

Die verschiedene Handhabung der Untersuchung ist darauf zurückzuführen, daß, während die Streckgrenze der Eiseneinlagen schon bei der Anlieferung auf jeden Fall in ihrer unteren Begrenzung bekannt ist, womit der durch die zulässige Eisenzugspannung als Teil der Streckgrenze bestimmte Sicherheitsgrad keinesfalls unterschritten wird, beim Beton erst durch besondere Ableitungen die erforderliche Würfelfestigkeit ermittelt werden muß, die keinesfalls den beabsichtigten Sicherheitsgrad unterschreitet. Eine bei der Bauausführung nachgewiesene größere Würfelfestigkeit würde dann diesen Sicherheitsgrad entsprechend erhöhen.

Die weitere Sicherheitsuntersuchung der Eisenbetonkonstruktionen, deren Zerstörung infolge zu großer Querkräfte in der Nähe der Auflager erfolgt, soll derart gehandhabt werden, daß ermittelt wird, inwieweit die erreichbare Schubfestigkeit des Verbundes von der Güte des Betons und von der Art der Schubsicherung abhängt.

Vor Vornahme der Untersuchung des Sicherheitsgrades der einzelnen Konstruktions- teile werden nachstehend zunächst die für diese Untersuchung in der Hauptsache maßgeblichen baustofflichen Bezugsgrößen, nämlich die Würfel- und Bauwerksfestigkeit sowie die Prismen- und Biegedruckfestigkeit des Betons, außerdem die Streckgrenze der Eiseneinlagen kurz besprochen<sup>1)</sup>. Da überdies die Kenntnis der Formänderungen des Betons sowie der Einfluß der wiederholten Belastungen für diese Untersuchung notwendig ist, wird anschließend auch auf diese Formänderungen bzw. auf diesen Einfluß kurz eingegangen.

### 3. Die für die Ermittlung des Sicherheitsgrades maßgeblichen wichtigsten baustofflichen Bezugsgrößen.

#### a) Die Würfelfestigkeit des Betons.

Im allgemeinen ist es üblich, die Druckfestigkeit des Betons an Versuchskörpern in Form von Würfeln nachzuweisen. Das Abdrücken dieser Würfel erfolgt bekanntlich nach vorhergehendem Abgleichen der abzudrückenden Flächen in Druckpressen zwischen ebenen und parallelen Platten genau mittig und stoßfrei.

Es ist klar, daß die derart ermittelte Druckfestigkeit nicht unmittelbar mit der Festigkeit des Betons im Bauwerk verglichen werden darf. Denn sowohl die Größe der Versuchskörper wie die Art ihrer Prüfung beeinflusst das Ergebnis. Auch kann dasselbe dadurch beeinflusst werden, daß bei reichlicher Wasserzugabe zum Beton das Wasser in den bei Herstellung der Probewürfel verwendeten, dicht schließenden eisernen Formen nicht abfließen kann<sup>2)</sup>.

Inwieweit die Größe der Versuchskörper das Ergebnis beeinflusst, geht aus nebenstehenden vom Ver-

	30-cm-Würfel	20 cm-Würfel	Erhöhung der Festigkeit
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
Zement A . . .	256	288	13
Zement B . . .	316	342	8
Zement C . . .	412	456	11

<sup>1)</sup> Die Zug- und Schubfestigkeit des Betons wird in einem späteren Abschnitt besonders behandelt.

<sup>2)</sup> Der Einfluß der Stampfarbeit bei erdfeuchtem Beton auf das Ergebnis wird hier nicht weiter erwähnt, da ein solcher Beton für die Herstellung von Eisenbetonkonstruktionen gewöhnlich nicht in Betracht kommt.

Diesen Zahlen ist zu entnehmen, daß die Würfel mit 20 cm Kantenlänge im Mittel eine um etwa 10% größere Druckfestigkeit aufweisen als jene mit 30 cm Kantenlänge<sup>1)</sup>.

Dies ist zu beachten, wenn z. B. die Versuche des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton<sup>2)</sup> für irgendwelche praktische Zwecke ausgewertet werden, da bei diesen Versuchen die Druckfestigkeit des verwendeten Betons bisher fast durchweg an Würfeln von 30 cm Kantenlänge nach-

#### a) Einfluß der Druckrichtung.

	Druckrichtung		Abnahme der Festigkeit %
	senkrecht zur Einschüttrichtung kg/cm <sup>2</sup>	parallel zur Einschüttrichtung kg/cm <sup>2</sup>	
Zement A . . .	288	268	7
Zement B . . .	342	326	5
Zement C . . .	456	431	5

gewiesen wurde, während auf den Baustellen fast nur noch Würfel mit 20 cm Kantenlänge verwendet werden<sup>3)</sup>.

Inwieweit die Art der Prüfung das Ergebnis beeinflusst, geht aus nebenstehender Zusammenstellung hervor, in der die Abhängigkeit der Würfel-Festigkeit eines bestimmten Betons von der Wahl der Druckrichtung (senkrecht oder parallel zur Einschüttrichtung des Betons in die Würfel-Form) und der Geschwindigkeit der Laststeigerung gezeigt wird.

#### b) Einfluß der Geschwindigkeit der Laststeigerung.

	Laststeigerung je Sekunde		Zunahme der Festigkeit %
	etwa 2 kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	etwa 6 kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	
Zement A . . .	288	312	8
Zement B . . .	342	374	9
Zement C . . .	456	488	7

Die Wahl der Druckrichtung beeinflusst demnach das Ergebnis um rd. 6%, die Geschwindigkeit der Laststeigerung dagegen um rd. 8%.

Vorstehende Ausführungen lassen bereits erkennen, daß die Ermittlung der Druckfestigkeit des Betons aus der Würfelprobe einer bestimmten Festlegung bedarf, wenn sie als Bezugsgröße für die Ableitung des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen dienen soll. Für eine solche Festlegung kommen bekanntlich die in den D.B., Abschnitt D, enthaltenen Vorschriften in Betracht, die, besonders soweit sie sich auf die Größe der Versuchskörper aus Beton, wie er bei Eisenbetonbauten Verwendung findet (§ 4, 1), und auf die Vornahme der Druckprobe (§ 8) beziehen, unbedingt einzuhalten sind. Auch die Verwendung eiserner Würfelformen ist vorgeschrieben (§ 5, 1).

Vorstehende Ausführungen lassen weiter erkennen, daß die durch die Würfelprobe nach diesen Vorschriften ermittelte Druckfestigkeit des Betons zunächst eine künstliche Größe ist, deren Zusammenhang mit der Bauwerksfestigkeit erst nachzuweisen ist. Im folgenden Abschnitt wird dieser Zusammenhang behandelt.

Eine selbstverständliche Voraussetzung für die Verwendung der Würfelprobe als Bezugsgröße ist auf jeden Fall die, daß der jeweils zu prüfende Beton auch tatsächlich der auf der Baustelle angemachten und zur Verarbeitung kommenden Mischung entnommen ist, demnach die jeweiligen Festigkeitseigenschaften des in den verschiedenen

<sup>1)</sup> Eine ähnliche Zunahme der Druckfestigkeit des Betons wiesen auch Burchartz (Arm. Beton 1912, S. 291) und Graf (11), S. 2, nach.

<sup>2)</sup> Dieser Ausschuß wird weiterhin mit D. A. f. E. abgekürzt.

<sup>3)</sup> Die an Würfeln von 20 cm Kantenlänge nachgewiesene Druckfestigkeit des Betons wird weiterhin mit  $\sigma_{1020}$  bezeichnet. Bei anderer Kantenlänge der Würfel wird diese entsprechend vermerkt.

Bauwerksteilen vorhandenen Betons möglichst getreulich wiedergibt. Alle unvermeidlichen Schwankungen dieser Eigenschaften, welche z. B. durch den Mischvorgang, die Zuschlagstoffe, den Wassergehalt usw. bedingt sind, müssen bei der Würfelprobe unbedingt zum Ausdruck kommen.

Verfasser hat anlässlich der umfangreichen, etwa 240 000 m<sup>3</sup> betragenden Beton- und Eisenbetonarbeiten beim 2. Ausbau der Mittlere Isar AG., München, durch fortlaufende Proben festgestellt, in welcher Größenordnung solche Schwankungen auftreten können. Von einigen sog. „Ausreißern“ abgesehen, ergab sich nämlich, wenn der Mittelwert sämtlicher auf ein bestimmtes Mischungsverhältnis und auf Würfeln von 20 cm Kantenlänge bei jeweils annähernd gleichbleibender Steife bezogener Betondruckfestigkeiten sowie die zugehörigen Schwankungen der Grenzwerte zusammengestellt werden, folgendes Bild:

Mischungsverhältnis*)	Steife	Mittlere Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Schwankungen der Grenzwerte %
135 kg Zement je m <sup>3</sup> fertigen Beton	erdfeucht	170	± 44
160 „ „ „ „ „ „	„	213	± 34
200 „ „ „ „ „ „	„	238	± 38
260 „ „ „ „ „ „	weich	298	± 22
300 „ „ „ „ „ „	„	309	± 21
360 „ „ „ „ „ „	„	324	± 17
400 „ „ „ „ „ „	„	392	± 9

\*) Die für die möglichst genaue Einhaltung des jeweils vorgeschriebenen Mischungsverhältnisses erforderlichen Mengen an Bindemittel und Zuschlagsmaterial wurden durch besondere Vorversuche festgestellt (vgl. B. u. E. 1931, Heft 11).

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht, nahmen die Schwankungen der Grenzwerte mit zunehmendem Zementgehalt des Betons ab. Während dieselben bei einem Mischungsverhältnis von 135 kg Z/m<sup>3</sup> ± 44 % betragen, erreichten sie bei einem Mischungsverhältnis von 400 kg Z/m<sup>3</sup> nur noch ± 9 %. Dies ist in der Hauptsache darauf zurückzuführen, daß der Beton bei fetteren Mischungsverhältnissen eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Veränderlichkeiten in der Zementzugabe, in der Kornzusammensetzung des Zuschlagsmaterials sowie in der Wasserzugabe aufweist als bei mageren Mischungsverhältnissen.

Wie aus der vorstehenden Zusammenstellung weiter hervorgeht, sind die Schwankungen der Grenzwerte bei den für hochbeanspruchte Eisenkonstruktionen vorwiegend in Betracht kommenden Mischungsverhältnissen von 270 kg Z/m<sup>3</sup> bis 360 kg Z/m<sup>3</sup> immer noch recht erheblich, weshalb nicht eindringlich genug davor gewarnt werden kann, durch die vielfach angewandte besondere Sorgfalt bei der Herstellung der Probewürfel dazu beizutragen, daß ein falsches Bild über die tatsächliche Güte des Betons im Bauwerk und damit über den Sicherheitsgrad solcher Konstruktionen entsteht.

Die in der vorstehenden Zusammenstellung angeführten Würfelfestigkeiten, die nur den unter Verwendung von gewöhnlichem Portlandzement hergestellten Beton umfassen, lassen auch erkennen, daß die auf den Baustellen der Mittlere Isar AG. erzielten Betondruckfestigkeiten teilweise recht beträchtlich waren. Dies ist einestils

auf die heutige Güte dieser Zemente zurückzuführen, andernteils aber auch darauf, daß das für die Betonherstellung verwendete Zuschlagsmaterial durchweg gewaschen und aufbereitet wurde.

Bei Verwendung von hochwertigen Zementen wurden diese Würfelfestigkeiten noch wesentlich gesteigert. So ergaben sich bei einem Mischungsverhältnis von 400 kg Z/m<sup>3</sup> Würfelfestigkeiten von etwa 450 bis 500 kg/cm<sup>2</sup>.

Diese in der Hauptsache durch die heutige Zementveredlung mögliche Steigerung der Betondruckfestigkeiten ist bereits so beträchtlich, daß zur näheren Kennzeichnung derselben die Bezeichnung „höchstwertiger Beton“ angemessen erscheint<sup>1)</sup>.

Überhaupt empfiehlt es sich, zur näheren Kennzeichnung der durch die Würfelfestigkeit zum Ausdruck gebrachten Güte des Betons eine zahlenmäßige Abgrenzung der für die verschiedenen Festigkeitsstufen üblichen Bezeichnungen vorzunehmen.

In willkürlicher, aber zweckmäßiger Weise wird die folgende Abgrenzung vorgeschlagen, der Würfelfestigkeiten von 20 cm Kantenlänge und eine Erhärtungsdauer des Betons von etwa 4 bis 8 Wochen zugrunde liegen:

1. Geringwertiger Beton:  $\sigma_{w_{20}} < 120 \text{ kg/cm}^2$ ,
2. Gewöhnlicher        "     $\sigma_{w_{20}} = \text{rd. } 120 \text{ bis } 180 \text{ kg/cm}^2$ ,
3. Höherwertiger       "     $\sigma_{w_{20}} = \text{ " } 180 \text{ " } 250 \text{ " } ,$
4. Hochwertiger        "     $\sigma_{w_{20}} = \text{ " } 250 \text{ " } 400 \text{ " } ,$
5. Höchstwertiger     "     $\sigma_{w_{20}} > 400 \text{ kg/cm}^2$ .

Wie ersichtlich, lehnt sich der erste Teil der vorgeschlagenen Abgrenzung an die D. B. (§ 29) an, die Beton mit  $\sigma_{w_{20}} < 120 \text{ kg/cm}^2$  für Eisenbetonkonstruktionen nicht zulassen und für Eisenbetonkonstruktionen mit normalen Beanspruchungen, je nach deren Größe, den Nachweis einer Würfelfestigkeit von mindestens  $\sigma_{w_{20}} = 120$  bis etwa  $180 \text{ kg/cm}^2$  sowie für Eisenbetonkonstruktionen mit den vorgesehenen erhöhten zulässigen Beanspruchungen, ebenfalls je nach deren Größe, den Nachweis einer Würfelfestigkeit von mindestens  $\sigma_{w_{20}} = 180$  bis etwa  $250 \text{ kg/cm}^2$  verlangen. Für die Zulassung weitergehender Beanspruchungen, wie sie nachfolgend behandelt werden, kommt in der Hauptsache die Verwendung eines hochwertigen Betons in Betracht, dessen Druckfestigkeit innerhalb der angeführten Grenzen schwankt, während der als „höchstwertig“ bezeichnete Beton zur Erhöhung des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen dient.

Da die Würfelfestigkeit des Betons gewöhnlich die einzige bekannte Bezugsgröße ist, auf die sich die Sicherheitsberechnung der Eisenbetonkonstruktionen aufbaut, soweit deren Zerstörung nicht durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen oder infolge der Wirkung der Querkräfte eingeleitet wird, kommt ihr eine weitgehende praktische Bedeutung zu. Aus diesem Grunde ist der nachstehend behandelte Vergleich zwischen der Würfelfestigkeit des Betons und seiner Bauwerksfestigkeit einerseits und zwischen der Würfelfestigkeit des Betons und seiner Prismen- bzw. Biegedruckfestigkeit andererseits als Grundlage der weiteren Ermittlungen von besonderer Wichtigkeit.

<sup>1)</sup> In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, daß es sogar schon gelungen ist, Hochofenschlackenbeton mit Würfelfestigkeiten von  $1100 \text{ kg/cm}^2$  nach 56 Tagen zu erzielen (vgl. D. Bauztg. 1930, Beilage S. 57). Auch ist es bereits gelungen, mit hochwertigem Zement unter Verwendung von Granitsplitt bzw. Grauwackensplitt Würfelfestigkeiten von 980 und  $1080 \text{ kg/cm}^2$  nach 65 Tagen zu erzielen (vgl. Bauing. 1931, Heft 40).