

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Festigkeit des Betons und des Eisenbetons bei dauernder und bei
oftmals wiederholter Belastung

Autor: Graf, O.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2680>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

IIa 2

Festigkeit des Betons und des Eisenbetons bei dauernder und bei oftmals wiederholter Belastung.

La résistance du béton et du béton armé soumis à des efforts permanents et répétés.

The Strength of Concrete and Reinforced Concrete under Sustained and Frequently Repeated Loading.

O. Graf,

Professor an der Techn. Hochschule, Stuttgart.

Die Erforschung der Dauerfestigkeit des Betons erfordert langwierige und umfangreiche Versuche, u. a. weil die Festigkeit des Betons vom Alter des Betons abhängt, weil dabei außerdem die Behandlung des Betons Einfluß nimmt (Feuchtigkeit, Temperatur, auch der jeweils vorausgegangene Zustand, mit oder ohne Schwindspannungen), weil die Entwicklung der Festigkeiten des Betons von den Eigenschaften des Zements beeinflußt wird, weil die Festigkeit des Betons von der Größe der Betonkörper abhängt und weil die Anteilnahme der Eiseneinlagen an der Kraftübertragung von dem in weiten Grenzen veränderlichen Formänderungswiderstand des Betons abhängt, der sich in hohem Maße mit der Dauer der Last, mit der Größe der Anstrengung, mit dem Feuchtigkeitsgehalt des Betons usf. ändert.

Hierzu treten noch die mannigfaltigen Einflüsse, die wir von den gewöhnlichen Versuchen mit Beton und Eisenbeton kennen (Zementgehalt, Verhältnis von Wassergehalt zu Zementgehalt, Kornzusammensetzung, Art der Gesteinsteile, Art der Verarbeitung usf.) und von denen auch festgestellt werden muß, ob sie die Dauerfestigkeit anders beeinflussen als die gewöhnliche Festigkeit.

Der Begriff Dauerfestigkeit ist hier allgemein benutzt; für die technische Anwendung ist dabei jeweils die Art der Dauerfestigkeit (Druck, Zug, Wechsel zwischen Druck und Zug, Biegung, Schub, Scherung, Knickung) und die Art der Beanspruchung (nur ruhend, nur oftmals wiederholt, teilweise ruhend und teilweise oftmals wiederholt usf.) besonders zu ermitteln und zu beachten.

Im folgenden wird kurz zusammengefaßt, was über die Dauerfestigkeit des Betons und des Eisenbetons zur Zeit bekannt ist. Es zeigt sich dabei, wie der Bericht wiederholt an berufener Stelle dargelegt hat, daß für eine systematische Erforschung noch viele Fragen offen stehen.

1. Dauerdruckfestigkeit des Betons.

Die im folgenden mitgeteilten Zahlen gelten für Beton, der bei der Prüfung älter als $\frac{1}{2}$ Jahr war und nach anfänglicher feuchter Behandlung in Arbeitsräumen aufbewahrt war.

a) *Dauerdruckfestigkeit bei ruhender Belastung* (Dauerstandfestigkeit). Ergebnisse von Versuchen über die Festigkeit des Betons bei lang dauernder ruhender Last fehlen zur Zeit noch. Doch liegen einige Beobachtungen vor, welche für die Anlage der weiteren Versuche benutzt werden. Es handelt sich um die unter b) und c) erwähnten Versuche, nach denen zu erwarten ist, daß die Dauerstandfestigkeit des Betons vielleicht über $\frac{4}{5}$ der Festigkeit betragen kann, die beim gewöhnlichen Druckversuch auftritt.¹

b) *Dauerdruckfestigkeit bei oftmals wiederholter Belastung* (Ursprungsfestigkeit).

Zu den orientierenden Versuchen von *Joly*, von *Hatt*, von *Ornum*² und von *Mehmel*² sind in neuerer Zeit von *Graf* und *Brenner*³ umfassende Versuche für den Deutschen Ausschuß für Eisenbeton ausgeführt worden.

Hiernach fand sich die Ursprungsdruckfestigkeit von Betonsäulen mit verschiedener Zusammensetzung, insbesondere mit verschiedenem Zementgehalt und mit verschiedener Körnung zum rd. 0,6fachen der Prismenfestigkeit aus dem gewöhnlichen Bruchversuch. Die Zusammensetzung des Betons blieb von geringer Bedeutung; die Verhältniszahl ging mit steigender Festigkeit im allgemeinen etwas zurück.

Dabei traten rd. 260 Lastwechsel in der Minute auf; die Gesamtzahl der Lastwechsel, für welche die Ursprungsfestigkeit ermittelt wurde, betrug 2 Millionen.

Mit zunehmender Lastwechselfrequenz (geprüft wurde mit 10 bis 450 Lastwechseln in der Minute) ist die Zahl der Wiederholungen, welche zum Bruche führte, größer geworden. Die Ursprungsfestigkeit ist bei größerer Lastwechselfrequenz etwas größer ausgefallen.

c) *Dauerdruckfestigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von ruhenden und von oftmals wiederkehrenden Lasten.*

Wenn zu den oftmals wiederkehrenden Lasten ruhende Lasten hinzutraten, so nahm die Schwingungsweite der bewegten Lasten, die 2 Millionen Mal ertragen wurde, mit Steigerung der ruhenden Lasten ab. Beispielsweise zeigt Fig. 1, daß bei einem Beton mit der Prismenfestigkeit von 180 kg/cm^2 die Schwingungsweite *S* betrug

bei der ruhenden Last	$\sigma_u = 6 \text{ kg/cm}^2$	$S = 109 \text{ kg/cm}^2$,
„ „ „	„ $\sigma_u = 118$	„ $S = 39$ „ ,
„ „ „	„ $\sigma_u = 157$	„ $S = 8$ „ .

¹ Wenn es sich darum handelt, dementsprechend die zulässige Druckspannung des Betons zu erhöhen, so ist zu beachten, daß außerdem die Größe der Formänderungen des Betons bei lang dauernder Last in Betracht kommen kann (vergl. u. a. *Graf*, „Beton und Eisen“ 1934, Seite 167 uf., ferner *Hummel* „Zement“ 1935, Seite 799 uf.)

² Vergl. u. a. *Graf*, „Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente“, Verlag Julius Springer, Berlin, Seite 116 uf., ferner *Hatt* und *Mills*, „Bulletin 34 of the Purdue University“, 1928.

³ Vergl. u. a. Heft 76 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Ein weiterer Bericht erscheint im Jahr 1936.

Jeder Versuch dauerte dabei mindestens 5 Tage. Die soeben mitgeteilten Zahlen machen ferner aufmerksam, daß die Widerstandsfähigkeit gegen ruhende Lasten bei einer Dauer von rd. 5 Tagen nahe der Prismenfestigkeit aus dem gewöhnlichen Bruchversuch lag (165 kg/cm² als Gesamtlast beim Dauerversuch gegen 180 kg/cm² beim Bruchversuch).

d) *Allgemeines über die Dauerdruckfestigkeit.*

Nach den Bestimmungen für Beton und Eisenbeton beträgt die zulässige Druckbeanspruchung in mittig gedrückten Säulen höchstens $\frac{1}{3}$ der Würfel-

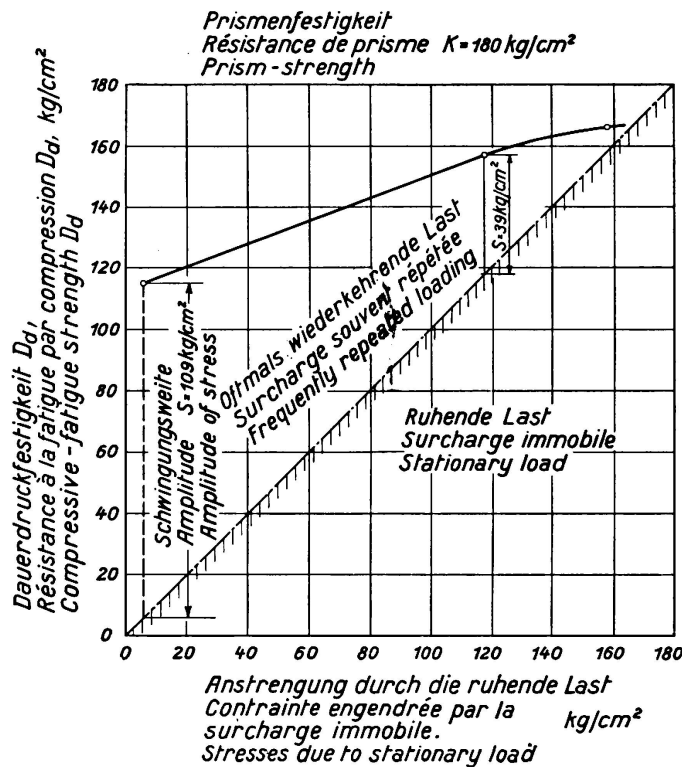


Fig. 1.

Dauerdruckversuche mit unbewehrten Betonprismen.

festigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen. Wenn man die Säulenfestigkeit zu mindestens $\frac{2}{3}$ der Würfelfestigkeit voraussetzt, so beträgt die zulässige Anstrengung des Betons die Hälfte der Säulenfestigkeit.

Diese Anstrengung ist nicht viel kleiner als die Widerstandsfähigkeit der Säulen gegen oftmals wiederholte Druckbelastungen, wenn man die Steigerung der Festigkeit mit dem Alter außer acht läßt. Wenn man eine deutliche Steigerung der Festigkeit mit dem Alter voraussetzt, so dürfte die heute in Deutschland übliche Anstrengung des Betons in mittig gedrückten Säulen zweckentsprechend sein, auch wenn oftmals wiederkehrende Lasten allein maßgebend sind.

In der Zukunft kann erwogen werden, unter welchen Bedingungen eine Erhöhung der zulässigen Betondruckspannung angängig ist, wenn vorherrschend ruhende Lasten oder nur solche maßgebend sind.

2. Dauerzugfestigkeit des Betons.

Hierzu sind in Karlsruhe Versuche ausgeführt worden; sie haben bei Zugbelastung ähnliche Verhältniszahlen geliefert, wie sie unter 1a und 1b für Druckbelastung angegeben sind;⁴ die Ergebnisse sind noch nicht veröffentlicht.

3. Dauerbiegefestigkeit des Betons.

Clemmer⁵, später Olden⁵, haben die Dauerbiegefestigkeit von Straßenbeton untersucht. Die Last wirkte minutlich 40 mal. Die Ergebnisse zeigen, daß die

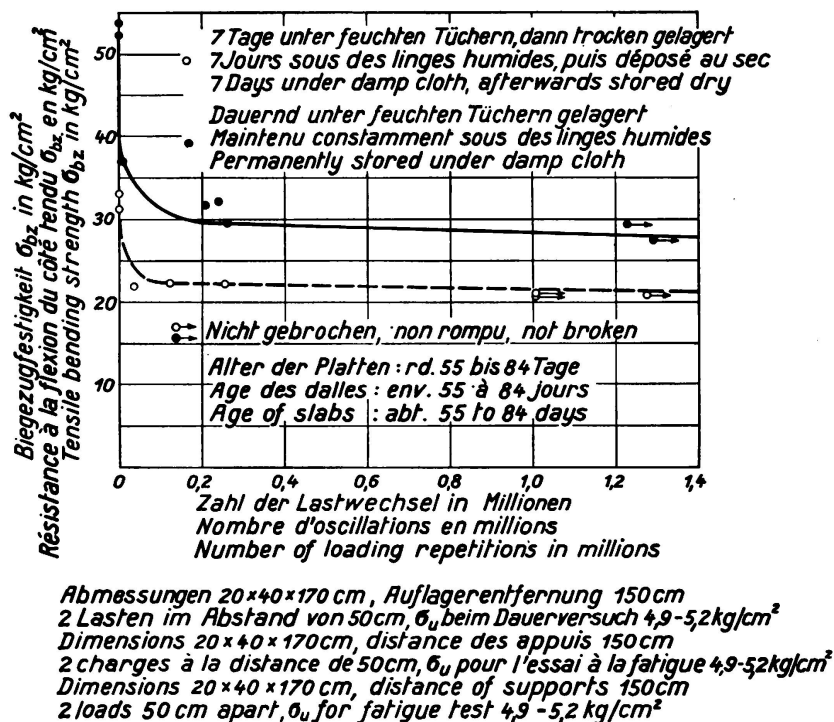


Fig. 2.

Dauerbiegeversuche mit unbewehrten Betonplatten.

Dauerbiegefestigkeit bei Ursprungsbelastung zu rd. $1/2$ der in üblicher Weise ermittelten Biegefestigkeit zu erwarten ist.

Eigene Versuche aus dem Jahre 1935, wiedergegeben in Fig. 2, lieferten folgendes. Balken, die dauernd feucht gehalten waren, ergaben die Dauerbiegefestigkeit bei Ursprungsbelastung zu 28 kg/cm^2 , die gewöhnliche Biegefestigkeit zu 53 kg/cm^2 , entsprechend den Verhältniszahlen $0,53:1$. Balken, die nach anfänglicher feuchter Behandlung trocken gelagert hatten, lieferten die Dauerbiegefestigkeit bei Ursprungsbelastung zu nur 21 kg/cm^2 , die gewöhnliche Biegefestigkeit zu 32 kg/cm^2 , d. i. $0,66:1$.

Weitere Versuche sind eingeleitet.

⁴ Nach Mitteilungen von Herrn Professor Dr. Ing. Kammüller.

⁵ Im Auszug mitgeteilt bei Graf, „Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Seite 117.

4. Dauerdruckfestigkeit der Eisenbetonsäulen.

Wenn man die Dauerfestigkeit der Eisenbetonsäulen beurteilen will, so ist von vornherein zu beachten:

a) Die Elastizität des Stahls und damit auch der Knickwiderstand der Bewehrungseisen werden durch langdauernde Lasten, auch durch oftmals wiederholte Lasten nicht oder nur unerheblich beeinflusst;

b) die Quetschgrenze wird mit länger dauernden Lasten kleiner ermittelt⁶;

c) die Formänderungen des Betons sind in hohem Maße von der Dauer und von der Größe der Belastung abhängig; der Anteil des Betons an der Kraftübertragung in Eisenbetonsäulen ändert sich deshalb mit der Dauer der Belastung und mit der Größe der Belastung, ist überdies von der Zusammensetzung des Betons und von seinem Feuchtigkeitszustand abhängig.

Ergebnisse von Untersuchungen über die Tragfähigkeit von Eisenbetonsäulen bei langdauernder Last, bei oftmals wiederholten Lasten oder bei gleichzeitiger Wirkung ruhender und oftmals wiederkehrender Lasten sind dem Berichter bis jetzt nicht bekannt geworden.

5. Dauerbiegefestigkeit von Eisenbetonplatten.

Die Tragfähigkeit von Eisenbetonplatten üblicher Bauart und üblicher Ausführung wird durch den Widerstand des Eisens in der Zugzone bestimmt.

Unter allmählich und langsam steigenden Lasten wird die Streckgrenze des Eisens der Zugzone überschritten; damit entstehen unter gewöhnlichen Verhältnissen so große Verformungen der Platten, daß sie praktisch unbrauchbar erscheinen. Dementsprechend ist die Tragfähigkeit der Platten bei ruhender Last unmittelbar von der Streckgrenze der Zugbewehrung abhängig. Die Streckgrenze wird bei lang dauernder Last etwas kleiner ermittelt als beim gewöhnlichen Zugversuch (vergl. unter 4).

Der Widerstand der Zugbewehrung unter oftmals wiederholter Belastung (Ursprungsbelastung) kann bei gewöhnlichem Rundeseisen die Streckgrenze erreichen, sofern die Oberfläche eine ordentliche Beschaffenheit aufweist.⁷ Für Stähle mit hoher Streckgrenze ist die Ursprungzugfestigkeit kleiner als die Streckgrenze; auch ist bei solchen Stählen die Abhängigkeit der Ursprungzugfestigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Stäbe weit mehr ausgeprägt als beim gewöhnlichen Handeseisen. Beispielsweise brach in einfachen Platten die Zugbewehrung,⁸ wenn

$\sigma_{c\max}$ größer war als . . .	2900	3100	3300	2830 kg/cm ²
(Schwingungsweite)	2570	2640	2830	2565 kg/cm ²);

dabei betrug

die Streckgrenze σ_s	2970	4280	4500	6150 kg/cm ² .
-------------------------------------	------	------	------	---------------------------

Das Eisen war beschafft als .	St. 37	St. 60	Istegeisen	Baustahlgewebe. ⁸
-------------------------------	--------	--------	------------	------------------------------

Hiernach und nach andern Stuttgarter Versuchen empfiehlt es sich, vorläufig anzunehmen, daß der Widerstand der Zugbewehrung unter oftmals wieder-

⁶ Vergl. u. a. Siebel und Pomp, „Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung“, Band X, Abhandlung 100.

⁷ Vergl. z. B. „Beton und Eisen“ 1934, Seite 169.

⁸ Näheres u. a. in „Beton und Eisen“ 1935, Seite 149.

kehrenden Lasten mit Schwingungsweiten von rd. 2600 kg/cm² begrenzt ist. Dabei muß vorausgesetzt werden, daß das Eisen eine ordentliche Oberflächenbeschaffenheit hat und daß diese erhalten bleibt.

Es ergibt sich damit wie beim Stahlbau, daß für die Stähle mit hoher Streckgrenze bei ruhender Last höhere zulässige Anstrengungen möglich sind als bei bewegten und daß deshalb diese Stähle für Bauteile zu verwenden sind, die vorwiegend ruhende Lasten aufzunehmen haben.

Für die Wahl der zulässigen Belastung der Platten ist außer der Tragfähigkeit auch zu beachten, daß Risse im Beton der Zugzone den Schutz der Bewehrung verringern können, wenn die Rißweite für die jeweils obwaltenden Umstände, z. B. für Bauwerke im Freien, zu groß wird.⁹ Zwischen den zugehörigen Feststellungen bei Versuchen und der Erfahrung an alten Bauwerken ist die erforderliche Beziehung für zulässige Rißbreiten noch nicht errungen.

6. Dauerbiegefestigkeit von Eisenbetonbalken.

Bei der Erörterung der Bedingungen für die Dauerfestigkeit der Platten unter Ziffer 5 ist vorausgesetzt, daß die Bewehrung unter den üblichen Verhältnissen ausreichend verankert ist und daß dabei die Eigenschaften des Betons unter-

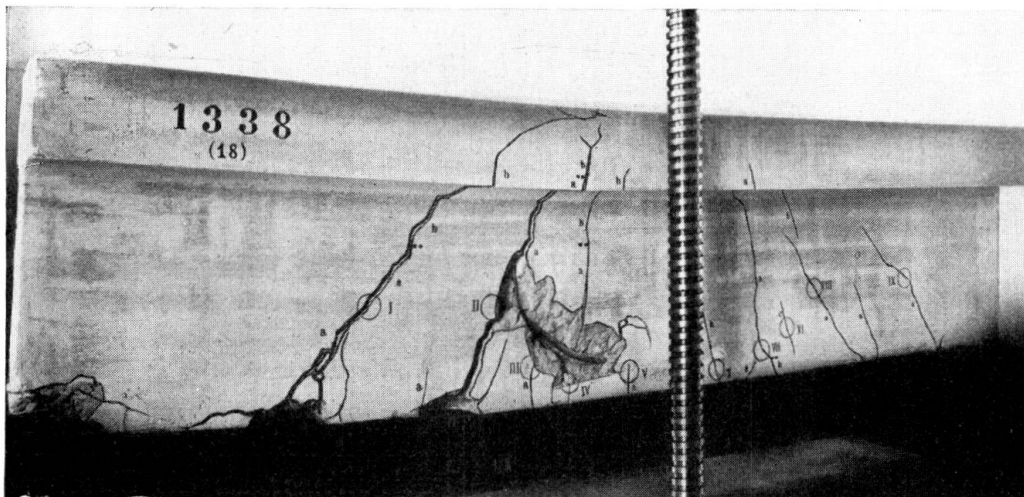


Fig. 3.

Eisenbetonbalken nach oftmaliger Biegebelastung.

geordnete Bedeutung haben, wenn die zur Zeit geltenden Vorschriften erfüllt sind, also die dort geforderten Mindestfestigkeiten des Betons überschritten sind. Diese Voraussetzung ist bei Balken im allgemeinen nicht zugänglich, weil in Balken stärkere Eisen als in Platten verwendet werden, womit die Pressungen des Betons durch die Haken usw. größer werden und weil die aufgehobenen Eisen an den Abbiegestellen erhebliche Druckkräfte übertragen müssen, die bei Eisen mit großem Durchmesser und Beton mäßiger Festigkeit zur Zerstörung des Betons führen können, ehe die Zugkräfte im Eisen die Streckgrenze erreichen,¹⁰ vgl. Fig. 3.

Deshalb ist die Festigkeit des Betons auf die Abmessungen der Bewehrung

⁹ Vergl. auch „Beton und Eisen“ 1935, Seite 148.

¹⁰ Vergl. u. a. „Beton und Eisen“ 1935, Seite 147.

abzustimmen; jedenfalls ist von noch festzustellenden Grenzverhältnissen aus die notwendige Betonfestigkeit von der Bewehrung abhängig zu machen.¹¹ Diese Verhältnisse treten unter oftmals wiederkehrenden Lasten schärfer hervor als unter ruhenden Lasten.

Die meisten bis jetzt veröffentlichten Dauerbiegeversuche mit Eisenbetonbalken erstrecken sich auf die Feststellung des Einflusses von oftmals wiederkehrenden Lasten unterhalb der Dauerfestigkeit auf die nach dem Dauerversuch in gewöhnlicher Weise ermittelte Höchstlast. Es war nach den Erkenntnissen aus vielen Dauerversuchen anderer Art zu erwarten, daß oftmals wiederholte Lasten, die erheblich über der zulässigen Last, aber unter der Dauerfestigkeit liegen, die gewöhnliche Bruchlast nicht oder nur unerheblich beeinflussen.¹² Deshalb ist die Dauerbiegefestigkeit von Eisenbetonbalken nur dann zu erkennen, wenn die oftmals wiederkehrenden Lasten ermittelt werden, welche zum Bruch eben nicht mehr reichen, bei geringer Erhöhung aber den Bruch herbeiführen.

Es ist von anderer Seite vorgeschlagen, die zulässige Last von einer größten zulässigen Rißweite abhängig zu machen; wenn man dies tun will, so ist bei Balken besonders zu beachten, daß die Rißweite in Gebieten veränderlicher Bewehrungsstärke, namentlich bei aufgebogenen Eisen Größtwerte erlangt, überdies unter sonst gleichen Bedingungen von den Rißabständen abhängt. Im übrigen sei auf den Schluß von Abschnitt 5 verwiesen.

Zusammenfassung.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen oftmals wiederkehrende Lasten (Ursprungsbelastung) bei Druck, Zug und Biegung mindestens die Hälfte der beim gewöhnlichen Bruchversuch auftretenden Festigkeit erreicht. Treten zu den oftmals wiederkehrenden Lasten noch ruhende Lasten hinzu, so werden die Grenzen der bewegten Lasten, welche noch beliebig oft ertragen werden, kleiner. Der Widerstand gegen ruhende Belastungen ist zu mindestens vier Fünftel der Festigkeit zu schätzen, die beim gewöhnlichen Bruchversuch auftritt.

In Bezug auf die Dauerfestigkeit des Eisenbetons liegen bis jetzt nur Untersuchungen mit Platten und Balken vor. Für die Eiseneinlagen stehen die Ergebnisse im Einklang mit dem, was sonst über die Dauerfestigkeit des Stahls bekannt ist. Unter anderm sind Stähle mit hoher Streckgrenze zu verwenden, wenn vorwiegend ruhige Lasten aufgenommen werden müssen. Die Widerstandsfähigkeit des Betons wird in Balken, die oftmals wiederkehrende Lasten aufnehmen müssen, vornehmlich an den Abbiegestellen der aufgebogenen Eisen und an den Haken der Eiseneinlagen überschritten, wenn die Bewehrung in der üblichen Weise gestaltet ist. Deshalb werden zur Zeit im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton weitergehende Untersuchungen über den Gleitwiderstand und über die Verankerung der Eiseneinlagen unter oftmals wiederholter Belastung durchgeführt.

¹¹ Die Deutschen Eisenbetonvorschriften enthalten in der heutigen Fassung Bedingungen, die in dieser Richtung wirken.

¹² Vergl. u. a. „Handbuch für Eisenbetonbau“, 1. Band, 4. Auflage, Seite 46 u. f., sowie die dort angegebenen Quellen.

Leere Seite
Blank page
Page vide