

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

I
L. inw.

218

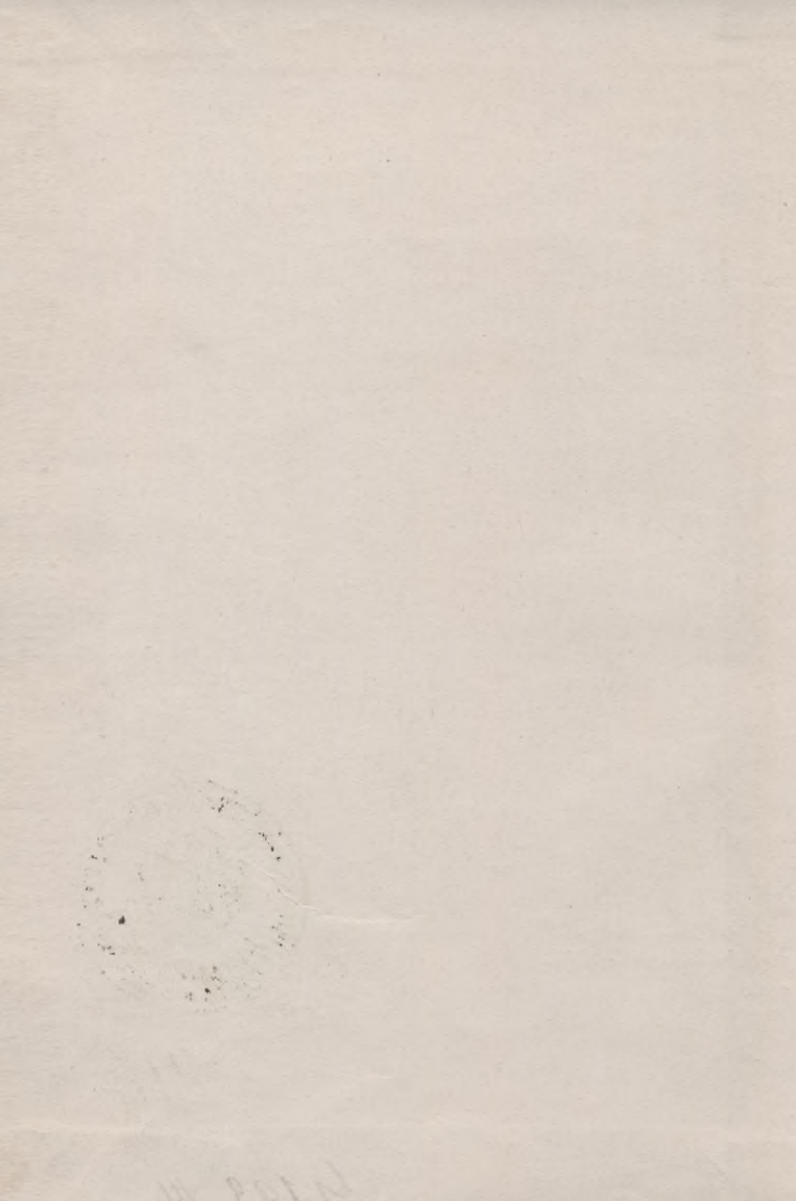
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295863

x
514

(31725)



Die Schubsicherung der Eisenbetonbalken durch abgebogene Hauptarmierung und Bügel

nach Vorschrift
der neuen Bestimmungen vom 13. Januar 1916

Von
H. Schlüter

Mit 40 Abbildungen im Text
und Zahlenbeispielen



Berlin 1917

Verlag von Hermann Meusser

31725
G 199 116.

Alle Rechte —
auch das der Übersetzung in fremde Sprachen —
vorbehalten.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

I 218

Akc. Nr.

1269/49



Druck
der Spamer'schen
Buchdruckerei in Leipzig

Vorwort.

In den neuen preußischen Eisenbeton-Bestimmungen vom 13. Januar 1916¹⁾ ist die seit längerer Zeit erwartete Änderung der Vorschriften über den Nachweis der Schub- und Haftspannungen erfolgt. Auf der neuen Grundlage ergeben sich bekanntlich wesentlich stärkere Armierungen gegen die aus den Schubspannungen stammenden Beanspruchungen als nach den bisherigen preußischen Bestimmungen. Eine kurzgefaßte Abhandlung über diesen Gegenstand und eine Gegenüberstellung der alten und neuen Berechnungsweise erschien mir daher bei der hohen praktischen Bedeutung der Frage als zeitgemäß, zumal der Gebrauch der neuen, nur in Form von Grundsätzen zum Ausdruck gebrachten Vorschriften der Allgemeinheit nicht ohne weiteres klar sein dürfte²⁾. Die richtige Anwendung der neuen Vorschriften in der Rechnung und ihre praktische Verwertung erfordert in der Tat eine tiefergehende — durch bloße Berechnungsbeispiele nicht zu ersetzende — Kenntnis der zugrundeliegenden Versuchsergebnisse, be-

¹⁾ Bestimmungen über die Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton, aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton Oktober 1915, veröffentlicht durch Runderlaß des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten im Zentralblatt der Bauverwaltung 1916, Nr. 16.

²⁾ Herr Prof. Förster sagt in einer Besprechung der neuen Bestimmungen (Zeitschrift Armierter Beton 1916, Heft 1) u. a.: „Leider enthalten die neuen Bestimmungen auch nichts über die Art der Berechnung der schiefen Hauptzugspannungen, d. h. über eine Frage, die schon sehr vielseitig und verschiedenartig beantwortet ist und ganz besonders eine Festlegung als geboten erscheinen läßt“ und: „Vielleicht ließe sich in dieser Hinsicht eine Ergänzung und Abänderung der neuen Vorschriften ausführen; sie würde den Fachgenossen und Behörden sicherlich nicht unwillkommen sein.“

sonders hinsichtlich des unterschiedlichen Wertes der Hauptseisen und Bügel für die Schubsicherung. Mein Ziel war daher, neben der Klarstellung und Begründung der seit längerem als richtig erkannten, aber jetzt erst zu allgemeiner Gültigkeit erhobenen Berechnungsweise der Schub- und Haftspannungen, feste Grundsätze für den Bau der Schubsicherungen in einer für die Allgemeinheit möglichst eindeutigen Form aus dem reich vorhandenen wissenschaftlichen Material zu gewinnen und derselben auch die Wahl der Ausführungsart und die Berechnung selbst zu erleichtern. Eine in allen Fällen nicht versagende Entscheidungskraft über die beste Form der Schubsicherung kann man sich allerdings nur durch eigenes Studium der zugrundeliegenden Versuchsergebnisse erwerben. Um der vorliegenden Arbeit nicht die Kürze zu nehmen, die sie der Allgemeinheit unmittelbar brauchbar machen soll, habe ich auf die Beifügung einer kurzen Zusammenfassung der bei den Versuchen gemachten außerordentlich lehrreichen Erfahrungen vorläufig verzichtet und nur auf die Ergebnisse der Versuche hingewiesen.

Ich habe mich vergewissert, daß meine Ausführungen in den Hauptpunkten dem Sinn der neuen Bestimmungen entsprechen und erlaube mir an dieser Stelle Herrn Baudirektor Professor Dr.-Ing. h. c. E. Mörsch und Herrn Baudirektor Dr.-Ing. h. c. M. Koenen für die mir in dieser Richtung bereitwilligst erteilte Beratung meinen Dank zum Ausdruck zu bringen.

Möge meine Arbeit allen Fachgenossen, namentlich den jüngeren, den beabsichtigten Dienst auch wirklich leisten.

Posen, im August 1916.

H. Schlüter,
derzeit Krombach (Kr. Siegen),
Oberingenieur der Firma Ed. Burbach.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Kapitel 1. Spannungsverlauf und Armierung (Normalspannungen, Schubspannungen, Hauptspannungen, Haftspannungen)	4
Kapitel 2. Bauart und Berechnung der Schubsicherung	11
I. Die Anordnung der Armierung	12
1. Die wichtigeren Formen der Armierung	12
2. Statischer Wert der abgebogenen Eisen und der Bügel für die Schubsicherung	14
3. Entwurf des Strebesystems	15
4. Obere Verankerung der abgebogenen Eisen	17
5. Lage der ersten Zugstrebe	18
6. Lage der Zugstreben zur Balkenachse	21
7. Form der Abbiegung	21
II. Die Bemessung der Armierung	22
1. Feststellung der Strebenkräfte nach der Fachwerkslehre	22
2. Feststellung der Strebenkräfte aus den Schubspannungsdiagrammen; Zahlenbeispiel dazu	25
3. Größe der Strebenkräfte	27
4. Zulässige Beanspruchung der Zugeisen	28
5. Ergänzung der Zugstreben durch Bügel; Zahlenbeispiel dazu	29
6. Überholte Berechnungsweise der Bügel	35
Kapitel 3. Die statische Aufgabe der Bügel im mittleren Balkenteil	37
Kapitel 4. Die praktische Aufgabe der Bügel	39
Kapitel 5. Winke für den Entwurf einfacher und kontinuierlicher Balken	42

	Seite
Kapitel 6. Der Nachweis der Haftspannungen und der Einfluß der Haken	47
1. Beschränkung des Haftspannungsnachweises auf stärkere Eisen	48
2. Der Haftspannungsnachweis mit halber Querkraft .	51
3. Bedeutung der zulässigen Beanspruchung als Mittel- wert	52
4. Spannungsverteilung vor der Rißbildung	56
Kapitel 7. Zahlenbeispiele	58
Kapitel 8. Die Notwendigkeit des Ausschlusses der Mitwirkung des Betons in der Zugaufnahme durch abgebogene Eisen und Bügel	63

Einleitung.

Über die Schubsicherung der Balken heißt es in den neuen Bestimmungen § 17, Ziffer 3: „Geht der ohne Rücksicht auf abgebogene Eisen oder Bügel errechnete Wert der Schubspannung über 14 kg/qcm hinaus, so ist zunächst die Rippenstärke zu vergrößern, bis dieser Wert erreicht oder unterschritten wird. Sodann sind die Anordnungen so zu treffen, daß die Schubspannungen in denjenigen Balkenteilen, wo der für Beton zulässige Wert von 4 kg/qcm überschritten wird, durch aufgebogene Eisen, durch die Bügel oder durch beide zusammen vollkommen aufgenommen werden.“ Die gleiche Forderung fand sich bisher schon in den schweizerischen Vorschriften über Bauten in armiertem Beton¹⁾ in folgender, manchem vielleicht noch verständlicheren Fassung Artikel 7, Absatz b: „Überschreitet die Scherspannung im Beton, ermittelt unter Annahme eines homogenen Materials und ohne Rücksicht auf die Eiseneinlagen, die in Artikel 9 angegebene zulässige Grenze (4 kg/qcm), so ist die volle Scherkraft mittels geeigneter Abbiegungen der Armierungsstangen oder spezieller Eiseneinlagen zu übertragen.“

In den preußischen Bestimmungen vom 24. Mai 1907 hieß es zu derselben überaus wichtigen Frage hingegen nur § 15, Ziffer 4: „Schubspannungen sind nachzuweisen, wenn

¹⁾ Aufgestellt am 30. April 1909 von der Schweizerischen Kommission des armierten Beton, erschienen im Juni 1909.

Form und Ausbildung der Bauteile ihre Unschädlichkeit nicht ohne weiteres erkennen lassen. Sie müssen, wenn zu ihrer Aufnahme keine Mittel in der Anordnung der Bauteile selbst gegeben sind, durch entsprechend gestaltete Eiseneinlagen aufgenommen werden“ und § 16, Ziffer 5: „Die Schubspannung des Betons darf das Maß von 4,5 kg/qcm nicht überschreiten. Wird größere Schubfestigkeit nachgewiesen, so darf die auftretende Spannung nicht über ein Fünftel dieser Festigkeit hinausgehen.“ Engeren Fachkreisen ist die Unzulänglichkeit dieser beiden Sätze für das im Betonbau außerordentlich wichtige Kapitel der schiefen Zugspannungen bekannt gewesen und neben anderen durch die Versuchsergebnisse als überholt anzusehenden Vorschriften schon seit längerer Zeit Veranlassung zur Forderung einer gänzlichen Neufassung der Bestimmungen gewesen¹⁾. Nachdem diese nunmehr eingetreten ist, sollten endlich Konstruktionsfehler hinsichtlich der Schub-sicherung der Balken auch in weitesten Fachkreisen ausgeschlossen sein.

Vorweg sei bemerkt, daß durch die in § 17, Ziffer 3 gegebenen Vorschriften eine restlose Aufnahme sämtlicher Hauptzugspannungen durch Eisen gefordert wird, und zwar in denjenigen Balkenteilen, wo größere Schubspannungen als 4,0 kg/qcm auftreten. Der genannte Grenzwert von 14,0 kg/qcm ist keine Bedingung für die Erfüllung dieser Vorschrift, wie das vielfach vermutet worden ist, sondern zielt nur auf die Innehaltung eines Mindestmaßes der Stegabmessungen hin. Das Wesent-

¹⁾ Vgl. Aufsatz: Wünschenswerte Änderung der bestehenden Vorschriften. Monatsschrift „Armierter Beton“ 1913, Heft 6.

liche der Bestimmung ist also der Ausschluß des Betons in der Zugaufnahme. Während hierüber das Schlußkapitel Näheres bringt, ist in den nachfolgenden Kapiteln der zur Bestimmung der Schubsicherung durch Eisen im Sinne der neuen Vorschriften innezuhaltende Berechnungsvorgang weitergehend erörtert und durch die nötigen konstruktiven Angaben ergänzt.

Kapitel 1.

Spannungsverlauf und Armierung.

(Normalspannungen, Schubspannungen, Hauptspannungen, Haftspannungen.)

Bei der rechnerischen Ermittlung der Biegun-
spannungen wird bekanntlich die Voraussetzung ge-
macht, daß das Eisen alle Zugspannungen im Querschnitt
aufnimmt, von einer Mitwirkung des Betons in der Zug-
aufnahme also gänzlich abgesehen (neue Bestimmungen
§ 17, Abs. 1 und alte Bestimmungen § 15, Abs. 2). Nur
bei auf Biegung beanspruchten Rippenbalken von Eisen-
bahnbrücken und bei Bogen-, Rahmen- und sonstigen sta-
tisch unbestimmten Brücken, die von Hauptbahnlokomoti-
ven befahren werden, soll außerdem erwiesen werden,
daß die Betonzugspannungen bei Zugrundelegung des vollen
Betonquerschnittes einen bestimmten Wert (24 kg/qcm)
nicht überschreiten (neue Bestimmungen § 17, Ziffer 5,
Abs. 3 und alte Bestimmungen § 15, Ziffer 3 und § 16,
Ziffer 2). Während so bezüglich der Normalspannungen
der Beton unterhalb der Nulllinie im allgemeinen ausge-
schaltet erscheint, hat der volle Querschnitt des Balkens,
die Schutzschicht der Eisenstangen abgerechnet, in der
Übertragung der Schubspannungen eine wichtige Auf-
gabe zu erfüllen. Ohne den zwischen Druck- und Zugzone

liegenden Beton ist eine Zusammenwirkung dieser beiden Kraftgebiete, wie ohne weiteres einleuchtet, undenkbar. Der Beton erfüllt hier die gleiche Aufgabe wie der Steg eines I-Trägers oder auch die Füllungsstäbe eines Fachwerks. Während aber bei Fachwerken gemeinhin nur Normalspannungen, also axiale Kräfte, auftreten, erfüllt ein vollwandiger Steg seine Aufgabe durch Schubwiderstand.

Denkt man sich den Balken durch wagerechte Schnittebenen in einzelne Plättchen zerlegt, so tritt bei Belastung und Durchbiegung des Balkens ein Gleiten derselben gegeneinander ein und die Verbundwirkung, der ganzen Balkenhöhe nach, ist demnach nur möglich, wenn Gleitwiderstände in den Schnittebenen tätig sind. Diese Gleitwiderstände suchen ein Verschieben der einzelnen Plättchen gegeneinander zu verhindern, beruhen also auf Schubspannungen. Die zwischen dem untersten Plättchen und den Eiseneinlagen auftretenden Schubspannungen nennt man Haftspannungen. Ohne den Haftwiderstand über die ganze Länge der Eisen würde aus Eisen und Beton ein einheitlich wirkender Träger nicht entstehen können. Die Eisen zeigen das Bestreben, sich bei der Durchbiegung des Balkens einwärts zu bewegen (Versuche von Wayss & Freytag, Mörsch¹⁾ S. 294), abgesehen von allen diesen Vorgang mehr oder weniger mildernden Einflüssen von Endhaken und Aufbiegungen. Von den Eisenstangen wird die wagerechte Schubspannung durch den Stegbeton hindurch in gleichbleibender Stärke bis auf die Nullebene übertragen. Zu diesem Zwecke bedürfen

¹⁾ Der Eisenbetonbau von Prof. Dr. Ing. E. Mörsch, 4. Auflage, Verlag von Konr. Wittwer-Stuttgart.

sie einer hinreichend starken Durchsetzung mit dem Beton des Steges und inniger Anhaftung (neue Bestimmungen § 9, Abs. 6). Oberhalb der Nulllinie wird die Schubspannung infolge Hinzukommens der Normaldruckspannungen kleiner und am oberen Balkenrand wird sie zu Null.

Denkt man sich den Balken genau entsprechend durch senkrechte Schnittebenen in einzelne Plättchen zerlegt, so gelangt man durch dieselben Vorstellungen zur Überzeugung von der Bedeutung der lotrechten Schubspannungen

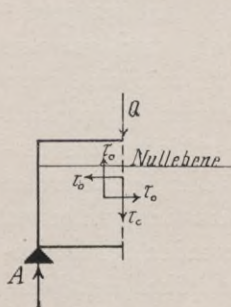


Abb. 1.

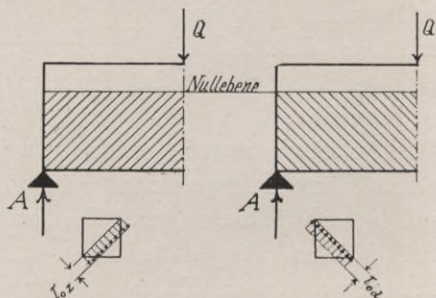


Abb. 2.

für die Sicherung des Verbundes. Aus den Gleichgewichtsbedingungen für einen beliebigen im Betonbalken vorhandenen kleinen Würfel (Abb. 1) folgt, daß diese lotrechten Schubspannungen an jeder Stelle ebenso groß sein müssen wie die wagerechten; sie werden also auch an der Balkenoberkante zu Null. Die Zerlegung beider Spannungen nach Ebenen, die kreuzweise unter 45° durch den Balken gelegt werden, ergibt unterhalb der Nulllebene, wo keine von der Biegung herrührenden Normalspannungen hinzukommen, normal zu diesen Ebenen gerichtete Zug-

und Druckspannungen, deren Größe den wagerechten und lotrechten Schubspannungen gleich ist (Abb. 2). Für jedes Balkenelement unterhalb der Nullebene ist also wagerechte und lotrechte Schubspannung und schiefe Hauptspannung ein und derselbe Wert, nämlich τ_0^1). Der Verbund zwischen den unter 45° schräg geschnittenen Plättchen wird also im Gegensatz zu den lotrecht und wagerecht geschnittenen lediglich durch

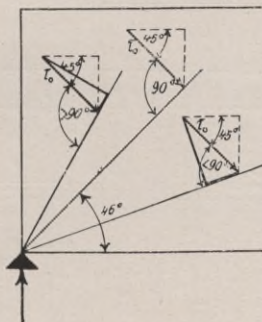


Abb. 3.

Normalspannungen aufrechterhalten; für alle nicht senkrecht zu diesen normalen Hauptspannungen laufenden Schnittebenen bilden sich zwischen den Plättchen außer den normalen Spannungen auch noch Gleitspannungen unter gleichzeitiger Abnahme der Normalspannungen (Abb. 3). Die beschriebenen Spannungswirkungen werden natürlich für die Stege von Plattenbalken von wesentlich höherer Bedeutung sein als für Platten,

¹⁾ Vgl. Schlüter, Eisenbetonbau, Band I, Kapitel VI, Verlag von Herm. Meußner, Berlin.

die den auftretenden Querkraften die ganze Breite gegenüberstellen können.

Die Versuche haben nun erwiesen, daß nicht die wagerechten und lotrechten Schubspannungen den ersten Anlaß zur Überwindung der Materialfestigkeit geben, sondern ausschließlich die schiefen Hauptzugspannungen unterhalb der Nullebene, denen zufolge in den Stegen etwa unter 45° geneigte Risse, von den Auflagern ausgehend, eingetreten sind (Abb. 4); die schiefen Haupt-

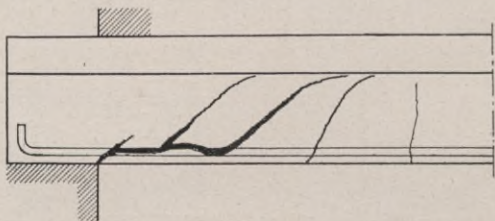


Abb. 4.

druckspannungen werden ja ohne weiteres vom Beton aufgenommen. Es lag daher alle Veranlassung vor, den Grundsatz, der alle im Beton auftretenden Zugspannungen durch Eiseneinlagen aufzunehmen vorschreibt, ohne Einschränkung für das Gebiet der schiefen Hauptspannungen geltend zu machen. Das ist mit dem angeführten Absatze der neuen Bestimmungen geschehen. Die aufgeboogenen Eisen und die Bügel, von denen die Rede ist, haben die Aufgabe, einzeln oder zusammen durch ihre Zugfestigkeit und nur durch diese allein die aus den wagerechten und lotrechten Schubspannungen hervorgehenden Hauptzugspannungen in

allen Fällen restlos aufzunehmen, wo größere Spannungen als $4,0 \text{ kg/qcm}$ auftreten. Daß unter 45° aufgebogene, senkrecht zu den Rißlinien verlaufende Eisenstangen (Abb. 5) am besten imstande sind, die auftretenden Zugspannungen aufzunehmen, dürfte ohne weitere Erklärung einleuchten; die Bügel fallen nicht in die Zugrichtung, liegen nicht so gut eingebettet im Beton und sind nicht so gut verankert wie die aufgebogenen Eisen und sollten daher nur im Notfalle an der Zugaufnahme

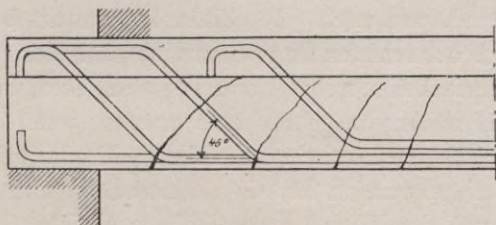


Abb. 5.

mit beteiligt werden¹⁾; eine Scherbeanspruchung der Bügel tritt nicht ein (Mörsch, S. 270 u. 271; vgl. auch Kapitel 2, Teil II, Ziffer 6). Biegt man diejenigen Eisen, welche mit Abnahme des Biegemomentes an der Unterseite des Balkens entbehrlich werden, unter 45° nach oben ab¹⁾, so dürfte schon stets der erforderliche Zugquerschnitt den auftretenden schiefen Zugspannungen nach Maßgabe der neuen Bestimmungen gegenübergestellt sein²⁾. Es wird dann nur selten erforderlich sein, die Vertikalbügel zur Aufnahme des Zuges mit heranzuziehen¹⁾. Da der Konstruk-

¹⁾ Nähere Angaben Kap. 2.

²⁾ Vgl. Schlüter, Band I, S. 136.

teur es in der Hand hat, die Anzahl der für einen Balken erforderlichen Eisen zu bestimmen, wird es meist gelingen, noch eine genügende Anzahl gerade durchlaufender Eisen zu behalten, zumal die restlose Aufnahme der schiefen Hauptspannungen die bisherigen Ansprüche des Haftfestigkeitsnachweises wesentlich herabgesetzt hat: Nach § 17, Abs. 4 ist der Nachweis der zulässigen Haftspannungen nicht mehr erforderlich, wenn die Enden der Eisen mit runden oder spitzwinkligen Haken (§ 9, Abs. 5) versehen und die Eisen nicht stärker als 26 mm sind, und nach § 18, Ziffer 11 braucht bei voller Aufnahme der schiefen Zugspannungen nach der einfachen oder mehrfachen Strebenanordnung nur noch die halbe Querkraft in Ansatz gebracht zu werden, wenn man die Haftspannung rechnerisch nachweisen will oder bei stärkerem Eisen gezwungen ist, sie nachzuweisen und zu dem Zwecke von der Wirkung des Hakens absieht (Mörsch, S. 273). Nur für Balken mit gerader Hauptarmierung, und zwar mit oder ohne Bügel, ist an der bisherigen Berechnungsweise von τ_1 mit voller Querkraft unter denselben Voraussetzungen festgehalten. Diese Balken haben aber nur eine geringe praktische Bedeutung. (Weiteres hierüber siehe Kapitel 6.)

Kapitel 2.

Bauart und Berechnung der Schubsicherung.

Bei dem Entwurf einer Schubsicherung haben uns zwei Gesichtspunkte zu leiten:

1. Die Wahl zweckdienlichster, wirksamster Anordnung der Armierung;
2. die Bemessung derselben nach den Anforderungen der Sicherheit.

Zu beiden Punkten haben uns die im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton in der Materialprüfungsanstalt Stuttgart ausgeführten Balkenversuche¹⁾ feste Richtlinien geliefert.

Die Versuche erstreckten sich auf die Erforschung der Wirkung der abgebogenen Eisen in verschiedener Anordnung sowie des Wertes der Bügel als Ergänzung derselben; zuvor wurden Balken mit nur gerader Hauptarmierung und Bügeln erprobt, um die Wirkungsart und den statischen Wert der Bügel an sich klar erkennen zu können, was für die anzustellenden Vergleiche von Nutzen sein mußte.

Balken mit abgebogener Hauptarmierung lieferten die besten Ergebnisse, während bei Balken mit nur gerader Hauptarmierung, selbst bei reich-

¹⁾ Veröffentlicht in Heft 10, 12 und 20 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

licher Bügelsetzung, weniger hohe Schubsicherheit trotz höherer Materialbeträge an Eisen erzielt wurden.

Über die bei den Versuchen gemachten Erfahrungen, die charakteristischen Reißerscheinungen an armierten und nichtarmierten Balken und die statische Wirkung der versuchten Armierungen hoffe ich an anderer Stelle eine kurze Zusammenfassung bringen zu können; hier nur diejenigen Ergebnisse, welche von unmittelbarer praktischer Bedeutung sind.

I. Die Anordnung der Armierung.

1. Die wichtigeren Formen der Armierung.

Die wichtigeren Formen der Schubsicherungsarmierung sind das einfache und das doppelte Strebesystem mit unter

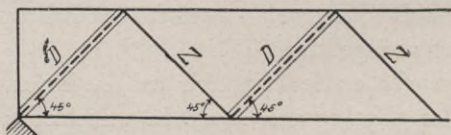


Abb. 6.

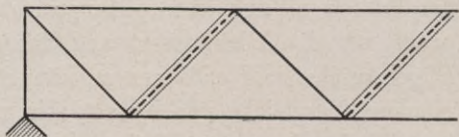


Abb. 7.

45° geneigten Zugstreben; die Druckstreben werden in beiden Fällen durch den Beton gebildet. Die Zug- und Druckstreben können also abwechseln (einfaches Strebesystem, schematische Darstellung Abb. 6 u. 7), wobei sich zwischen

den eisernen Zugstreben ein Abstand ergibt, der von den gedachten Betondruckstreben durchkreuzt wird, oder sie kreuzen sich (doppeltes Strebesystem Abb. 8), so daß Druckstrebe und Zugstrebe zugleich in der Übertragung

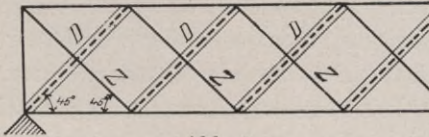


Abb. 8.

der Querkräfte tätig sind. Während für die Zugstreben eine geringere Neigung als 45° nicht zu empfehlen ist — hängewerkartige, nach System Hennebique ausgeführte Aufbiegungen lieferten selbst bei reichlicher Bügelergänzung bedeutend weniger gute Ergebnisse —, ist für die Druckstreben die Neigung unter dem Winkel von 45° schon das Höchste. Soweit die Druckstreben allein zur Geltung

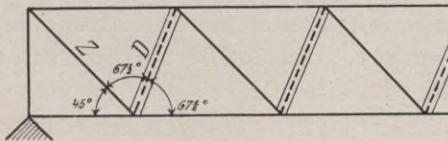


Abb. 9.

kommen — beim einfachen Strebefachwerk —, sollte ihre Neigung steiler angenommen werden. Das einfache Strebefachwerk wird deswegen nur in der Form mit Druckstreben unter $67\frac{1}{2}^\circ$, wobei durch dieselben der Winkel zwischen der Zugstrebe und der Wagerechten halbiert wird, empfohlen (Abb. 9 und 10).

Das doppelte Strebefachwerk lieferte die besten Ergebnisse, offenbar, weil es den Vorzug gleichmäßigerer

Verteilung des Eisens im Betonsteg besitzt. Jedenfalls vermochten die abgebogenen Eisen in dieser Anordnung am besten den Wirkungen der Rißbildung entgegenzutreten, und geringe Abweichungen davon setzten die Höchstlasten gleich merklich herab; andererseits zeigten sich bei engeren Systemen keine entsprechenden Verbesserungen der Schubsicherheit. Das doppelte Strebesystem sollte daher nach Möglichkeit stets zur Anwendung gebracht werden, zumal bei diesem die Strebekräfte kleiner ausfallen als beim einfachen Strebesystem (siehe Abschnitt II, 1, S. 24) und

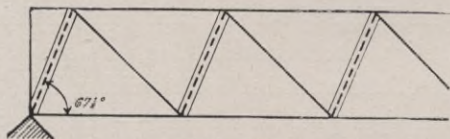


Abb. 10.

die Ausführung eines doppelten Strebesystems selten zu praktischen Schwierigkeiten führen dürfte (siehe 3).

Dagegen kann die Größe der aufzunehmenden Zugkräfte oft eine Verringerung des Strebenabstandes nach den Auflagern hin erfordern, so daß das anfänglich doppelte Strebesystem allmählich in ein mehrfaches (Abb. 23) übergeht.

2. Statischer Wert der abgebogenen Eisen und der Bügel für die Schubsicherung.

Balken mit abgegener Hauptarmierung lieferten die besten Ergebnisse; sie sind schon ohne Bügel durchaus schubsicher, wenn die Fachwerke mit einer Zugstrebe beginnen und die abgebogenen Strecken

so stark bemessen sind, daß sie allein die ganze schiefe Hauptkraft aufzunehmen vermögen, die gerade durchlaufenden Eisen aber mit runden, unnachgiebigen Endhaken versehen sind.

Erweist die statische Berechnung, daß die Aufnahme der Zugspannungen durch die abgebogenen Eisen allein nicht möglich ist, dann sind Bügel zu ihrer Unterstützung heranzuziehen und mit ihrer Zugfestigkeit in Anrechnung zu bringen; beim einfachen Strebefachwerk wird das naturgemäß eher nötig sein als beim doppelten.

Der Beginn des Fachwerks mit einer Druckstrebe unter 45° ist nicht zu empfehlen und statisch nur brauchbar, wenn die Gleitung der geraden Eisen, die hier selbst bei Verwendung von Endhaken noch in erheblicherem Maße auftritt, verhindert wird, wozu eine reichliche Bügelarmierung erforderlich ist; der Beginn mit einer Druckstrebe unter $67\frac{1}{2}^\circ$ (vgl. Abb. 10) schwächt die Schubsicherungswirkung nicht ab.

Die Schubsicherung durch Bügel allein zu bilden wäre unwirtschaftlich, da die Abbiegung einiger Eisen der Hauptarmierung mit Abnahme des Biegemomentes sich von selbst empfiehlt, die gerade Durchführung aller Eisen nutzlos wäre und der statische Wert der Bügel für die Schubsicherung wesentlich hinter dem der abgebogenen Eisen zurücksteht.

3. Entwurf des Strebesystems.

Da der Balkenquerschnitt nach Maßgabe des größten Biegemomentes entworfen wird und die Zugstreben am wirksamsten durch Hochbiegen der über die Mitte durch-

laufenden Eisenstangen gebildet werden, also nicht durch besonders eingelegte Bügel, so erweist sich die Ausführung des einen oder anderen Strebesystems abhängig von der für den Mittelquerschnitt gewählten Eisenzahl. Da mit Abnahme des Biegemomentes die Eisenzahl nach den Auflagern zu sich verringern kann, so besitzt man in den jeweils unten entbehrlich werdenden Eisen das notwendige Material zur Bildung der Zugstreben (Abb. 11). Die Ent-

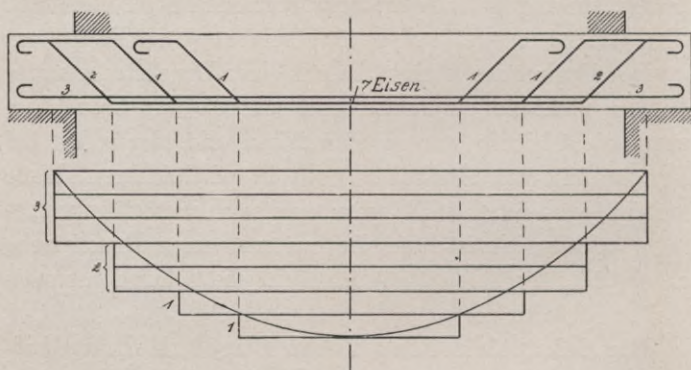


Abb. 11.

behrlichkeit richtet sich nach dem Verlauf der Momentenlinie. Meist wird die so gewonnene Anzahl Eisen zur Bildung eines doppelten, auch engeren Strebesystems ausreichen; andernfalls wäre die Anzahl der Eisen zu vergrößern oder das einfache System zu wählen. Mindestens zwei Eisen sollten bis zum Balkenende gerade durchlaufen und dort mit kräftigen Haken endigen (vgl. Kapitel 6).

Bei Beachtung dieser Konstruktionsregeln wird die gewonnene Schubsicherung meist den

rechnerischen Anforderungen vollauf genügen, so daß bei einiger Übung der rechnerische Nachweis entbehrlich ist.

4. Obere Verankerung der abgeboenen Eisen.

Die abgeboenen Strecken dürfen oben nicht unmittelbar mit einem Haken endigen, sondern es muß sich noch ein gerades Stück anschließen (Abb. 12), da erst dann die Eintragung des Druckes in die Druckstrebe auf die beste Weise, nämlich nach Art des Seildruckes auf eine Rolle, erfolgen kann und der auf das gerade Stück wirkende Gleit-

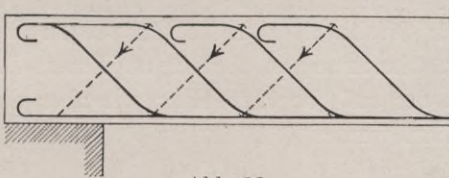


Abb. 12.

widerstand der sicheren Verankerung des Zugeisens neben dem Hakenwiderstand sehr zustatten kommt.

Sofern eine besondere Rücksichtnahme auf den Kräfteausgleich geboten ist (beim einfachen Strebesystem), ergibt sich aus der Halbierung des Winkels zwischen dem wagerechten geraden Stück und der unter 45° geneigten Zugstrebe ganz von selbst die am besten innezuhaltende Neigung der Druckstrebe mit einem Winkel von $67\frac{1}{2}^\circ$ gegen die Wagerechte (Abb. 13).

Die Sicherheit der Verankerung macht ein Durchführen sämtlicher abgeboenen Eisen bis zum Balkenende nicht erforderlich. Bei den Versuchskörpern des Deutschen Aus-

schusses wurden die oberen geraden Stücke der einzelnen abgebogenen Eisen nur so lang gemacht, daß der Endhaken an der nächstfolgenden oberen Knickstelle lag (Abb. 12).

Aus nachstehend (unter 5) angegebenen Gründen erscheint es meist zweckmäßig, das gerade Stück wenigstens

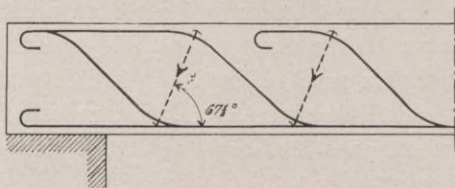


Abb. 13.

der zweiten Strebe bis zum Balkenende zu führen. Die neuen Bestimmungen fordern zu diesem Punkte nur, daß einige der abgebogenen Eisen bis über die Auflager hinweggeführt werden (§ 16, Ziffer 6).

5. Lage der ersten Zugstrebe.

Die schiefen Zugspannungen erstrecken sich gleichmäßig über die ganze Steghöhe; in der Nähe des Auflagers wird

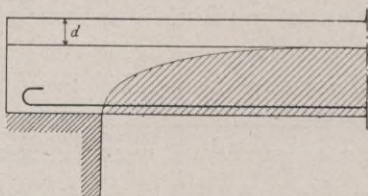


Abb. 14.

das Zugspannungsfeld durch die vom Lagerdruck in waagrechten Ebenen erzeugten Druckspannungen wölbeförmig begrenzt (Abb. 14). Das Fachwerk ist so anzuordnen, daß

auch die in unmittelbarer Nähe des Auflagers möglichen Zugspannungen durch die folgerichtige An-

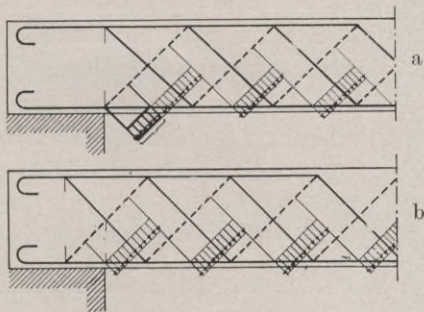


Abb. 15.

ordnung der Zugstreben aufgehoben werden. Bei der für das doppelte und engere Fachwerk nach Abb. 15a und 16a gewählten Lage der ersten Zugstreben ist das —

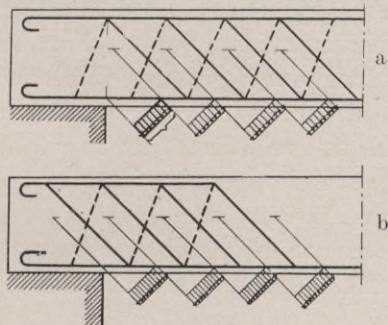


Abb. 16.

wie leicht erkenntlich — nicht der Fall, da ein gewisser Teil der Zugspannungen außerhalb des Sammlungsbereichs der ersten Zugstrebe liegt; bei den Anordnungen b (Abb. 15

und 16) ist das vermieden. Diese Ausführungsweise erscheint auch beim einfachen Strebesystem geraten.

Hiernach könnte man den Grundsatz aufstellen, daß bei Flächenlagerung das Fachwerk im Druckmittelpunkt der Lagerfläche seinen Anfang zu nehmen hätte.

Bei den mit schärferer Auflagerung erprobten Versuchsbalken (Abb. 17) erstreckte sich der die Zugspannungen vermindernde Einfluß der horizontalen Druckspannung naturgemäß nicht so weit wie bei Flächenlagerung, so daß

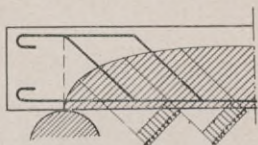


Abb. 17.

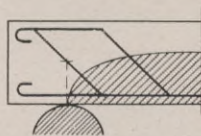


Abb. 18.

auch die in Abb. 18 angegebene Anordnung der Zugstreben für einige Versuche angezeigt erschien und zur Anwendung kam.

Die bei früherem Beginn des Fachwerks eintretende Verkürzung des an die abgegebene Strecke oben anzuschließenden geraden Stückes ist nachteilig, jedoch unbedenklich, wenn das gerade Stück der folgenden Abbiegung bis ans Ende des Balkens geführt wird (Abb. 12 u. 13).

Auflagermitte deckt sich nicht immer mit dem nach Abb. 15b und 16b gegebenen Fachwerksbeginn. Bei Auflagern, die länger sind als der Balken hoch ist, wird der Druckmittelpunkt entsprechend der in der Lagerfläche erzeugten Flächenpressung aus der Mitte mehr nach der inneren Kante der Lagerfläche verschoben werden, besonders bei größerer Stützweite und Durchbiegung.

Der Auflagerdruck wird sich dem Eisenbetonbalken im Gegensatz zu den Verhältnissen bei ordentlichen Fachwerken in geneigten Drucklinien mitteilen, die von der ganzen Breite der Lagerfläche ausgehend zu denken sind; das beeinflußt jedoch die zugrunde zu legende Berechnungsweise der Strebesysteme nicht.

6. Lage der Zugstreben zur Balkenachse.

Man sollte darauf bedacht sein, die Zugstreben innerhalb der Stegbreite so anzuordnen, daß sie eine zur Balkenachse symmetrische Kraftübertragung ermöglichen. Sind die Zugstreben durch zwei Eisen gebildet, so ist das leicht zu erzielen; bestehen sie aus einzelnen Eisen, so sollten sie bezüglich ihrer Lage zur Balkenachse abwechseln.

7. Form der Abbiegung.

Im Gegensatz zum eckigen Anschluß der Zugglieder bei Fachwerken ist es beim Eisenbetonbalken geboten, die Zug-

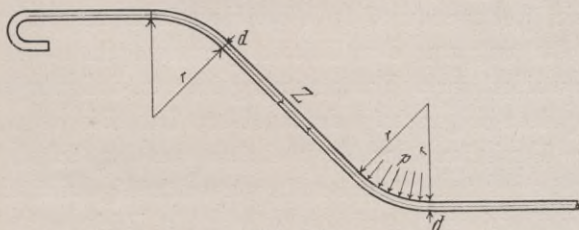


Abb. 19.

eisen in guter Rundung nach oben abzubiegen. Nach § 9, Ziffer 5 muß der lichte Krümmungshalbmesser von abgebogenen Eisen das 10- bis 15fache des Eisendurchmessers betragen (Abb. 19). Dadurch werden zu hohe ört-

liche Pressungen des Betons beim Anschluß der Druckstreben und gewisse Zerstörungserscheinungen an den Knickstellen vermieden. Die Schubsicherheit an sich ist, wenn das Strebesystem folgerichtig ausgeführt wird, von der Art der Abbiegung nicht unmittelbar abhängig.

II. Die Bemessung der Armierung.

1. Feststellung der Strebenkräfte nach der Fachwerkslehre.

Nach den neuen Bestimmungen sind von der Stelle des Balkens ab, wo die Schubspannung den Wert $\tau_0 = 4,0 \text{ kg/qcm}$ erreicht, sämtliche schiefen Zugspannungen durch die Schubsicherungsarmierung aufzunehmen. Dadurch ist die Länge des fachwerkartig zu durchkreuzenden Balkenstückes nächst den Auflagern festgelegt.

Die Feststellung der innerhalb dieser Länge auf eine Zugstrebe entfallenden Zugkraft erfolgt am einfachsten und in Übereinstimmung mit der Berechnung aus den Schubspannungen nach der Fachwerkslehre. Voraussetzung ist nur, daß das Fachwerkssystem folgerichtig durchgeführt ist. Die umständlichere Ermittlung der Strebenkräfte aus den Schubspannungsflächen konnte nur so lange zweckmäßig sein, als die Wirksamkeit des Eisenbetonbalkens als Fachwerksträger durch die Versuche noch nicht bestätigt war und Fachwerkssysteme nicht mit Vorbedacht zur Anwendung gebracht wurden; auch führte die nach den alten Bestimmungen zulässige Anrechnung eines Teiles der Schubspannungen — bis $4,5 \text{ kg/qcm}$ — auf die Zugfestigkeit des Betons mehr

zum Gebrauch der Schubspannungsflächen, besonders bei veränderlicher Balkenhöhe (also bei kontinuierlichen Balken; vgl. die betreffenden Ausführungen in Kapitel 5).

Bei Fachwerkträgern ist die Querkraft zwischen den Knotenpunkten eines Feldes konstant. Solange nur

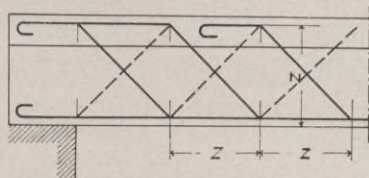


Abb. 20.

Einzellasten vorhanden sind und diesen gegenüber — wie bei den Versuchen — das Eigengewicht des Balkens unbedeutend ist, trifft das auch für den gedachten Eisenbeton-Fachwerksbalken vollen Querschnitts zu.

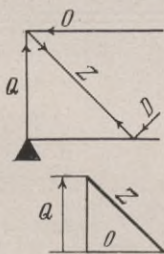


Abb. 21.

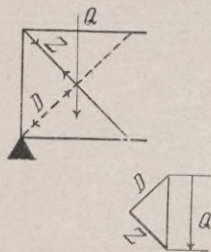


Abb. 22.

Bei gleichmäßiger Belastung ist bekanntlich die Querkraft zwischen zwei Querschnitten veränderlich. Bei der Bestimmung der Zugkraft Z aus der Querkraft hat man daher die für das von der Zugstrebe durchkreuzte Feld von der Länge z (Abb. 20) vorhandene mittlere Quer-

kraft zugrunde zu legen; diese Querkraft kann dort angenommen werden, wo die Zugstrebe die Mittellinie zwischen Eisen und Plattenunterkante schneidet (Abb. 24).

Für Fachwerke mit wechselnden Zug- und Druckstreben (einfache Strebesysteme) ist dann $Z = D = Q \sqrt{2}$ (Abb. 21);

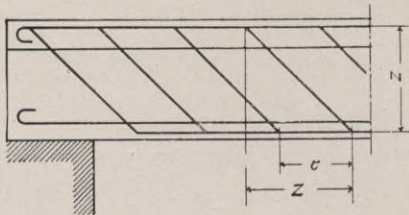


Abb. 23.

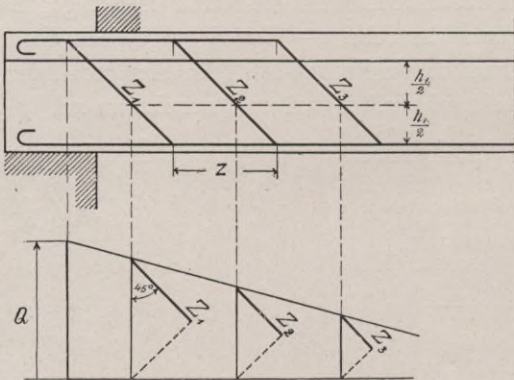


Abb. 24.

für Fachwerke mit gekreuzten Zug- und Druckdiagonalen (doppelte Strebesysteme) ist $Z = D = \frac{Q \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{Q}{\sqrt{2}}$ (Abb. 22).

Wird insofern von der Fachwerksform abgewichen, als die Zugstreben enger als mit der Länge z angeordnet werden

(Abb. 23), so verringert sich die Zugkraft Z nach dem Verhältnis der Strebenteilung e zur Länge z , es wird dann

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{2}} \cdot \frac{e}{z}. \quad \text{Aus den Höhen der Querkraftslinie}$$

kann daher immer durch eine einfache Konstruktion die Zugkraft in den abgebogenen Eisen gefunden werden (Abb. 24).

Die Fachwerksweite ist dem Abstände zwischen Zug- und Druckmittelpunkt nahezu gleich und daher ebenso wie dieser mit z bezeichnet (siehe Abschnitt 2).

2. Feststellung der Strebenkräfte aus den Schubspannungsdiagrammen.

Aus den Schubspannungen ergeben sich die Strebenkräfte nach der Gleichung $Z = F'_{\tau_0} \cdot \frac{b_0}{\sqrt{2}}$ ¹⁾; hierin bedeutet F'_{τ_0} den auf die Zugstrebe entfallenden Teil der Schubspannungsfläche in Quadratzentimetern (vgl. Abb. 25) und b_0 die Stegbreite in Zentimetern. Die jeweilige Schubspannung ergibt sich aus der Formel $\tau_0 = \frac{V}{b_0 \cdot z}$; darin ist z der Abstand zwischen Druck- und Zugmittelpunkt ($h - a - \frac{x}{3}$ oder $h - a - x + y$), veränderlich mit der Balkenhöhe²⁾; V ist die jeweilige Querkraft. Legt man die Schubspannungsfläche unter einem Winkel von 45° — vom Nullpunkt der Querkraftfläche ausgehend — an (Abb. 25), so fällt die Division durch $\sqrt{2}$ weg und es ist $Z = F'_{\tau_0} \cdot b_0$.

¹⁾ Ableitung siehe Schlüter, Bd. I, S. 123 u. f.

²⁾ Erörterung der Schubspannungsverhältnisse im Bereich der Schrägen kontinuierlicher Balken siehe Kapitel 5.

Um ein Zahlenbeispiel zu geben, sei die von den drei Zugstreben der Abb. 25 insgesamt aufzunehmende Hauptzugkraft berechnet mit $\tau_0 = 7,5 \text{ kg/qcm}$, $l' = 110 \text{ cm}$ und einer Stegbreite $b_0 = 30 \text{ cm}$; es wäre

$$F_{\tau_0} = \frac{7,5 + 4,0}{2} \cdot 110 = 632,5 \text{ qcm:}$$

also

$$Z = F_{\tau_0} \cdot b_0 = 632,5 \cdot 30,0 = 18975 \text{ kg.}$$

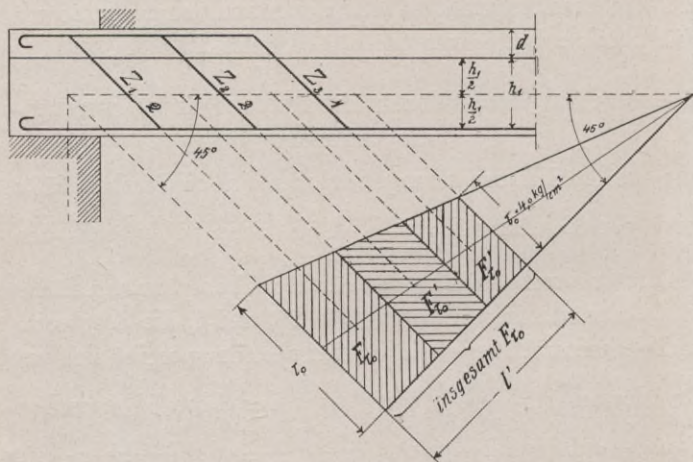


Abb. 25.

Das Schubspannungsdiagramm hat sich auf die Mittellinie zwischen Eisen und Plattenunterkante zu beziehen und nicht auf die Nulllinie. Es wird dadurch die erste Zugstrebe näher an das Auflager herangerückt. Wie bereits unter I, 5 erklärt, erstreckt sich die Zugspannung über die ganze Steghöhe und durch die Zugeisen sollen alle schiefen Zugspannungen des Steges — nicht

etwa bloß diejenigen der neutralen Schicht — gesammelt werden, so daß schon aus diesem Grunde der Bezug der Schubspannungsfläche auf die Mittellinie richtiger ist.

Die Übereinstimmung der Bestimmung von Z nach der Fachwerkslehre mit dieser Berechnungsweise ist bei konstanter Querkraft, also konstanter Schubspannung ohne weiteres erkenntlich; da die Länge des von einer Zugstrebe durchkreuzten Trägerstückes gleich der Fachwerkhöhe z ist, so entfällt auf die Zugstrebe die Schubspannungsfläche

$$F'_{\tau_0} = \tau_0 \cdot z \text{ und damit ist } Z = \frac{\tau_0 \cdot z \cdot b_0}{\sqrt{2}} \text{ oder mit } \tau_0 = \frac{Q}{b_0 \cdot z}$$

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{2}}.$$

3. Größe der Strebenkräfte.

Es hängt ganz von der Art der Belastung ab, ob die Zugkraft in den Zugstreben des Fachwerks gleichbleibt oder abnimmt. Ist der Balken durch eine oder zwei Einzellasten belastet, so ist die Querkraft, vom Eigengewicht des Balkens abgesehen, vom Lastangriff bis zum Auflager konstant, so daß alle diesen Balkenteil durchkreuzenden Zugstreben gleiche Zugkräfte aufzunehmen haben und mit der Berechnung einer derselben (am Auflager) auch die übrigen bestimmt sind (Abb. 26). Der Zweck des als Zulageisen in Abb. 26 bezeichneten Schrägeisenbügels ist unter 5 näher erörtert.

Liegt gleichmäßige Belastung vor, so nimmt die Querkraft vom Auflager bis zur Mitte allmählich ab. Strenggenommen würde demnach auch der Querschnitt der Zugstreben mit der Entfernung vom Auflager abnehmen können, soweit eine bestimmte Fachwerksweite festgehalten wird.

Da es nicht üblich ist, für einen Balken verschieden starke Eisen zu verwenden, so kann in solchem Falle die Verminderung des Querschnittes nur durch Herabsetzung der Eisenanzahl erfolgen. Meist benutzt man zwei Eisen für eine Strebe; je nach der Größe des Balkens können auch mehr verwendet werden; die Verkleinerung der Anzahl kann jedenfalls erst nach entsprechender Abnahme der Querkraft oder Zugkraft bis zum vollen Betrage der Zug-

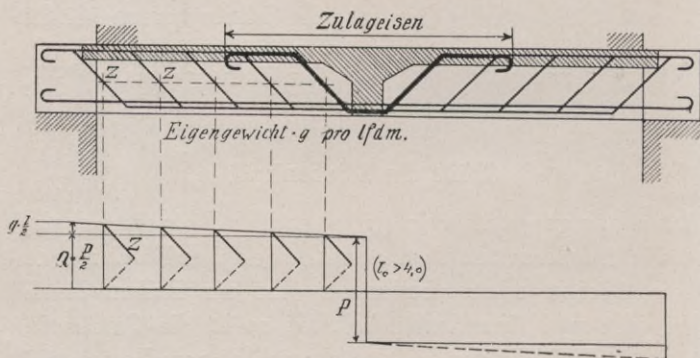


Abb. 26.

fähigkeit eines Eisens erfolgen (Abb. 25). Bei Balken, die gegenüber den größten Querkraften eine engere Anordnung der Zugstreben als mit dem Abstände z erfordern (Abb. 23), ergibt sich die Anpassung des Strebenquerschnitts an die Zugkräfte ohne weiteres durch allmähliche Erweiterung des Abstandes bis zur Weite z .

4. Zulässige Beanspruchung der Zugeisen.

Aus den Versuchsergebnissen ist zu schließen, daß für die abgebogenen Eisenstrecken oder Bügel, wenn alle

Zugspannungen durch sie aufgenommen werden, mindestens die gleiche Beanspruchung zugelassen werden kann wie gegen Biegunszugspannung (1200, 1000 und 750 kg/qcm; vgl. § 18, Ziffer 4 und Kapitel 7 letzter Absatz über die Vermeidung von Dehnungsrissen).

5. Ergänzung der Zugstreben durch Bügel.

Kann die schiefe Hauptkraft im Rahmen der zulässigen Beanspruchungen nicht restlos von den abgebogenen Eisen aufgenommen werden, so besitzt man in den Bügeln das Hilfsmittel der Ergänzung. Bügel werden zwar immer über die ganze Trägerlänge angeordnet (siehe Kapitel 3 und 4), aber nur in diesem Falle hinsichtlich ihrer statischen Wirkung mit zu beachten sein. Je nach der Größe des Restes an schiefer Hauptkraft wird die Bügelarmierung stärker und dichter ausfallen müssen, als sie sonst für praktische Zwecke gewählt worden wäre.

Bei gleichmäßiger Belastung wird es meist gelingen, die für die Schubsicherung nach dem System eines doppelten Strebenfachwerks erforderlichen Eisen gänzlich aus den entbehrlich werdenden Eisen der Hauptarmierung zu gewinnen (siehe S. 16, Abb. 11), so daß Bügel hierbei nicht zu Hilfe genommen zu werden brauchen.

Bei dreieckigen Momentenflächen — Einzellasten in der Mitte (Abb. 26) — deckt sich die Entbehrlichkeit der Hauptarmierungseisen meist nicht mit den Anforderungen der Schubsicherheit, soweit diese auf die Bildung eines doppelten Strebenfachwerks gerichtet sind, weil die zulässige Schubspannung von 4,0 kg/qcm schon meist unter der Einzellast erreicht oder überschritten ist, an

derselben Stelle jedoch unten noch kein Eisen entbehrt werden kann, vorausgesetzt, daß gerade so viel Eisen gewählt worden sind, als unter voller Ausnutzung der zulässigen Beanspruchung für die Biegungsspannungen erforderlich waren. In solchen Fällen ist der Konstrukteur auf die Hilfe der Bügel angewiesen, wenn er es nicht vorzieht, ein oder zwei Hauptarmierungseisen mehr einzulegen, als gegen Biegung gerade erforderlich sind, und aus diesen Zulageeisen (Abb. 26) die ersten Aufbiegungen nächst der Mitte zu gewinnen, wonach das Moment so weit abgenommen haben wird, daß die Hauptarmierungseisen in der gewünschten Weise aufgebogen werden können.

Die Berechnung der Bügel steht genau auf derselben Grundlage wie die der abgebogenen Hauptarmierungseisen und kann daher ebenfalls nach der Fachwerkslehre oder mit Hilfe der Schubspannungen erfolgen. Nach den Versuchsergebnissen haben diejenigen Bügel, welche von irgendeinem unter 45° durch den Steg gelegten Schnitt getroffen werden (Abb. 27), die im Bereiche dieses Schnittes wirkende Querkraft oder einen Teil davon aufzunehmen (Mörsch, S. 236), ähnlich wie die Vertikalen bei einem Fachwerk, das nach der Mitte ansteigende Druckdiagonalen enthält (Abb. 28). Man braucht aber nicht für alle auf diese Weise legbaren Schnitte die Bügel nach Maßgabe der jeweiligen Querkräfte einzeln zu bestimmen, wenn die Bügel nur zur Entlastung der abgebogenen Eisen benutzt werden sollen. Den Bügeln kann gegebenenfalls ein über die ganze Länge des Fachwerks gleichbleibender Teil der Querkraft zugewiesen werden (Abb. 29), der sich nach der Zugfähigkeit

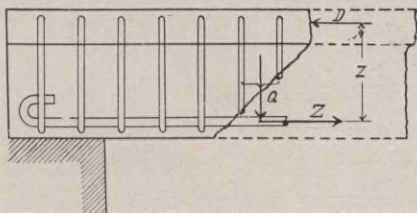


Abb. 27.

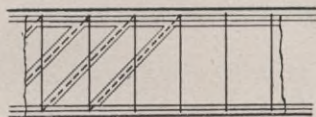


Abb. 28.

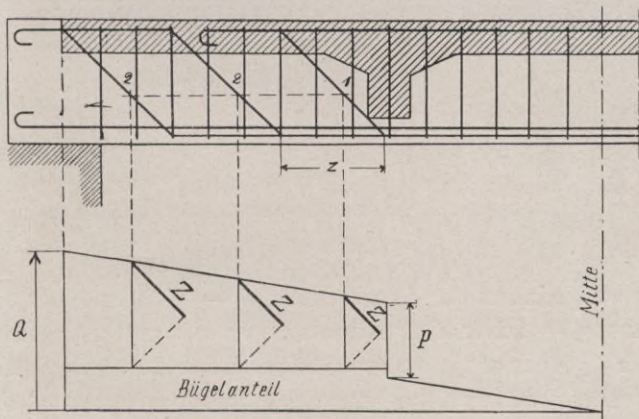


Abb. 29.

der auf ein Balkenstück von der Länge z entfallenden Bügelanzahl richtet. Entfallen bei dem Bügelabstand e $\frac{z}{e}$ Bügel auf die Länge z und beträgt die Zugfähigkeit eines Bügels (mit seinen beiden Querschnitten) B , so wäre bei Innehaltung gleichen Abstandes die von den Bügeln durchweg aufnehmbare Querkraft einfach $Q = \frac{z}{e} B$. Mit den Bügeln hat man es also in der Hand, die Querkraftflächen im Bedarfsfalle so weit herabzusetzen (Abb. 29), wie es mit Rücksicht auf die Bildung des Fachwerks sowohl wie die Wahrung der zulässigen Beanspruchung in den Zugstreben gerade erwünscht ist.

Diese Herabsetzung kann natürlich in jedem beliebigen Maße erfolgen¹⁾; bei gleichmäßiger Einteilung der Bügel, die sich bei konstanter Querkraft empfiehlt, drückt sie sich in einer Parallelen zur Grundlinie der Querkraftfläche aus,

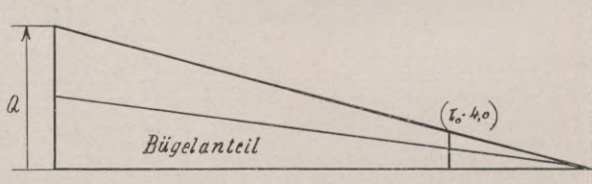


Abb. 29 a.

bei dreieckförmiger Querkraftfläche — gleichmäßiger Belastung — kann der Bügelanteil mit der Zunahme der Querkraft auch gesteigert werden (Abb. 29 a). Die gesetzmäßige Abnahme des Bügelabstandes nach den

¹⁾ Bei einigen Versuchen des Deutschen Ausschusses (Heft 20) erhielten die Bügel die Hälfte der gesamten Hauptzugkraft.

Auflagern zu ergibt sich dann in einfacher Weise durch Berechnung der Aufnahmefähigkeit der Bügel an zwei Stellen; man wird den Bügelabstand auch dann über Teilstücke der Balkenlänge gleich halten, um die Ausführung zu vereinfachen.

In Beispiel 2 (Kapitel 7) ist so vorgegangen, daß die Aufnahmefähigkeit der Zugstreben zuerst in der Querkraftfläche zum Ausdruck gebracht wird und die Bestimmung der Bügel mit der restlichen Fläche erfolgt.

Zwischen den unteren Eiseneinlagen und der Balkenoberfläche werden unmittelbar durch die Belastung in wagerechten Ebenen des Steges Druckspannungen erzeugt, die sich auch den Bügeln mitteilen und deren Zugbeanspruchung in gewissem Grade herabsetzen. Da diese Spannungsverminderung rechnerisch außer acht gelassen wird, bleibt die Beanspruchung der Bügel unter dem rechnungsmäßigen Wert. Die gezeigte Berechnungsweise der Bügel bietet also eine große Sicherheit.

In den Schubspannungsflächen läßt sich der Einfluß der Bügel in ebenso einfacher Weise wie in den Querkraftflächen zum Ausdruck bringen. Da nur diejenigen Bügel, welche von einer unter 45° durch den Steg gezogenen Rißlinie für den Widerstand gegen den Riß als gezogene Vertikale in Frage kommen, und die Länge des vom Riß durchzogenen Balkenstückes gleich der Wirkungshöhe z des Balkens ist, so wird die Zugkraft in einem der Bügel, wenn sie mit dem Abstand e angeordnet sind, $B = Q \frac{e}{z}$ (Abb. 30, vgl. auch Abb. 27). Aus der Gleichung

chung für die Schubspannung folgt $Q = \tau_0 \cdot b_0 \cdot z$; also $B = \tau_0 \cdot b_0 \cdot z \frac{e}{z} = \tau_0 \cdot b_0 \cdot e$ oder, da bei Innehaltung eines bestimmten Bügeldurchmessers die Zugfähigkeit B bekannt ist,

$$\tau_0 = \frac{B}{b_0 \cdot e}.$$

Sind beispielsweise 10 mm starke Bügel in einem Abstände von $e = 20$ cm verwendet und beträgt die Steg-

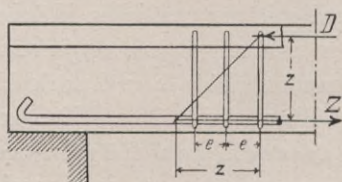


Abb. 30.

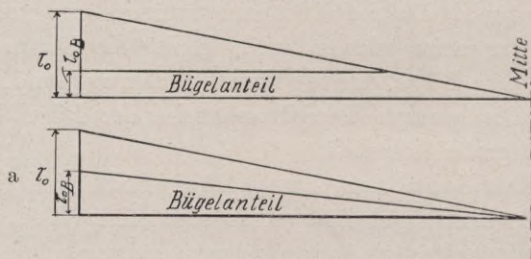


Abb. 31.

breite $b_0 = 30$ cm, so wäre mit dem Bügelquerschnitt von $2 \cdot \frac{\pi \cdot 1,0^2}{4} = 1,57$ qcm und der Beanspruchung vom 1000 kg/qcm $B = 1,57 \cdot 1000 = 1570$ kg und $\tau_0 = \frac{1570}{30 \cdot 20} = 2,61$ kg/qcm.

Dieses τ_0 ($\tau_0 B$) wäre gegebenenfalls von vornherein in den Schubspannungsflächen auf die

ganze Trägerlänge abzusetzen (Abb. 31), wonach die Ermittlung der Strebenkräfte aus der restlichen Schubspannungsfläche wie sonst zu erfolgen hätte. Die Feststellung des Bügelanteils nach Abb. 31a bietet nach oben Gesagtem (Abb. 29a) keine Schwierigkeiten.

6. Überholte Berechnungsweise der Bügel.

Sind nach den neuen Vorschriften gegen schräge Schubrisse in der angedeuteten Weise die nötigen Vorkehrungen getroffen, so sind weitere Maßnahmen — etwa gegen wagerechte Abscherung in der Nullebene oder gegen lotrechte Abscherung, wie bereits im Kapitel 1 erwähnt — überflüssig, da mit der Sicherung gegen die Zugrisse diesen Zerstörungserscheinungen vorgebeugt ist.

Bisher war es vielfach üblich, nach Feststellung der Stabaufbiegungen noch einen Bügelquerschnitt gegen Abscherung zu errechnen; die Bügel sollten mit ihren wagerecht getroffenen Querschnitten einen Teil der in der Nullebene auftretenden Schubkraft ($S = Z \cdot \sqrt{2}$) aufnehmen. Durch die Versuche des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton ist erwiesen, daß diese Berechnungsweise keine Begründung hat; die Rundeisen können — weit entfernt, einen Scherwiderstand von 800 kg/qcm zu bieten — äußerstenfalls nur mit wenig mehr als der Haftfestigkeit auf Schub wirken, was praktisch ohne jede Bedeutung ist, um die beobachtete günstige Wirkung der Bügel zu erklären¹⁾. Die Bügel wirken aber ähnlich wie die Vertikalen eines Fachwerks, das druckfähige,

¹⁾ Mit dem Wortlaut in Mörsch, Eisenbetonbau, S. 271.

nach der Mitte ansteigende Diagonalen enthält (Abb. 28).

Gegenüber diesen Feststellungen ist es unverständlich, daß die Berechnung der Bügel als Scherglieder sich noch immer erhalten hat. Immerhin ergaben die auf diese Weise ermittelten Bügel eine wirksame Ergänzung des nach den bisherigen Bestimmungen zu gering bemessenen Querschnitts der aufgebogenen Eisen; das erklärt auch, warum die nunmehr überholte Berechnungsweise der Schrägeisen bisher nicht in weit größerem Umfange Schaden angerichtet hat.

Ein nach den neuen Bestimmungen hinsichtlich der schrägen Schubrisse voll gesicherter Balken bedarf daher einer Bügelausteilung nach diesem Gesichtspunkte nicht mehr; es kommt für die Bügel im Rahmen der klargelegten Einschränkungen nur eine Berechnung auf Zug wie bei den Schrägeisen in Frage (siehe Abschnitt 5).

Kapitel 3.

Die statische Aufgabe der Bügel im mittleren Balkenteil.

Eine selbständige und ständige statische Aufgabe haben die Bügel im mittleren Balkenteile — zwischen den beiden Schubsicherungsbereichen — zu erfüllen. Es handelt sich hier allerdings nur noch um Schubspannungen bis zu 4,0 kg/qcm und die ebenso großen Hauptspannungen. Der Beton kann aber in Bereichen, wo die größten Biegemomente auftreten, auch den zulässigen Betrag der Schubspannung nicht aufnehmen, weil er durch die Normalspannungen schon ganz auf Zug ausgenützt oder gar gerissen ist. Der erforderliche Bügelquerschnitt ermittelt sich nach Kapitel 2, Abschnitt 5, aus $B = \tau_0 \cdot b_0 \cdot e$. Da die Schubspannung von 4,0 kg/qcm nur als Höchstwert auftritt, wird man bei der Bestimmung der Bügelstärke eine geringere Schubspannung, etwa die mittlere, zugrunde legen können. Praktische Schwierigkeiten ergeben sich dabei nicht.

Die Bügel erfüllen für den mittleren Balkenteil noch eine statische Aufgabe, auf die in der Rechnung nicht weiter eingegangen zu werden pflegt. Bei ruhender Last — insbesondere gleichmäßig verteilter Last — ist die Querkraft an bestimmter Stelle Null und damit

steht auch die Stelle fest, wo die Schubspannung den Wert von $4,0 \text{ kg/qcm}$ erreicht, also die eigentliche Schubsicherungsarmierung zu beginnen hat. Bei veränderlicher Last ist aber die Möglichkeit gegeben, daß im Falle einseitiger, ungünstigster Lastanordnung schon in einem früheren Querschnitt, als durch die Berechnung für Vollast ermittelt war, der Beton die Zugspannung von $4,0 \text{ kg/qcm}$ erhält. Für diesen Fall sind die Bügel zur Zugsicherung für den außerhalb der schrägen Aufbiegungen liegenden Balkenteil von Nutzen. Wenn es sich um hohe Verkehrslasten handelt, wäre die entsprechende Rechnung durchzuführen.

Kapitel 4.

Die praktische Aufgabe der Bügel.

Die Bügel haben eine praktische Aufgabe, die ihre Anwendung über die ganze Balkenlänge stets erforderlich macht, also abgesehen von ihrer ständigen statischen Aufgabe im mittleren Balkenteil und ihrer bedingten statischen Aufgabe in den Schubsicherungsgebieten.

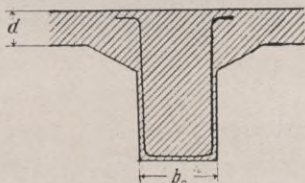


Abb. 32.

In erster Linie haben sie den Zusammenhang zwischen Deckenplatten und Balkensteg sicherzustellen, also die in den wagerechten Schnittflächen entstehenden Zugspannungen aus dem Eigengewicht des Steges aufzunehmen (§ 9, Ziffer 4); sie sind zu dem Zwecke über den ganzen Balken auszuteilen und oben mit Haken zu versehen, die in die Platte eingreifen (Abb. 32)¹⁾; sie verbinden

¹⁾ Bei sehr großen Stegbreiten werden die in der Breite b_0 liegenden Bügelstücke zu nachgiebig gegen ein Herunterdrücken der Eisen; es empfiehlt sich dann zwei oder mehr ineinander greifende Bügel von geringerer Breite zu verwenden; so daß eine mehrfache Zugverbindung nach oben besteht und auch die mittleren Eisen sicher gehalten werden,

somit zwei Trägereile, die meist nicht unmittelbar gleichzeitig hergestellt werden können, aber doch in festem Verbund zur Wirkung kommen sollen.

Die Bügel ermöglichen ferner die geordnete Auflagerung der Hauptarmierungseisen in der Schalung und verhindern beim Einstampfen der Stege ein Herausdrücken der Trageisen.

Für die Verlegung der zum Balken querlaufenden und aufgebogenen Deckeneisen besitzen zwei in der Druckzone des Balkens angeordnete gerade Rundeisen einen hohen Wert,

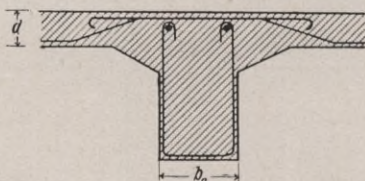


Abb. 33.

wenn die Herstellung von Balken und Decken in einem Guß erfolgen soll, also auch die ganze Armierung zuvor fertig aufgebracht sein muß; die Stützung dieser Eisen kann nur durch Bügel erfolgen (Abb. 33). Für die geordnete Aufbringung der Armierung, der Balken sowohl wie der Decken, haben die Bügel daher einen hohen praktischen Wert.

Eine wichtige Aufgabe haben die Bügel bekanntlich bei Druckgliedern (Säulen) in der Verhinderung des Ausknickens gedrückter Längseisen zu erfüllen. Soweit bei Balken Druckarmierung zur Verwendung kommt (bei kontinuierlichen Balken oft an den Unterseiten der

Schrägen oder Kehlen), ist daher eine reichliche Bügelarmierung erforderlich.

Auf die hohe Bedeutung der Bügel im Rahmenbau sei hier nur nebenbei hingewiesen.

Zu erwähnen wäre auch noch, daß ein mit Bügeln durchzogener Balken Erschütterungen besser widerstehen kann als solcher ohne Bügel (Mörsch, S. 329).

Aus den praktischen Anlässen läßt sich eine Berechnung der Bügel nicht herleiten. Meist genügt für die Bügel — soweit nur dieser Zweck in Frage kommt — Rundeisen von 7 bis 8, auch 10 mm Durchmesser und ein gleichmäßiger Abstand von 20 bis 30 cm über die ganze Balkenlänge. Flacheisenbügel (nach Hennebique) bieten nach den Versuchsergebnissen keine Vorzüge.

Kapitel 5.

Winke für den Entwurf einfacher und kontinuierlicher Balken.

Die Schubsicherung mit Hilfe abgebogener Hauptarmierung bietet in der Ausführung dann Schwierigkeiten, wenn sie sich auf eine zu große Länge erstreckt, weil dann nicht genug Eisen der Hauptarmierung zum Hochbiegen zur Verfügung stehen. Wenn von vornherein ein nicht zu geringer Balkenquerschnitt festgelegt wird, ist die Schubsicherung mit einfachen Mitteln, also auf normalem Wege, zu erzielen. Bei der aus wirtschaftlichen Gründen allgemein üblichen Benutzung einer geringeren als der zulässigen Betondruckbeanspruchung (bei einfachen Balken 25 bis 30 kg/qcm) ist das ohne weiteres der Fall. Nach den neuen Bestimmungen ist dann noch folgendes zu beachten:

Die bei der Entwurfsrechnung erforderliche statische Breite (Druckzonenbreite) konnte man nach den alten Bestimmungen im allgemeinen zu $\frac{1}{3}$ der Spannweite des Balkens annehmen (§ 14, Ziffer 6). In den neuen Bestimmungen heißt es dazu, § 16, Ziffer 9: „Die Breite der Druckplatte eines Plattenbalkens darf, von der Rippenachse aus nach jeder Seite gemessen, nicht größer angenommen werden als die 4fache Rippenbreite, die 8fache Plattendicke,

die 2fache Trägerhöhe einschließlich Plattendicke oder die halbe zugehörige Plattenfeldweite. Bei einseitigen Plattenbalken ist die 3fache Rippenbreite, die 6fache Plattendicke und die $1\frac{1}{2}$ fache Trägerhöhe maßgebend. Das kleinste dieser Maße ist zu wählen.“ In den meisten Fällen wird man daher jetzt, da die Stegabmessungen zunächst unbekannt sind, die zuvor schon berechnete Plattendicke nach Maßgabe der angeführten Bestimmung für den Entwurf des Plattenbalkens benutzen müssen. § 16, Ziffer 10 fordert dann weiter, daß die wirksame Balkenhöhe mindestens $\frac{1}{20}$ der Stützweite betrage, was meist bei Innehaltung der empfohlenen Betonbeanspruchung der Fall sein wird.

Im Anschluß daran wäre die Stegbreite nach § 9, Ziffer 6 festzulegen und mit ihr die angenommene Druckbreite nachzuprüfen, soweit das nach § 16, Ziffer 9 erforderlich ist.

Mit den so erhaltenen Stegabmessungen wird die Schub-sicherungsrechnung nach Anforderung von § 17, Ziffer 3 meist keine Schwierigkeiten bieten.

Bei kontinuierlichen Balken gelangt man zu demselben Ziele, wenn die Bemessung nach Maßgabe der positiven Momente mit noch geringerer Beanspruchung als bei einfachen Balken erfolgt (etwa nur mit 20 bis 25 kg/qcm), oder wenn man nach den nachfolgend erläuterten Berechnungsvorschlägen verfährt.

Die Abmessungen solcher Balken sind in besonderer Weise in Rücksicht auf die Durchführbarkeit der Schub-sicherung in den den Innenstützen zunächst gelegenen Balkenteilen zu bestimmen, abgesehen von der Notwendigkeit ausreichender Stegabmessungen für die Druckaufnahme

im Bereiche der negativen Biegemomente, also ebenfalls nahe den Innenstützen.

Je größer das Verhältnis von Nutzlast zu Eigenlast ist, um so weiter werden sich in den bestimmungsgemäß (§ 16, Ziffer 8, Absatz 2) zugrunde zu legenden Fällen ungünstigster Laststellung die negativen Biegemomente von den Innenstützen aus in die Balkenfelder hinein erstrecken und eine größere Stegbreite und Balkenhöhe erforderlich machen, als etwa zuerst bloß für positive Momente festgelegt ist.

Die Schubsicherung aber nimmt an den bezeichneten Stellen deswegen einen breiteren Raum ein als an den Auflagern einfacher Balken, weil erhöhte Auflagerdrücke für ihre Berechnung in Frage kommen (nämlich diejenigen, welche beim größten Stützmoment auftreten), ohne daß durch die Schrägen oder Verbreiterungen des Steges irgend eine Erleichterung in der Schubsicherungskonstruktion geboten wird, wie das auf dem Boden der bisherigen Bestimmungen der Fall war. Im Bereiche der Konsole sind die Schubspannungen fast ausnahmslos größer als 4,0 kg/qcm, also hier wie außerhalb derselben* (bis zu der Stelle hin, wo τ_0 den zulässigen Betrag von 4,0 kg/qcm erreicht) die Schubspannungen, oder besser gesagt der in Zug sich äußernde Teil der Querkräfte, restlos durch Eisen aufzunehmen. Der einzige Vorteil, welchen die Schrägen für die Schubsicherungskonstruktion an sich bringen, ist der, daß die Fachwerkweite vergrößert wird, von einer Zugstrebe also ein längeres Stück durchkreuzt wird als bei der normalen Balkenhöhe und mehr Bügel von einer schrägen Rißlinie getroffen werden.

Da die Stelle, bis zu welcher die Schubsicherung auszu-
dehnen ist, die zulässige Spannung von 4,0 kg/qcm also
gerade erreicht wird, außerhalb der Konsollänge liegt¹⁾,
empfiehlt es sich, die größte Schubspannung von vorn-
herein nur mit dem der normalen Balkenhöhe entspre-
chenden Werte z zu berechnen, weil damit dann auch schnell
die Stelle des Balkens gefunden werden kann, wo die Schub-
sicherung zu beginnen hat, während andererseits die mit
der Konsolhöhe ermittelte Schubspannung keinen weiteren
Wert für die Rechnung besitzt. Sobald nämlich alle
Spannungen durch Eisen aufzunehmen sind, ist es ganz
gleichgültig, mit welcher Balkenhöhe diese ermittelt sind,
da sie ja nachher bei der Bestimmung der Zug-
kraft doch wieder alle addiert werden, sofern man
überhaupt mit den Schubspannungsflächen arbeitet. Nach
der Fachwerklehre können die Zugkräfte un-
mittelbar bestimmt werden und die Berechnung einer
Schubspannung hat dabei nur den Zweck, die Stelle fest-
zulegen, bis wohin sich die Schubsicherung zu erstrecken
hat.

Die durch die Kontinuität bewirkte Erhöhung der Auf-
lagerdrücke der einzelnen Felder erforderte gegenüber den
Schubkräften sinngemäß noch größere Balkenabmes-

¹⁾ Nach § 16, Ziffer 4, Absatz 2 soll der Momentennullpunkt
außerhalb der Schräge zu liegen kommen, so daß die Länge der
Konsole bestimmt begrenzt ist; zu lange Konsole stören die Wir-
kung der Kontinuität. Bei Beachtung von § 18, Ziffer 6, wonach
für die Unterseiten der Schrägen und Konsolen bei ihrem Anschluß
an die Innenstützen eine höhere Beanspruchung des Betons zu-
gelassen ist und § 16, Ziffer 4, Absatz 2, der eine Neigung der
Schrägen von 1 : 3 vorschreibt, ergeben sich normale Abmessungen
der Konsole.

sungen, als für denselben Balken ohne Kontinuität notwendig gewesen wären. Dieser Gedanke hat sich nach meinen Erfahrungen insofern bestätigt, als für einen mit normaler Schubsicherung ausführbaren kontinuierlichen Balken das Produkt aus Stegbreite und Balkenhöhe dasselbe Ergebnis hat wie für den gleichen Balken bei freier Auflagerung.

Man ermittle also zunächst die Balkenabmessungen nach dem Biegemoment des frei aufliegenden Trägers (Balkenhöhe h_0 und Breite b_0 ¹⁾ nach Maßgabe der erforderlichen Eisen) und bestimme das Produkt $b_0 \cdot h_0$. Nachdem dann die dem kleineren, bei Kontinuität eintretenden Biegemoment entsprechende Balkenhöhe h_0 berechnet ist, bestimmt sich die zugehörige Stegbreite b_0 durch Division dieser Höhe in das oben festgestellte Produkt.

Kontinuierliche Balken erhalten hiernach durchweg eine größere Stegbreite als einfache Balken und genügen dann auch von vornherein den Anforderungen an die Schubsicherheit in normaler Weise.

¹⁾ $b_0 = n \cdot 2,57 \cdot d$, worin n die Anzahl der in unterer Reihe vorhandenen Eisen ist (vgl. Schlüter, Bd. I, S. 147); nach den neuen Bestimmungen § 9, Ziffer 6 soll der lichte Abstand der Eisenlagen voneinander nach jeder Richtung in der Regel mindestens gleich dem Eisendurchmesser, aber nicht kleiner als 2 cm sein.

Kapitel 6.

Der Nachweis der Haftspannungen und der Einfluß der Haken.¹⁾

Die neuen Bestimmungen über die Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton enthalten über den Nachweis der Haftspannungen folgende Vorschriften:

§ 17, Ziffer 4: „Die Haftspannungen brauchen nicht berechnet zu werden, wenn die Enden der Eisen mit runden oder spitzwinkligen Haken versehen und dabei die Eisen nicht stärker als 26 mm sind.“

§ 18, Ziffer 11: „Die zulässige Haftspannung τ_1 (Gleitwiderstand) beträgt 4,5 kg/qcm. Dabei ist für die auf Biegung beanspruchten Platten und Balken vorausgesetzt, daß sie, wenn nur gerade Eisen mit oder ohne Bügel vorhanden sind, aus der Gleichung $\tau_1 = \frac{b_0 \cdot \tau_0}{u}$ berechnet wird.

Sind dagegen Eisen nach der einfachen oder mehrfachen Strebenanordnung abgebogen, so daß sie imstande sind, die gesamten schrägen Zugspannungen allein aufzunehmen, so ist für die Berechnung der Haftspannung an den unteren gerade geführten Eisen nur die halbe Querkraft in Ansatz zu bringen.“

¹⁾ Nähere Zahlenangaben über die Steigerung und Herabsetzung der Haftfestigkeit und des Gleitwiderstandes durch die jeweilige Beschaffenheit des Eisens sowohl wie des Betons bringt Heft A des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, von Dr.-Ing. C. v. Bach und Ingenieur O. Graf, Berlin 1913.

Der Nachweis der Innehaltung der genannten zulässigen Beanspruchung wird demnach nur noch für Eisen von stärkerem Durchmesser als 26 mm gefordert und zwar auch nur nach Maßgabe einer das Ergebnis sehr herabsetzenden Berechnungsweise, die sich jetzt meist anwenden lassen wird; nur für Balken mit gerader Hauptarmierung bleibt die bisherige Berechnungsweise mit voller Querkraft bestehen.

1. Beschränkung des Haftspannungsnachweises auf stärkere Eisen.

Wir besprechen zunächst die Gründe, die zur Beschränkung des Haftspannungsnachweises auf stärkere Eisen geführt haben.

Dem Herausziehen des Eisens aus dem umhüllenden Beton stehen zwei Kraftwirkungen entgegen: 1. Der Gleitwiderstand und die Haftfestigkeit des Betons, 2. nach Lösung des Eisens der Hakenwiderstand. Während zu Beginn der Belastung nur der Gleitwiderstand und die Haftfestigkeit für den Halt des Eisens in Anspruch genommen werden, kommt nach vollständiger Lösung des Eisens der Hakenwiderstand zur Geltung, so zwar, daß ein beträchtlicher Reibungswiderstand in der Gleitfläche noch weiter erhalten bleibt. Nun zeitigten bei den von Baudirektor v. Bach in Stuttgart angestellten Versuchen über den Einfluß des Hakens und der Hakenform¹⁾ die rund²⁾

¹⁾ Veröffentlicht im Heft 9 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

²⁾ Bei den Versuchen wurden die Haken nach Considère mit dem lichten Durchmesser von $5d$, mindestens mit 100 mm lichter Weite, ausgeführt.

und spitzwinklig angebogenen Haken schließlich ein Zerspalten der Balkenenden, die rechtwinklig angebogenen Haken ein Absprengen des Betons an der Stirnseite. Das Absprengen des Betons bei rechtwinklig angebogenen Haken läßt sich nicht vermeiden; dem Zerspalten durch spitzwinklige und runde Haken (Abb. 34) steht aber in praktischen Fällen die Wirkung der Bügel und querlaufenden Deckeneisen entgegen. Der Verzicht auf die Hakenwirkung bei stärkeren Eisen enthält daher eine große Vorsicht, weil nach § 9, Ziffer 5 spitzwinklige oder

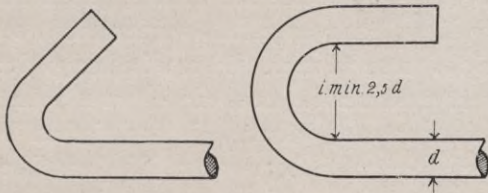


Abb. 34.

runde Haken an den Enden der Eisen zur Vorschrift gemacht sind und alle Haken überhaupt erst bei sehr hoher Eisenspannung in der Nähe der Streckgrenze versagten. Nicht unwesentlich ist in diesem Zusammenhang, daß bei stärkeren Eisen die Inanspruchnahme der Haken früher eintreten wird als bei schwächeren, weil einige stärkere Eisen in ihrer Gesamtheit einen kleineren Umfang besitzen als mehrere schwächere von insgesamt gleicher Querschnittsgröße und damit die Möglichkeit früherer Lösung des Eisens gegeben ist.

Wenn bei Eisen unter 26 mm Durchmesser auf den Haftspannungsnachweis geradezu verzichtet wird, war

nicht die Voraussetzung dafür maßgebend, daß die zulässige Haftspannung bei diesen nicht überschritten werden könnte, sondern das Ausbleiben der erwähnten nachteiligen Folgen der Hakenbelastung, sodaß die Haken hier immer sehr wohl als letzter, unnachgiebiger Halt angesehen werden können, also die notwendige Sicherheit für den Fall gewährleisten, daß unter der Höchstlast die Haftfestigkeit überwunden ist.

Hinzugefügt werden muß noch, daß die erwähnten Versuche mit Balken quadratischen, also verhältnismäßig sehr massigen Querschnitts mit nur einem geraden Eisen und ohne Bügelbewehrung angestellt worden sind, so daß die Höchstlast nur durch Überwindung der Haftfestigkeit und unter Ausschluß von Schrägrissen eintreten konnte, während in praktischen Fällen bei den äußerlich schwach bemessenen Rippenbalken mit abgebogenen Eisen oder auch nur geraden Eisen und Bügeln — bei diesen allerdings in geringerem Maße — die Inanspruchnahme der Haftfestigkeit bzw. des Gleitwiderstandes erst in zweiter Linie in Frage kommt, weil mit der Verhinderung weiterer Ausdehnung der Schrägrisse die Übertragung größerer Zugkräfte in die gerade durchlaufenden Eisen und damit der Einfluß der Gleitspannungen auf die Bruchfestigkeit von Balken mehr oder weniger herabgesetzt ist, ein weiterer Grund, im allgemeinen auf den Haftspannungsnachweis zu verzichten.

2. Der Haftspannungsnachweis mit halber Querkraft.

Soweit der Haftspannungsnachweis zu erbringen ist, ist die für Strebesysteme zugelassene Formel $\tau_1 = \frac{Q}{2 \cdot z \cdot u}$ durch die Versuche mit nach zweifachem und dreifachem Strebesystem abgebogenen Eisen erwiesen; beim einfachen Strebesystem muß für ihre Anwendung eine reichliche Bügelarmierung (siehe Kapitel 2, Teil 1, Ziffer 2) vorausgesetzt werden. Rechnerisch läßt sich diese Formel wie folgt belegen¹⁾: Nach der Fachwerkslehre ergibt sich bei Aufbiegung von Eisen nach einem Strebesystem von der letzten Abbiegestelle bis Mitte Auflager für die gerade durchlaufenden Eisen eine konstante Beanspruchung — im Gegensatz zu dem allmählichen Spannungsabfall bei nur geraden Eisen —; und zwar ist nach Abb. 35

$$Q \cdot z = Z \cdot z;$$

also

$$Z = Q$$

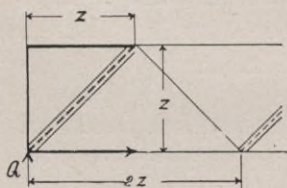


Abb. 35.

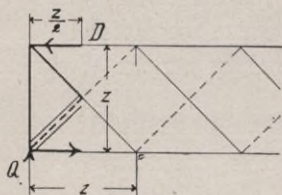


Abb. 36.

und nach Abb. 36

$$Q \frac{z}{2} = Z \cdot z;$$

also

$$Z = \frac{Q}{2},$$

¹⁾ Nach Mörsch, Eisenbetonbau, S. 273.

so daß mit dem Umfang der durchlaufenden Eisen u und der Einbettungslänge $2z$ und z der mittlere Gleitwiderstand sich in beiden Fällen aus der Formel

$$\tau_1 = \frac{Q}{2z \cdot u}$$

berechnet¹⁾.

Für Balken mit gerader Hauptarmierung ist an der alten Berechnungsweise von τ_1 , die also doppelt so hohe Werte liefert, festgehalten. Solche Balken kommen ohne Bügel nur in Form von Platten zur Anwendung, für die sich aber die Haftspannungsberechnung schon deswegen erübrigt, weil stärkere Eisen kaum erforderlich werden und jedenfalls immer nur geringe Werte der Haftspannung zu erwarten sind. Nach den Versuchen wäre bei solchen Balken für die Anwendung der Formel vorauszusetzen, daß Schrägrisse nicht auftreten, was bei Platten immer erfüllt ist. Enthalten die Balken Bügel, so ist die Erfüllung dieser Voraussetzung nicht erforderlich, da die Bügel das weitere Öffnen der schrägen Risse verhindern; die Formel liefert aber dann für solche Balken etwas zu geringe Werte der Haftspannung.

3. Bedeutung der zulässigen Beanspruchung als Mittelwert.

Die zugelassene Haftspannung von 4,5 kg/qcm bedeutet einen Mittelwert, der in dem durch die er-

¹⁾ Nach den Versuchsergebnissen beruhten die für Balken mit aufgebogenen Eisen festgestellten bedeutend größeren Werte τ_1 — mit den gerade durchlaufenden Eisen, nach den amtlichen Bestimmungen errechnet — darauf, daß die abgebogenen Eisen fast gleichzeitig mit den geraden Eisen zur Gleitung gelangten, ihr Ausschluß in den Haftspannungsberechnungen also nicht richtig ist. (Heft 20, Deutscher Ausschluß für Eisenbeton, S. 84.)

forderliche Sicherheit gebotenen Verhältnis zu den bei Überwindung der Haftfestigkeit gefundenen Mittelwerten der Haftfestigkeit und des Gleitwiderstandes steht; diese waren 18 bis 22 kg/qcm, sodaß ein 4- bis 5facher Sicherheitsgrad beobachtet wird. Als Mittelwerte bei Überwindung der Festigkeit sind die unter Voraussetzung gleichmäßiger Spannungsverteilung auf der ganzen Einbettungslänge errechneten Werte anzusehen.

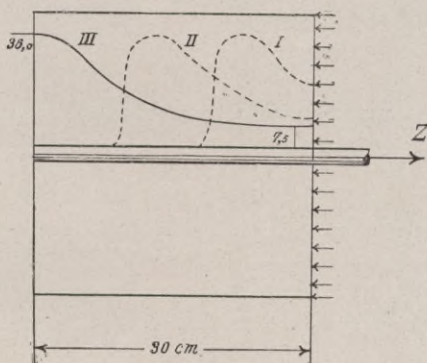


Abb. 37.

Gleichmäßige Spannungsverteilung ist aber in Wirklichkeit nicht vorhanden. Sobald sich in der die Eisen unmittelbar umschließenden Betonschicht ein Riß eingestellt hat — und das wird zuerst am Orte des größten Momentes der Fall sein — sieht der Verlauf der Gleitwiderstands- und Haftspannungen dem bei direkten Zugversuchen gefundenen (Abb. 37) sehr ähnlich, d. h. an der Rißstelle wirkt zunächst noch keine Haftspannung, sondern nur Gleitwiderstand, in weiterem Abstände nimmt dieser zu und erreicht erst in mehr oder weniger großer

Entfernung von der Risstelle den Höchstwert, die Haftfestigkeit, dort, wo zufolge der die Zugkraft allmählich herabsetzenden Gleitwiderstände jede elastische Verschiebung des Eisens gegen den Beton aufgehört hat. Die Kurven I und II in Abb. 37 zeigen den bei Laststufen vor der Höchstlast anzunehmenden Spannungsverlauf, die Kurve III denjenigen bei der Höchstlast oder der Lösung des Eisens¹⁾.

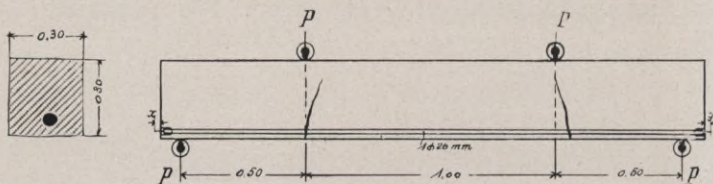


Abb. 38.

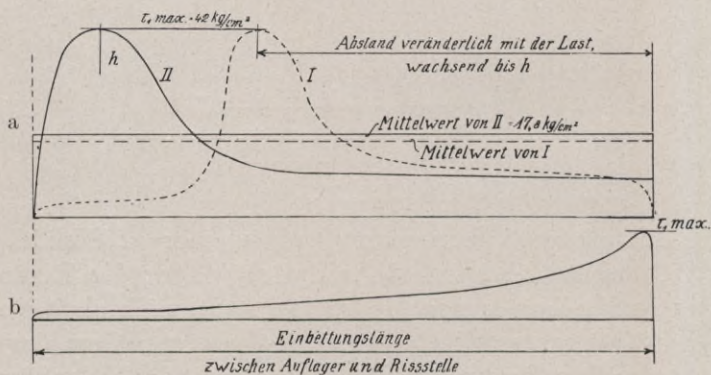


Abb. 39.

In Abb. 39a sind die auf dem Eisen eines Probebalkens der Materialprüfungsanstalt Stuttgart — siehe Abb. 38 — zwischen Risstelle und Auflager eintretenden

¹⁾ Nach Mörsch, S. 69, Abb. 60.

Spannungsverteilungen dargestellt¹⁾, Kurve I für eine Laststufe vor der Höchstlast, Kurve II bei der Höchstlast und Lösung des Eisens. Wie lange von der Rißstelle ab Gleitwiderstände wirken, bevor die eigentliche Haftfestigkeit, die ein von der Oberflächenbeschaffenheit des Eisens und der Bindekraft des Zementes abhängiger Wert ist, erreicht ist, hängt ganz von der Größe der Eisenzugkraft ab. Es hat sich herausgestellt, daß die bei Überwindung der Haftfestigkeit nach der

für Biegung gültigen Formel $\tau_1 = \frac{Q}{z \cdot u}$ berechneten

Werte des Gleitwiderstandes und der Haftfestigkeit in guter Übereinstimmung mit den bei direkten Zugversuchen festgestellten Mittelwerten derselben Spannungen aus der ganzen Einbettungslänge stehen.

Nach Schlüssen, die aus den Versuchen gezogen werden können, beträgt der Gleitwiderstand in unterer Grenze etwa 7,5 kg/qcm, die eigentliche Haftfestigkeit oder der Gleitwiderstand in oberer Grenze 38 bis 42 kg/qcm; die höheren Werte des Gleitwiderstandes treten bei kürzeren Einbettungslängen auf, so daß der Mittelwert mit Abnahme der Einbettungslänge steigt.

Für die Rechnung genügt, weil diese nur dem Vergleich der bei verschiedenen Belastungsstufen erzielten Ergebnissen dienen soll, die Voraussetzung gleichmäßiger Spannungsverteilung. Wenn für die Beanspruchung unter normaler Last vom Mittelwert der Spannungen bei der Lösung des Eisens nur ein gewisser, durch den Sicher-

¹⁾ Nach Mörsch, Eisenbetonbau, 4. Aufl., S. 265, Abb. 213.

heitsgrad gebotener Teilbetrag zugelassen wird, erübrigt sich das weitere Eingehen auf den wirklichen Spannungsverlauf.

4. Spannungsverteilung vor der Rißbildung.

Vor dem Auftreten eines Risses in der die Eisen umhüllenden Betonschicht trifft die oben beschriebene Gleitwiderstandsverteilung nicht zu. Über den dann vorliegenden Spannungsverlauf läßt sich nur nach dem Grund-

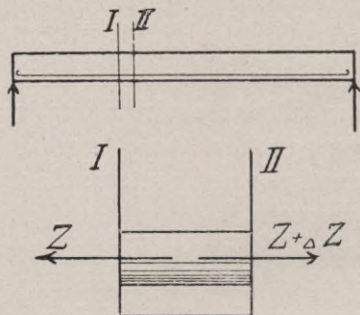


Abb. 40.

satz ein Schluß ziehen, daß die Größe der Haftspannungen von der Differenz der Eisenzugkräfte zwischen zwei benachbarten Querschnitten abhängig ist (Abb. 40). Solange das Moment sich wenig ändert, werden die erzeugten Haftspannungen auch nur sehr gering sein. Im übrigen macht sich die Betonzugfähigkeit in der Herabsetzung der Eisenspannungen und damit auch der Differenz derselben zwischen zwei Querschnitten geltend. Nach den Auflagern zu setzt die Zugfähigkeit des Betons die Eisenspannung, wie die

Dehnungsmessungen ergeben haben, in gesteigertem Maße herab, sodaß nach dort die Differenzen derselben allmählich zu Null werden. Die größten Haftspannungen werden daher in diesem Zustand dort auftreten, wo der Wechsel im Momentbilde am größten ist, aber die Haftfestigkeit nicht erreichen; nach den Versuchen betrug die größte Haftspannung unter der Last vor der Rißbildung 20 kg/qcm. (Abb. 39b). Bevor die eigentliche Haftfestigkeit an dieser Stelle erreicht sein wird, dürften aber stets Risse im Beton eingetreten sein, wonach die Spannungsverteilung sich in der oben dargestellten Weise vollzieht.

Der Zustand der Rißbildung wird um so früher eintreten, je geringer die Breite der Zugzone im Verhältnis zur Druckzone und je höher die für die normale Belastung des Trägers zugrunde gelegte Eisenbeanspruchung ist. Da in der Bemessung der zulässigen Höhe einer Beanspruchung von dem bei Überwindung der fraglichen Festigkeiten vorliegenden Zustände auszugehen ist, so ist die zulässige Beanspruchung von 4,5 kg/qcm nach den für den Zustand der Rißbildung gefundenen Mittelwerten des Gleitwiderstandes und der Haftfestigkeit festgesetzt.

Kapitel 7.

Zahlenbeispiele.

Die beiden folgenden Beispiele mögen den Vorgang der Schubsicherungsberechnung im Zusammenhang veranschaulichen; Muster für die Verteilung der Zugkräfte auf die Hauptarmierungseisen und die Bügel lassen sich schwer geben.

Die Abkürzung der Rechnung ist Sache des Einzelnen.

Beispiel 1.

Für einen Balken von 37 cm Höhe und 30 cm Breite betrage bei gleichmäßiger Belastung von 3700 kg/m der Auflagerdruck 6160 kg. Aus der Biegunsberechnung habe sich eine Armierung von 6 Eisen von 20 mm Stärke bei der Nutzhöhe von

$$z = h - a - \frac{x}{3} = 29,75 \text{ cm}$$

ergeben.

Schubsicherungsberechnung:

$$\tau_0 = \frac{6160}{32 \cdot 29,75} = 6,47 \text{ kg/qcm.}$$

Die zulässige Spannung von 4,0 kg/qcm ist vorhanden bei der Querkraft

das ist

$$Q = 6160 \cdot \frac{4,0}{6,47} = 3800 \text{ kg,}$$
$$\frac{6160 - 3800}{3700} = 0,637 \text{ m}$$

vom Auflager entfernt. Bei der Fachwerkweite von $z = 29,75$ cm wird bereits mit zwei nach dem System eines doppelten Strebenfachwerkes (vgl. Abb. 8 und 11) hintereinander folgenden Zugstreben die Schubsicherungslänge von 63,7 cm bis auf den unbedeutenden Betrag von

$$63,7 - 2 \cdot 29,75 = 4,2 \text{ cm}$$

durchkreuzt¹⁾.

Die Zugkraft in der ersten Zugstrebe vom Auflager beträgt, ungünstig mit der Querkraft in Auflagermitte (Abb. 15 b, Seite 19) gerechnet²⁾,

$$Z = \frac{6160}{\sqrt{2}} = 4360 \text{ kg.}$$

Werden zwei der 6 Rundeisen 20 mm für diese Strebe abgebogen, so ist deren Beanspruchung

$$\sigma_z = \frac{4360}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 2,0^2}{4}} = 693 \text{ kg/qcm.}$$

Für die zweite Zugstrebe genügt daher schon ein Rundeisen 20 mm.

Es verbleiben noch drei gerade durchlaufende Eisen (vgl. Abb. 11). Der Balken erhält nur die aus praktischen Gründen erforderliche Bügelarmierung, die auch zugleich den Schubsicherungszwecken im Mittelteil genügt (siehe Kapitel 3). Der Haftspannungsnachweis ist bei der Eisen-

¹⁾ Rechnet man mit der wirklich vorhandenen Aufbiegungshöhe von $37 - 2 \cdot 3 = 31,0$ cm als Fachwerkweite, so wird mit zwei Feldern die Länge von 62,0 cm durchkreuzt und es bleibt nur ein Rest von 1,7 cm.

²⁾ Feststellung der Strebenkräfte siehe Seite 22 u. f.

stärke von 20 mm mit Bezug auf Bestimmungen § 18, Ziffer 11, Absatz 2 nicht erforderlich (siehe Kapitel 6).

Beispiel 2.

Derselbe Balken habe einen Auflagerdruck von 8500 kg aufzunehmen. Es wird dann:

$$\tau_0 = \frac{8500}{32 \cdot 29,75} = 8,92 \text{ kg/qcm,}$$

$$Q = 8500 \cdot \frac{4,0}{8,92} = 3800 \text{ kg,}$$

das ist

$$\frac{8500 - 3800}{3700} = 1,27 \text{ m}$$

vom Auflager entfernt.

Es wären bei der Aufbiegungshöhe (\cong Fachwerkweite, vgl. Fußnote 1 zu Beispiel 1) von 31 cm $\frac{127}{31} = 4,1$, also mindestens 4 Zugstreben erforderlich. Von den 6 Eisen der Hauptarmierung stehen höchstens vier zur Aufbiegung zur Verfügung. Diese reichten bei der vorhandenen großen Querkraft gerade für die beiden dem Auflager zunächst gelegenen Zugstreben 1 und 2, also die erste Hälfte des Schubsicherungsgebietes von 127 cm Länge, aus, wenn sie allein — ohne Bügel — die Schubsicherung herbeiführen sollen. Da wir dann in der zweiten Hälfte des Schubsicherungsgebietes lediglich mit Bügeln arbeiten müßten und Bügel sowieso über die ganze Länge angeordnet werden, ziehen wir es vor, die zur Verfügung stehenden Hauptarmierungseisen auf die ganze Schubsicherungslänge zu verteilen, so daß 4 Fachwerkfelder damit gebildet werden

($4 \cdot 31 = 124$ cm), und die auf diese Weise zu schwachen Zugstreben durch Bügel zu ergänzen (vgl. die auf dieses Beispiel bezüglichen Bemerkungen im Kapitel 2, Abschnitt II, Ziffer 5, Seite 33).

Jede der Zugstreben vermag bei dem Querschnitt von 3,14 qcm und einer Beanspruchung von 1200 kg/qcm eine Zugkraft

$$Z = 3,14 \cdot 1200 = 3770 \text{ kg}$$

aufzunehmen; das entspricht aber einer übertragbaren Querkraft von

$$Q = 3770 \cdot \sqrt{2} = 5330 \text{ kg.}$$

Im Bereich der 4 Zugstreben dürfen wir die Querkraftfläche daher um diesen Betrag herabsetzen (durch eine Parallele zur Grundlinie, wie es mit dem Bügelanteil in Abb. 29 gemacht ist). Der restliche dreieckförmige Teil der Querkraftfläche ist nunmehr den Bügeln zuzuweisen. Im Bereich der ersten Zugstrebe beträgt die mittlere Querkraft (vgl. Abb. 24)

$$8500 - \frac{0,31}{2} \cdot 3700 = 7930 \text{ kg}^1),$$

der durch Bügel aufzunehmende Teil

$$7930 - 5330 = 2600 \text{ kg.}$$

Wählen wir zweischnittige Bügel (Abb. 32) von 7 mm Stärke, also von $0,385 \cdot 2 = 0,77$ qcm Querschnitt und

¹⁾ Die Querkraft ist also hier auf Mitte Fachwerkweite bezogen, was man sich ohne weiteres gestatten kann; nach dem zu Abb. 24, Seite 24 Gesagten wäre die Querkraft etwas kleiner ausgefallen.

einen Abstand derselben von 10 cm, dann bieten diese im Bereich der Rißbreite (= Fachwerkweite z) von 29,75 cm einen Zugquerschnitt von

$$0,77 \cdot \frac{29,75}{10,0} = 2,29 \text{ qcm}$$

und können daher bei 1200 kg/qcm Beanspruchung eine Querkraft von

$$Q = 2,29 \cdot 1200 = 2750 \text{ kg}$$

übertragen, womit der an sie zu stellenden Anforderung Genüge geleistet ist.

Im Bereiche der zweiten Zugstrebe beträgt die mittlere Querkraft

$$Q = 8500 - 0,31 \cdot 1\frac{1}{2} \cdot 3700 = 6780 \text{ kg}$$

und der durch Bügel aufzunehmende Teil

$$6780 - 5330 = 1450 \text{ kg.}$$

Da ein Bügel eine Zugkraft von

$$0,77 \cdot 1200 = 925 \text{ kg}$$

aufnehmen kann, so wären im Bereich der Rißbreite

$$\frac{1450}{925} = 1,57 \text{ Stück Bügel}$$

erforderlich, und der Bügelabstand betrage zum mindesten

$$\frac{29,75}{1,57} = \text{rd. } 19,0 \text{ cm.}$$

Der Bügelabstand wird aber zunächst erst auf 15 cm erweitert und mit etwa 20 cm auch außerhalb der eigentlichen Schubsicherungsgebiete beibehalten.

Kapitel 8.

Die Notwendigkeit des Ausschlusses der Mitwirkung des Betons in der Zugaufnahme durch abgebogene Eisen und Bügel.

Einige Worte über den Gedanken des Zusammenwirkens des Betons mit den Eisen in der Zugaufnahme nach Maßgabe der alten Bestimmungen.

Bei der Feststellung des Bedarfs an Schrägeisen ist nach den neuen Bestimmungen, wie dargelegt, auch von einer teilweisen Mitwirkung des Betons in der Zugaufnahme abzusehen.

Die Zugfestigkeit des Betons beträgt 12,0 kg/qcm. Unter Voraussetzung eines dreifachen Sicherheitsgrades könnte daher in Rücksicht auf die Hauptzugspannungen auf Eisen verzichtet werden, wenn τ_0 am Auflager den Wert von 4,0 kg/qcm nicht überschritte; die noch vorhandenen horizontalen Normalzugspannungen tragen, soweit sich aus den Versuchen schließen läßt, zu der Ribildung in der Nähe der Auflager nur in geringem Maße bei, da für sie die Eisen entlastend wirken. Im Bereiche der über 4,0 kg/qcm gehenden schrägen Zugspannungen, wo zur Erzielung der gleichen Sicherheit Eisen angewendet werden müssen, kann aber dem Beton

selbst dieser zulässige Betrag von 4,0 kg/qcm aus folgenden Gründen nicht mehr zugewiesen werden.

Der Beton kann, ohne zu reißen, wie die Versuche von Considère und Kleinlogel erwiesen haben, sich höchstens 0,15 mm auf 1 m ausdehnen. Das Hinzukommen von Eisen vermag diese Dehnungsfähigkeit nur ganz unbedeutend zu erhöhen, wie die Stuttgarter Versuche von Kleinlogel, Wayß & Freytag sowie der Eisenbetonkommission der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie erwiesen haben. Es kann daher bei der Zuganstrengung eines Verbundkörpers nur mit Spannungen im Eisen gerechnet werden, die der Dehnung des schwächeren Teiles, des Betons, entsprechen, und es kann auch nur bis zur Bruchdehnung des Betons ein Zusammenarbeiten von Eisen und Beton vorausgesetzt werden.

Bis zu welcher Höchstspannung im Eisen ein Zusammenwirken desselben mit dem Beton noch möglich ist, läßt sich aus den Dehnungen des Betons leicht feststellen. Legt man für die Bruchdehnung des Betons den gefundenen Höchstwert von $0,196 = \text{rd. } 0,20 \text{ mm}$ für 100 cm Länge zugrunde, so entspräche solcher Dehnung eine Eisenbeanspruchung von nur

$$\sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{l} = \frac{0,02 \cdot 2150000}{100} = 430 \text{ kg/qcm,}$$

während im Beton bei der Bruchdehnung die Spannung von etwa 12,0 kg/qcm erreicht wird. Das Ansteigen der Zugspannungen im Beton und im Eisen bei gemeinschaftlicher Zuginanspruchnahme ist hier nach leicht zu beurteilen.

Die zur Feststellung der richtigsten Schubsicherungsarmierung ausgeführten Versuche¹⁾ von Wayß & Freitag, die Versuche der Materialprüfungsanstalt Stuttgart für die Eisenbetonkommission der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie und für den Deutschen Ausschuß für Eisenbeton haben nun erwiesen, daß das erwähnte, für die Biegungszone armerter und nicht armerter Probek balken bestätigte Dehnungsgesetz auch im Bereich der schiefen Hauptspannungen Gültigkeit hat. Bis zur Höhe normaler Belastung wird daher im Balkenstege tatsächlich ein Zusammenwirken von Beton und Eisen in der Zugaufnahme anzunehmen sein, da bis zu dieser Belastungsgrenze die Schubspannung und damit auch die Zugspannung des Betons die Zugfestigkeit von 12,0 kg/qcm selten überschreiten wird. Bei geringer Überschreitung der normalen Belastung hörte aber schon die Mitwirkung des Betons in der Zugaufnahme auf; fast gleichzeitig erhöhte sich die Zugkraft in dem Eisen sprunghaft um den Zuganteil, der bis dahin vom Beton aufgenommen wurde, σ_e stiege sofort auf ein Vielfaches von 430 kg/qcm, jedenfalls auf den Betrag, der der Aufnahme des gesamten Zuges durch die Eisen allein bei dem gerade vorhandenen Querschnitte entspräche. Deshalb ist dieser Querschnitt von vornherein so stark zu bemessen, daß er die ganze Zugkraft allein aufnehmen kann. Legt man dabei eine Beanspruchung von 1200, 1000 oder 750 kg/qcm zugrunde (§ 18, Ziffer 4), so erhält der Balken im Gebiete der schiefen Zugspannungen

¹⁾ Mörsch, Seite 284 u. f.

denselben Sicherheitsgrad wie gegen die Biegungsspannungen. Gegenüber den vorstehend erläuterten Tatsachen ist die Irrigkeit der bisherigen Schubsicherungs-berechnung, die auf eine bloße Ausnutzung der Festigkeiten von Beton und Eisen hinauslief, ohne die Dehnungen zu berücksichtigen, erwiesen.

Für die durch die neuen Bestimmungen getroffene Entscheidung — bei der Berechnung der Schubsicherungs-armierung eine wirkungslose Betonzugzone anzunehmen — war also das Überlastungsstadium des Balkens bzw. der danach zu bestimmende Sicherheitsgrad maßgebend.

Kommen bei gesteigerter Belastung die Eisen in der Höhe von 1000 bzw. 1200 kg/qcm Beanspruchung zur Wirkung, so ist mit dem Vorhandensein von ganz feinen Dehnungsrissen im Beton zu rechnen, ohne daß diese Risse in irgendeiner Weise die Güte und Brauchbarkeit des Eisenbetonbalkens einschränken.

Sollen Dehnungsrisse aber vermieden werden, so hat man auf größere Betonmassen (breitere Stege) zu sehen oder geringere Eisenbeanspruchungen einzuhalten.

Nach den neuen Bestimmungen (§ 17, Ziffer 5, Abs. 1 und 2) soll zu diesem Zweck bei auf Biegung beanspruchten Rippenbalken von Brücken unter Gleisen, die von Hauptbahnlokomotiven befahren werden, eine Eisenbeanspruchung von 750 kg/qcm (wie immer bei Ausschluß aller Betonzugspannungen nach § 17, Ziffer 1) und eine Betonzugspannung von 24 kg/qcm (ermittelt für den Vollquerschnitt) nicht überschritten werden. Zur schnelleren Auf-

findung der diesen Spannungen entsprechenden Balkenabmessungen ist eine Hilfstafel beigegefügt¹⁾).

Bei Bogen-, Rahmen- und sonstigen statisch unbestimmten Brücken, die von Hauptbahnlokomotiven befahren werden, sollen nach § 17. Ziffer 5, Absatz 3 die unter Berücksichtigung der Achskräfte nachzuweisenden Betonzugspannungen den Wert von 24 kg/qcm unter Einrechnung der von Wärmeschwankungen und Schwinden des Betons herrührenden Spannungen nicht überschreiten.

Die Innehaltung einer Eisenbeanspruchung von 750 kg/qcm war schon von Anfang an, im Jahre 1886, von Koenen angegeben, wonach bis zum Erlaß der ersten baupolizeilichen Bestimmungen alle Eisenbetonbauten mit der Eisenzugspannung 750 kg/qcm berechnet wurden (bei ringförmigen Wasserbehältern zur größeren Sicherheit gegen Zugrisse des Betons sogar nur mit 600 kg/qcm).

¹⁾ Ein bestimmtes Verhältnis von Eisenquerschnitt und Stegquerschnitt des Rippenbalkens wird nicht gefordert; man kann auch durch Probieren zu dem nötigen massigen Querschnitt gelangen.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Eisenbetonbau Säule und Balken

Die grundlegenden Rechnungsarten des praktischen
Eisenbetonbaues in Verbindung mit den
neuesten Versuchsergebnissen
dargelegt zur
**Förderung des Verständnisses für die
Detailbearbeitung**

von **H. Schlüter**

In Leinen gebunden Preis 9 Mark

Die **Zeitschrift** des österreichischen **Ingenieur- und
Architekten-Vereins** schreibt in Nr. 16, 1916 u. a.:

Der Verfasser meint, daß dem Anfänger zunächst nur das Allernötigste geboten werden darf, dies allerdings recht gründlich. Die Schreibweise des Verfassers ist wirklich sehr klar und für den Anfänger bestimmt . . .

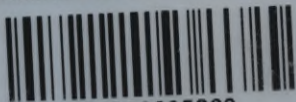
Bei der Berechnung der Aufbiegungen der Eiseneinlagen will der Verfasser dieselben nach der ganzen Kraft berechnen, ohne irgendwelche Zugspannungen dem Beton zuzumuten . . .

Er betrachtet ferner die Bügel nur als Konstruktionselement und will sie nicht besonders berechnen, sondern zur Erhöhung der Sicherheit anwenden . . .

Dr. M. Thullie.

**Eine gründliche, von der Fachpresse allgemein
anerkannte Vorbereitung für die Praxis.**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295863