ Typ I nach 7 und 28 Tagen zwischen den Mindestdruckfestigkeiten für Z 275 und Z 375 und die Mindestdruckfestigkeit des PZ Typ III nach 3 Tagen zwischen denen für Z 375 und Z 475.

#### *Festigkeiten von Handelszementen*

Die unterschiedliche Normenfestigkeit einzelner Zementmarken oder Schwankungen derselben wird in den USA bei der Mischungszusammensetzung des Betons verhältnismäßig wenig herausgestellt (siehe unter 2.3). Kennzeichnend dafür ist die Einstellung der National Ready Mixed Concrete Assoc., Washington, der besondere Bedeutung zukommt, weil 90 bis 95 % des Betons, der in den Großstädten verbaut wird, aus Transportbetonwerken stammt [12]; 56 % des Zements gehen in Transportbetonwerke. Die NRMCA liefert den Beton lieber nach einer bestellten, eine hohe Sicherheit einschließenden Mischungszusammensetzung, um sich so weniger Schwierigkeiten auszusetzen als bei Lieferung nach Festigkeit. Wenn man jedoch den Beton für eine bestimmte Festigkeit durch eine vorausgehende Eignungsprüfung oder nach früheren, belegten Feststellungen zusammensetzt, so wird „mit gesundem Menschenverstand“ eine nach Erfahrung bei dem betreffenden Zement gelegentlich zu erwartende unterste Normenfestigkeit berücksichtigt [12].

Trotzdem führte die NRMCA mit dem ASTM Committee C 1 umfangreiche Untersuchungen über die Schwankungen der Normeneigenschaften der Zementlieferungen von 5 Werken (Nr. 2...6) und deren Einfluß auf die Betoneigenschaften durch [11]. Die Proben der 5 Portlandzemente des Typs I wurden 14tägig über 1 Jahr hinweg (1955/56) laufend entnommen (26 Proben). Der Bericht über eine zweite, größere Untersuchung der NRMCA erschien vor kurzem [13]. Dieses Mal wurden 14 verschiedene Portlandzemente (10 des Typs I und 4 des Typs II) aus 13 verschiedenen Werken in die Untersuchung einbezogen und während eines Jahres (1960/61) zwölfmal entnommen und geprüft.

Die beiden Untersuchungen wurden je von einer Stelle durchgeführt. Aus der Untersuchung 1955/56 ist auch der Variationskoeffizient infolge Prüfstreuung erkennbar; er erscheint im Mittel mit rd. 2,5 %. Hier seien nur die auf DIN 1164 umgerechneten Normendruckfestigkeiten nach 28 Tagen aufgeführt (Tafel 6).

Demnach erstreckten sich bei der jüngsten Untersuchung 1960/61 die Jahresmittel der 28 Tage-Normendruckfestigkeit von 14 ame-

<sup>3)</sup> Umrechnung für die Prüfaller von 3, 7 und 28 Tagen mit den unter 3.3 angegebenen gerundeten Beziehungen.

<sup>6)</sup> Für die Normendruckfestigkeit nach 1 Tag fand sich die Beziehung  $N_D = 0,07 \cdot N_A$ ; allerdings standen für diese Umrechnung nur die Festigkeiten der drei geprüften PZ 475 zur Verfügung.

Tafel 6 Druckfestigkeit von USA-Portlandzementen der Typen I und II im Alter von 28 Tagen (Prüfung nach ASTM, umgerechnet auf Prüferte nach DIN 1164)

Prüfreihe	Jahresmittel aus allen Zementen	größtes	kleinstes	größter	kleinster
		Jahresmittel		Variationskoeffizient	
1955/56 (5 Zemente, Typ I, je 26mal)	432 kp/cm <sup>2</sup> (130 Prüfungen)	489 kp/cm <sup>2</sup> (Zement 5)	331 kp/cm <sup>2</sup> (Zement 4)	9,6 % (Zement 5)	5,3 % (Zement 6)
1960/61 (14 Zemente, Typ I und II, je 12mal)	461 kp/cm <sup>2</sup> (168 Prüfungen)	563 kp/cm <sup>2</sup> (Zement 11; Typ I)	391 kp/cm <sup>2</sup> (Zement 12; Typ I)	10,5 % (Zement 7)	5,1 % (Zement 10)

rikanischen Portlandzementen der Typen I und II über einen Bereich von 391 kp/cm<sup>2</sup> bis 563 kp/cm<sup>2</sup> (verlangter Mindestwert nach 28 Tagen für Typen I und II, umgerechnet auf DIN 1164, 315 kp/cm<sup>2</sup>).

Tafel 7 28 Tage-Zementnormendruckfestigkeit der deutschen Portlandzemente (Jahresmittelwerte 1961)

Güteklasse	28 Tage-Zementnormendruckfestigkeit in kp/cm <sup>2</sup>		
	Mindestwert	Höchstwert	Mittel
PZ 275	330 (391)*	530 (563)*	450 (461)*
PZ 375	400	580	490
PZ 475	530	670	580

\* Die zwischengeschalteten Klammerwerte sind die Jahresmittel 1960/61 der amerikanischen Untersuchung nach Tafel 6.

Aus der Normenüberwachung in der Bundesrepublik ergaben sich für deutsche Portlandzemente die in Tafel 7 wiedergegebenen Normenfestigkeiten nach DIN 1164 (Jahresmittelwerte 1961), die amerikanischen Festigkeitswerte aus Tafel 6 sind in Klammern eingetragen. Danach liegen die Güterwerte dieser 14 Zemente der Typen I und II sowohl mit dem kleinsten und größten Jahresmittel als auch mit dem Gesamtittel zwischen den entsprechenden Werten der PZ 275 und 375 des Jahres 1961.

#### Beispiel für Zemente aus dem Straßenbau

Für einen weiteren Vergleich sei die Untersuchung von 7 amerikanischen Portlandzementen angeführt, die vor dem Kriege mit gleichem Mörtel, wie er heute in der DIN 1164 festgelegt ist, geprüft wurden [14]. Fünf dieser Zemente wurden als ausgesucht „gute“ Zemente für Straßenbeton bezeichnet und zwei ohne weiteren Hinweis geliefert. Die Druckfestigkeit fand sich nach 28 Tagen zwischen 463 und 649 kp/cm<sup>2</sup>, im Mittel zu 590 kp/cm<sup>2</sup> (Mahlfeinheit als Rückstand auf dem Prüfsieb 0,09 mm zwischen 0 und 2,2 %).

Allgemein ist es, von den amerikanischen Baubestimmungen her gesehen, nicht nötig, die Zementfestigkeit der unteren Güte-

klassen (PZ Typen I und II) so hoch anzubieten, weil ohne Rücksicht auf die Zementgüte meist verhältnismäßig hohe Zementgehalte im Beton üblich sind. Auch bei uns sollte man bedenken, daß sehr hohe Normenfestigkeiten eines Z 275 sich nicht immer durch eine entsprechende Verminderung des Zementgehalts im Beton wirtschaftlich nutzen lassen, denn aus verschiedenen Gründen (u. a. Rostschutz, Undurchlässigkeit und nicht zuletzt zur Gewährleistung einer angemessenen Verarbeitbarkeit) muß auch Beton, für den nur eine mäßige Festigkeit verlangt wird, in der Regel einen angemessenen Zementgehalt aufweisen.

#### 4. Zusammenfassung

##### *Beton-Druckfestigkeit*

4.1 Das Verhältnis der Druckfestigkeit der Zylinder ( $h = 30$  cm,  $d = 15$  cm) zur Druckfestigkeit der 20 cm-Würfel ergab sich für gleiche Lagerung der Zylinder und Würfel vor der Prüfung (trocken oder feucht) im Mittel wie 0,85 : 1,00 und damit entsprechend dem im allgemeinen benutzten Verhältniswert.

4.2 Die nach ASTM feucht geprüften Zylinder und ebenso die – entgegen DIN 1048 – feucht geprüften Würfel lieferten je eine etwas kleinere Druckfestigkeit als nach Luftlagerung. Die Druckfestigkeit nach Luftlagerung zu der nach Feuchtlagerung verhielt sich bei den Zylindern wie 1,07 : 1 und bei den Würfeln wie 1,05 : 1. Nach ASTM Stand. C 192-59, C 31-59 und C 39-61 werden die Zylinder feucht geprüft. Die Prüfung der Würfel nach DIN 1048 erfolgt im Alter von 28 Tagen jedoch nach Trockenlagerung.

4.3 Bei der Umrechnung der Druckfestigkeit von Zylindern auf die Druckfestigkeit von 20 cm-Würfeln nach DIN 1048 ist also, außer der Verschiedenheit der Meßgrößen (psi, kp/cm<sup>2</sup>) und der Gestalt, auch der unterschiedliche Feuchtigkeitszustand der Zylinder gegenüber dem der Würfel zu berücksichtigen.

4.4 Mit diesen Unterschieden ergibt sich für die Umrechnung der Zylinderfestigkeit Z nach ASTM auf die Würfeldruckfestigkeit W nach DIN 1048 für das Prüfalter von 28 Tagen die gemittelte Beziehung

$$W \text{ [kp/cm}^2\text{]} = 0,09 \cdot Z \text{ [psi].}$$

4.5 In amerikanischen Stahlbetonbestimmungen (ACI Stand. 318-56) sind zur Gewährleistung der einzelnen Betongüteklassen (28 Tage-Betondruckfestigkeit) bestimmte Höchst-Wasserzementwerte festgelegt. Mit diesen verhältnismäßig niedrigen Wasserzementwerten und der durchschnittlich hohen Normenfestigkeit der amerikanischen Portlandzemente dürfte die Betondruckfestigkeit in der Regel weit über der angestrebten Betongüte erhalten werden.

##### *Zementnormenfestigkeit*

4.6 In den USA wird überwiegend Portlandzement Typ I verwendet (90 % der gesamten Zementherzeugung).

4.7 Für die Umrechnung der mit der amerikanischen Normenprüfung (ASTM Stand. C 109-58) erhaltenen Normendruckfestig-

keiten ( $N_A$ ) auf solche nach DIN 1164 ( $N_D$ ) wurden folgende mittlere Beziehungen gefunden:

$$\begin{aligned} \text{für das Prüfalter von } 3 \text{ Tagen: } N_D &= 0,08 \cdot N_A, \\ 7 \text{ Tagen: } N_D &= 0,085 \cdot N_A, \\ 28 \text{ Tagen: } N_D &= 0,09 \cdot N_A. \end{aligned}$$

4.8 Umgerechnet auf die Normenfestigkeit nach DIN 1164 wird vom Portlandzement Typ I nach 28 Tagen eine Mindestdruckfestigkeit von 315 kp/cm<sup>2</sup> verlangt; diese, ebenso wie auch die Mindestfestigkeit nach 7 Tagen, liegt zwischen den in DIN 1164 für Z 275 und Z 375 festgesetzten Mindestwerten.

4.9 Die Jahresmittelwerte von 14 verschiedenen amerikanischen Portlandzementen der Typen I und II fanden sich nach einer 1960/61 angesetzten Untersuchung, auf Werte nach DIN 1164 umgerechnet, für das Prüfalter von 28 Tagen zwischen 391 kp/cm<sup>2</sup> und 563 kp/cm<sup>2</sup>. Das Jahresmittel aus allen 14 Zementen betrug 461 kp/cm<sup>2</sup>. — Diese Festigkeiten liegen zwischen den entsprechenden Jahresmittelwerten 1961 deutscher Portlandzemente Z 275 und Z 375. (Dabei ist allerdings zu beachten, daß die angezogene Untersuchung der 14 amerikanischen Zemente, obwohl sie unseres Wissens die umfassendste neuere Untersuchung ist, kaum Anspruch darauf erheben kann, die Gesamtheit der USA-Zemente zuverlässig zu kennzeichnen.)

#### SCHRIFTTUM :

- [1] ASTM C 192-59: Standard method of making and curing concrete compression and flexure test specimens in the laboratory. 1961 Book of ASTM Standards, Baltimore 1961, S. 728/733.
- [2] ASTM C 31-59: Standard method of making and curing concrete compression and flexure test specimens in the field. 1961 Book of ASTM Standards, Baltimore 1961, S. 724/727.
- [3] ASTM C 39-61: Standard method of test for compressive strength of molded concrete cylinders. 1961 Book of ASTM Standards, Baltimore 1961, S. 721/723.
- [4] Walz, K.: Druckfestigkeit — Abschnitt VI, C, 2 — in: O. Graf, Handbuch der Werkstoffprüfung, 3. Bd. 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin 1957, S. 412/419.
- [5] ACI Standard 318-56: Building code requirements for reinforced concrete. Proc. Amer. Concrete Inst. 52 (1955/56) S. 913/986, Tafel 302 (a) und 305 (a).
- [6] ACI Standard 617-58: Specifications for concrete pavements and concrete bases. Proc. Amer. Concrete Inst. 55 (1958/59) S. 53/81.
- [7] Highway Research Board: The AASHTO Test, Report 2, Materials and Construction. Highway Research Board, Special Report 61 B, Washington 1962, S. 95, 106 und 108.
- [8] Walz, K.: Wie werden betontechnische Erkenntnisse für das Bauen nutzbar gemacht? beton 10 (1960) H. 10, S. 483/490; ebenso Betontechnische Berichte 1960, Beton-Verlag, Düsseldorf 1961, S. 107/125.
- [9] ACI Standard 613-54: Recommended practice for selecting proportions for concrete. Proc. Amer. Concrete Inst. 51 (1954/55) S. 49/64, Tafel 5.
- [10] Bureau of Mines: Minerals Year Book 1960, Vol. I, Chapter Cement. Washington 25, D. C.
- [11] Walker, S., and D. L. Bloem: Variations in portland cement. Proc. Amer. Soc. Test. Materials 58 (1958) S. 1009/1032.
- [12] Walz, K., P. Misch und H. Schönrock: Beton in den USA. Schriftenreihe der Zementindustrie, H. 30, Düsseldorf 1962.
- [13] Walker, S., and D. L. Bloem: Variations in portland cement, Part. 2. Proc. Amer. Soc. Test. Materials 61 (1961) S. 1059/1077.
- [14] Graf, O.: Eigenschaften amerikanischer und deutscher Straßenbauzemente. Zement 26 (1937) H. 24, S. 389/395, und H. 25, S. 405/408.