

entweder die vorgenannte Abweichung zwischen  $P_{t_{\max}}$  und  $P_{r_{\max}}$  oder aber, was auf das gleiche hinausgeht, die Abweichung zwischen der tatsächlichen Beanspruchung des die Zerstörung des Verbundes einleitenden Baustoffes und der für die Ermittlung von  $P_{r_{\max}}$  angenommenen größtmöglichen Beanspruchung dieses Baustoffes zu verstehen (vgl. auch die Ausführungen S. 26).

An Stelle der Lasten  $P_{t_{\max}}$ ,  $P_{r_{\max}}$  und  $P$  sind bei biegungsbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen die jeweils zugehörigen Momente  $M_{t_{\max}}$ ,  $M_{r_{\max}}$  und  $M$  zu setzen. Der Sicherheitsgrad solcher Konstruktionen leitet sich damit ebenfalls aus Gl. 2 ab, wenn

$$\nu_r = \frac{M_{r_{\max}}}{M}$$

beträgt und

$$M_{t_{\max}} = M_{r_{\max}} \cdot (1 \pm \mathcal{A})$$

gesetzt wird.

Die Größe der sich bei den verschiedenen Eisenbetonkonstruktionen ergebenden und mit Hilfe von Versuchen abzuleitenden Abweichungen  $\mathcal{A}$ , mit denen sich die weiteren Ausführungen in der Hauptsache befassen werden, ist ein Maßstab dafür, inwieweit mit den für die Berechnung solcher Konstruktionen heute üblichen oder vorgeschriebenen Annahmen die Tragfähigkeit des Verbundes oder, wenn diese bekannt ist, die tatsächliche Beanspruchung des die Zerstörung des Verbundes einleitenden Baustoffes unter der Bruchlast bzw. bei Biegung unter dem zugehörigen Moment und damit der tatsächliche Sicherheitsgrad erfaßt werden kann.

Da der abzuleitende Sicherheitsgrad auch auf die Gebrauchslast bzw. das zugehörige Moment oder auf die unter dieser Last vorhandene rechnungsmäßige Beanspruchung des für die Sicherheit maßgebenden Baustoffes zu beziehen ist, wird darauf verwiesen, daß die Gebrauchslast im allgemeinen als gegeben anzusehen ist. Soweit sie abgeleitet wird, ist auf jeden Fall zu beachten, daß sowohl Erschütterungen infolge Verkehrslasten oder schwere Maschinen durch einen Stoßzuschlag, wie im Zeitraum der voraussichtlichen Lebensdauer des Bauwerkes mögliche Lastensteigerungen entsprechend berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Größe des bei Eisenbetonkonstruktionen im allgemeinen vorhandenen Sicherheitsgrades ist anzuführen, daß dieser bei den durch eine Druckkraft mittig oder geringer außermittig belasteten Säulen gewöhnlich einen etwa 3- bis 6fachen, bei den auf Biegung beanspruchten Platten, Balken und Plattenbalken, soweit dieser bei üblicher Bewehrungsstärke durch den Zugwiderstand der Eiseneinlagen begrenzt wird, einen etwa 2- bis 4fachen und, soweit dieser bei starker Zugbewehrung durch die Druckfestigkeit des Betons begrenzt wird, einen etwa 4- bis 8fachen Betrag erreicht. Ist die Zerstörung des Verbundes infolge zu großer Querkräfte zu erwarten, so liegt gewöhnlich ein etwa 2- bis 6facher Sicherheitsgrad gegenüber einer solchen Zerstörung vor.

## 2. Festlegung einer unteren Begrenzung des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen.

Wie den vorstehenden Ausführungen zu entnehmen ist, sind in Eisenbetonkonstruktionen vielfach Sicherheitszahlen vorhanden, die weit über jedes notwendige Maß hinausgehen. Es ist klar, daß diese sowohl in wirtschaftlicher wie in konstruktiver Hinsicht in keiner Weise zu rechtfertigen sind.

Aus diesem Grunde ist der Sicherheitsgrad auf ein notwendiges Maß herabzusetzen und eine den jeweiligen Umständen angepaßte untere Begrenzung desselben festzulegen.

Besonders im Hinblick auf die bei Verwendung von hochwertigen Baustoffen ermöglichte Ausführung von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen wird die Festlegung einer solchen Begrenzung zur Notwendigkeit, wenn eine entsprechende Ausnutzung der besonderen Festigkeitseigenschaften dieser Baustoffe überhaupt erzielt werden soll.

Wird in den weiteren Ausführungen die Vornahme einer solchen Festlegung versucht, so ist zunächst anzuführen, daß ihr zweifellos eine gewisse Willkür anhaftet. Nur so viel steht fest, daß auf jeden Fall eine mehrfache Sicherheit nötig ist, wenn unvorhergesehenen und unvermeidlichen Mängeln beim Entwurf und bei der Ausführung der Eisenbetonkonstruktionen einigermaßen Rechnung getragen werden soll. Diese können auf Unstimmigkeiten in der Annahme der Belastungen oder bei Aufstellung der statischen Berechnung wie überhaupt auf die Unmöglichkeit einer scharfen rechnerischen Erfassung aller statischen Wirkungen bei Eisenbetonkonstruktionen zurückzuführen sein. Sie können aber auch eine Folge der nicht beherrschbaren Veränderlichkeit sowohl der zur Verfügung stehenden Baustoffe wie der bei Herstellung dieser Konstruktionen aufzuwendenden Sorgfalt sein.

Im letzteren Falle ist allerdings zu berücksichtigen, daß durch die besonders in den letzten Jahren auf bessere Kenntnis der Baustoffe sowie auf Vervollkommnung der Arbeitsweisen auf der Baustelle gerichteten Bestrebungen zweifellos beachtenswerte Erfolge erzielt wurden. Dieselben dürfen deshalb bei Festlegung der unteren Begrenzung des Sicherheitsgrades nicht übergangen werden.

Andererseits ist aber zu berücksichtigen, daß mit der Festlegung eines zu geringen Sicherheitsgrades die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden bei den Eisenbetonkonstruktionen größer wird. Auch ist zu bedenken, falls Bauunfälle infolge der Wahl eines solchen Sicherheitsgrades entstehen sollten, dieselben ein derartiges Gefühl der Unsicherheit hervorrufen könnten, daß eine der Weiterentwicklung der Eisenbetonbauweise sich entgegenstellende Bewegung in Erscheinung treten und die Anwendung manches auf dem Gebiete der Baustoffveredlung bisher Erreichten in Frage stellen könnte.

Für die Festlegung einer unteren Begrenzung des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen wird, soweit für diesen die Druckfestigkeit des Betons maßgebend ist, zunächst der frühest mögliche Zeitpunkt für die Vornahme einer Belastung in Betracht zu ziehen sein.

Nach den vorliegenden Erfahrungen kann dieser Zeitpunkt nach einer etwa 28-tägigen Erhärtungszeit des Betons angenommen werden, weshalb der in den weiteren Ausführungen jeweils abzuleitende Sicherheitsgrad auf diese Erhärtungszeit des Betons bezogen werden soll.

Soll die Vornahme der Belastung ausnahmsweise zu einem früheren Zeitpunkt erfolgen, so ist dies bei Festlegung der zulässigen Beanspruchungen entsprechend zu berücksichtigen. Erfolgt sie dagegen zu einem späteren Zeitpunkt, so ändert sich der für eine Erhärtungszeit des Betons von 28 Tagen abgeleitete Sicherheitsgrad nur wenig, da nach Versuchen, z. B. von Graf (11)<sup>1)</sup>, S. 23, die Druckfestigkeit von

<sup>1)</sup> Die dem Namen beigefügte Ziffer bezieht sich auf das eingangs zusammengestellte Verzeichnis des verwendeten Schrifttums, aus dem unter dieser Ziffer die zugehörige Quellenangabe entnommen werden kann.

weichem Beton nach einer 45tägigen Erhärtungszeit nur um etwa 10 %, nach einer halbjährigen Erhärtungszeit nur um etwa 15 % größer sein kann als nach einer 28tägigen Erhärtungszeit des Betons.

Weiter werden für die Festlegung einer unteren Begrenzung des Sicherheitsgrades die aus den Vorschriften der verschiedenen Länder abzuleitenden Sicherheitszahlen in Betracht zu ziehen sein.

Soweit bei mittiger und geringer außermittiger Beanspruchung und bei Biegung die Druckfestigkeit des Betons für diese Begrenzung maßgebend ist, geht England wohl am weitesten, nachdem es z. B. für die Zulassung einer Druckbeanspruchung von 56 kg/cm<sup>2</sup> als unteren Grenzfall lediglich eine in Würfeln von 10,2 cm Kantenlänge nachzuweisende Druckfestigkeit des Betons von 112 kg/cm<sup>2</sup> verlangt. Nach entsprechender, noch abzuleitender Umrechnung ergibt diese Vorschrift eine nur etwa einfache Sicherheit, die natürlich beängstigend gering ist. Gering ist auch die sich aus den französischen Vorschriften ergebende untere Begrenzung des Sicherheitsgrades mit einer nur etwa 1,8fachen Sicherheit, während diese Begrenzung in Italien und Belgien die Größe einer etwa 2,5fachen Sicherheit erreicht. Nach den „Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton“ (im folgenden D. B. abgekürzt) vom Jahre 1932<sup>1)</sup>, die auch in Österreich Anwendung finden, errechnet sich dagegen als unterer Grenzfall nur ein etwa 2facher Sicherheitsgrad<sup>2)</sup>.

Soweit die Streckgrenze der Eiseneinlagen für die Begrenzung des Sicherheitsgrades maßgebend ist, fällt auf, daß als unterer Grenzfall in fast allen Ländern eine etwa 2fache Sicherheit vorgesehen ist.

Die angeführten geringeren Sicherheitszahlen kommen für die Ausführung von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen, soweit deren Zerstörung infolge Überwindung der Druckfestigkeit des Betons eingeleitet wird, natürlich nicht in Betracht.

Dagegen kann der Sicherheitsgrad jener hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen, deren Zerstörung durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen eingeleitet wird, bei Verwendung von hochwertigem Stahleinlagen zweifellos in gleicher Größe wie bei Verwendung von Handelseisen beibehalten werden, wenn die Gleichmäßigkeit der Festigkeitseigenschaften solcher Stahleinlagen vom Lieferwerk gewährleistet wird.

Im Hinblick auf diese Erwägungen soll in den weiteren Ausführungen die Frage des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten Eisenbetonkonstruktionen derart gehandhabt werden, daß ermittelt wird:

- a) welche Würfelfestigkeit bei Eisenbetonkonstruktionen, deren Zerstörung infolge Überwindung der Druckfestigkeit des Betons eingeleitet wird, nachzuweisen ist, wenn ein mindestens 3facher Sicherheitsgrad tatsächlich vorhanden sein soll, sowie
- b) welcher Sicherheitsgrad bei Eisenkonstruktionen, deren Zerstörung durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen eingeleitet wird, tatsächlich vorhanden ist, wenn in üblicher Weise die zulässige Eisenzugspannung als ein durch den beabsichtigten Sicherheitsgrad bestimmter Teil der Streckgrenze gesetzt wird. Dieser Sicherheitsgrad sei in den weiteren Ausführungen ein mindestens 2facher.

<sup>1)</sup> Die Originalausgabe des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton ist erschienen im Verlage von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1932.

<sup>2)</sup> Vgl. die Ausführungen S. 26.

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<br>der<br>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.