Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Heft 22. **Versuche über das Rosten von Eisen in Mörtel und Mauerwerk.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary,** Abteilungsvorsteher im Königl. Materialprüfungsamt.
1913. Mit **15** Abb. und **5** Tabellen. Geh. **Preis 2,80 M.**

Heft 23. **Untersuchungen über die Längenänderungen von Betonprismen beim Erhärten und infolge von Temperaturwechsel.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff,** Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. **H. Sieglerschmidt,** Assistent der Abteilung für Metallprüfung.
1913. Mit **36** Textabb. und **32** Zusammenstellungen. Geh. **Preis 5,60 M.**

Heft 24. **Spannung σ_{bz} des Betons in der Zugzone von Eisenbeton-Balken unmittelbar vor der Rißbildung.** Von Dr.-Ing. **C. Bach,** Königl. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf,** Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1913. Mit **13** Textabb. und **6** Zusammenstellungen. Geh. **Preis 2,80 M.**

Heft 25. **Wahl des Größenwertes der Elastizitätsverhältniszahl *n*** für die Berechnung von Eisenbetonträgern. Von **M. Möller,** Geheimer Hofrat, Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig und Dipl.-Ing. **M. Brunkhorst,** Assistent an der Hochschule.
1913. Mit **2** Textabb. Geh. **Preis 1 M.**

Heft 26. **Belastung und Abbruch von zwei Eisenbetonbauten** im Königlichen Materialprufungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Nachtrag zu der Veröffentlichung über **Brandproben** an Eisenbetonbauten (Heft 11). Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary,** Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1913. Mit **11** Textabb. Geh. **Preis 1,20 M.**

Heft 27. **Gesamte und bleibende Einsenkungen von Eisenbeton-Balken. Verhältnis der bleibenden zu den gesamten Einsenkungen.** Von Dr.-Ing. **C. Bach,** Königl. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf,** Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1914. Mit **58** Textabb. und **47** Zusammenstellungen. Geh. **Preis 2,40 M.**

Heft 28. **Untersuchung von Eisenbeton-Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung.** DRITTER TEIL. (Fortsetzung zu Heft 5 und 21.) Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff,** Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.
1914. Mit **47** Textabb. Geh. **Preis 8,40 M.**

Heft 29. **Die vorschriftsmäßige Zusammensetzung des Betongemenges** nach den Bestimmungen fur Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton. Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary,** Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1915. Mit **16** Textabb. Geh. **Preis 2,20 M.**

HEFT 25

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

WAHL DES GRÖSSENWERTES DER ELASTIZITÄTS-VERHÄLTNISZAHL n

FÜR DIE BERECHNUNG VON EISENBETONTRÄGERN

VON

M. MÖLLER
GEHEIMER HOFRAT
PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN BRAUNSCHWEIG

UND

DIPL.-ING. M. BRUNKHORST
ASSISTENT AN DER HOCHSCHULE

MIT 2 TEXTABBILDUNGEN

BERLIN 1913
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Inhaltsverzeichnis.

Zur Wahl des Grössenwertes der Elastizitätsverhältniszahl *n* für die Berechnung von Eisenbetonträgern.

1. Einleitendes.

Die nachstehend gegebenen Ausführungen stützen sich auf die von mir an Plattenträgern ausgeführten Bruchproben; siehe meine Veröffentlichung:

„Untersuchungen an Plattenträgern aus Eisenbeton" [1]).

Es gilt zu ermitteln, ob als Elastizitätsverhältniszahl zwischen Eisen und Beton der Wert $n = 15$, welcher bei Berechnung von Eisenbetonbauten und insbesondere auch in den amtlichen Bestimmungen benutzt wird, den praktischen Anforderungen entsprechend richtig gewählt ist, oder ob dafür ein anderer Wert, z. B. $n = 10$ zu setzen sein dürfte.

Das Ergebnis der nachfolgenden Untersuchungen zeigt nun, daß der Wert $n = 15$ ein den Verhältnissen angemessener ist. Ein unter Zugrundelegung dieses üblichen Wertes berechneter und konstruierter Eisenbetonträger verhält sich bei der Bruchprobe, wie das Rechnungsergebnis das erwarten läßt. Auch treten Rißbildungen an ihm nicht früher ein, als bei den unter Zugrundelegung des Wertes $n = 10$ berechneten Trägern; allemal die der Berechnung zugrunde gelegten Spannungen σ_e und σ_b, als unverändert belassen, vorausgesetzt.

Der mit $n = 15$ konstruierte Eisenbetonträger bietet gegenüber einem mit $n = 10$ berechneten Träger zudem den wirtschaftlichen Vorteil geringerer Konstruktionshöhe und geringeren Eigengewichtes. Diesem gegenüber fällt die Eigenschaft des mit $n = 10$ berechneten Trägers, welche darin besteht, daß an ihm die Sicherheit des Betondruckgurtes, für sich allein betrachtet, größer ist als für einen mit $n = 15$ berechneten Träger, nicht ins Gewicht, da das nur zu einem Uebermaß an Sicherheit im Druckgurt führt, einer Sicherheit, größer als erforderlich, die im Hinblick auf die weitaus geringere Sicherheit, welche das Eisen bei Wahl der erlaubten Beanspruchung $\sigma_e = 1000$ kg/qcm bietet, überhaupt nicht auswertbar wird.

2. Die Zahl *n* und ihr Größenwert.

In unseren Berechnungen nehmen wir bekanntlich an, daß die Formveränderungen, die Zusammendrückungen und die Dehnungen, in ein und demselben Material der Beanspruchung proportional seien, und daß beide nach einem linearen Gesetz mit dieser sich ändern; sie beginnen in der Oberkante des Druckgurtes mit einem Meistwert, nehmen bis zur Nullinie auf Null ab, um jenseits dieser der Zahl nach wieder zuzunehmen, nun aber mit entgegengesetztem Vorzeichen als Zug und Dehnung erscheinend; siehe Abb. 1.

---

[1]) Verlag von Leonhard Simion Nachf., Berlin, 1907.

Bei Materialien verschiedener Elastizität fallen bei gleicher Spannung in beiden Materialien die Dehnungen aber verschieden aus. Man muß hier die Spannung des Eisens z. B. durch das Elastizitätszahlverhältnis des Eisens zum Beton, d. h. durch $n = \frac{E_e}{E_b}$ dividieren, wenn man aus einer Spannung, die im Beton herrscht, auf die Dehnung schließen will, die im Eisen auftritt. Daher besteht die Gleichung $\frac{\sigma_e}{n} = \sigma'_b$; siehe Abb. 1.

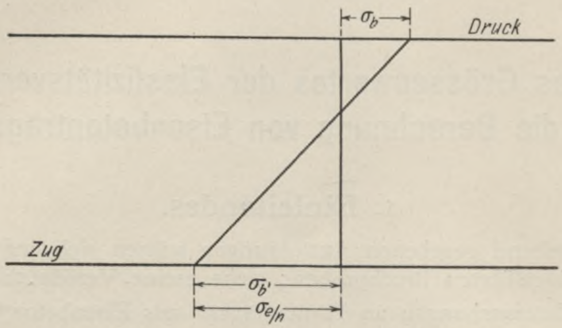

Abb. 1.

Hierin bedeutet σ'_b die Zugbeanspruchung im Beton dort, wo das Eisen liegt, und σ_e die Zugbeanspruchung im Eisen.

Es hat nun zunächst den Anschein, als sei die gestellte Aufgabe gelöst, wenn unmittelbar durch Versuche die Elastizitätszahlen für Eisen E_e und für Beton E_b aufgesucht und ihr Verhältnis zueinander, die Zahl n, damit festgelegt worden ist. Man findet dann Werte, welche in Sonderfällen der üblichen, im Gebrauch befindlichen Zahl $n = 15$ entsprechen, meistens aber kleiner sind als 15. Mit Festlegung dieser Zahl durch Versuche ist aber unsere Aufgabe, so werden wir hernach erkennen, noch nicht gelöst.

Nach den Versuchen S. 70 meiner Veröffentlichung nahm die Größe der Elastizitätszahl E_b mit wachsender Betonspannung ab; sie erreichte mit $\sigma_b = 40$ kg/qcm etwa den Wert 140 000 kg/qcm bei einem Beton, dessen Steinzusatz aus Ziegelschmolzbrocken bestand, während die Elastizitätszahl des verwendeten Rundeisens zu $E_e = 2\,090\,500$ oder rund 2 100 000 kg/qcm gemessen war; siehe Abb. 104 der Veröffentlichung. Hier ist also wirklich $n = \frac{2\,100\,000}{140\,000} = 15$ vorhanden gewesen. Es entsprach also dort der ermittelte Wert n gerade bei dem wichtigen Zustande des Betons, in welchem derselbe die im Gebrauchsfall hier zugelassene größte Beanspruchung erlitt, jener Zahl 15, die allgemein im Gebrauch ist.

Für einen Beton, hergestellt mit Gabbrosteinschlag, fand sich aber bei derselben Betonspannung $\sigma_b = 40$ kg/qcm ein kleinerer Wert, etwa $n = \frac{2\,100\,000}{156\,000} = 13{,}4$ und in einem anderen Fall etwa $n = \frac{2\,100\,000}{191\,000} = 11{,}0$ durch Interpolation angenähert aus den Angaben der Tabelle S. 70 der genannten Veröffentlichung ermittelt.

Bei Beton von kleiner Druckfestigkeit steigt hingegen die Zahl n bisweilen über 15. In einem Sonderfall ist bei minderwertigem Beton $n = 30$ durch Messung festgestellt.

3. Der praktische Einfluß der Größe *n* auf die Sicherheit eines Eisenbetonträgers.

Es ist nun die praktisch wichtige Frage aufzuwerfen, ob jene Plattenträger, bei welchen der Wert von n in Wirklichkeit kleiner war als 15, wiewohl sie unter Zugrundelegung der Zahl $n = 15$ berechnet worden sind, bei ihrer Probebelastung irgendwie Mängel aufgewiesen haben. Die Antwort lautet nein.

Der eine dieser Plattenträger III/3 (s. S. 96) war mit $\sigma_b = 40$ kg/qcm und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm berechnet; er ertrug diese Beanspruchungen mit 3,47facher Sicherheit; denn er brach bei der Untersuchung erst zusammen, als die Belastung so weit getrieben worden war, daß ein Angriffsmoment von 3,47fach größerem Betrage, als der Berechnung zugrunde gelegt worden war, entstand, was als normal zu bezeichnen ist.

Die Platte III/4 (s. S. 98), für deren Herstellung auch Gabbro Verwendung gefunden hatte und die mit $\sigma_b = 33,6$ und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm Materialspannung berechnet worden war, erreichte sogar 3,86fache Sicherheit.

Eine unter Verwendung von Ziegelbrocken und unter Zugrundelegung von $\sigma_b = 39,7$ und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm berechnete und hergestellte Platte II/4 (s. S. 84 der Veröffentlichung) ertrug das ihrer Berechnung zugrunde gelegte Angriffsmoment mit 3,73facher Sicherheit.

Größere Sicherheitsgrade erreicht man bei Eisenbetonträgern, welche mit $\sigma_e = 1000$ kg/qcm Eisenbeanspruchung berechnet und konstruiert sind, überhaupt nicht, auch nicht bei Zugrundelegung des Wertes $n = 10$, wie noch näher gezeigt wird. Es liegt also kein praktischer Grund hier vor, von der Zahl $n = 15$ auf die Zahl 10 hinabzugehen.

4. Theoretische Erörterungen und Betrachtungen über die Trägersicherheit.

a) Abnahme der Größe der Druckzone mit abnehmendem Werte *n*.

Bei Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ vermindert sich, wie Abb. 2 erkennen läßt, die Höhenabmessung der Druckzone von $x = ac$ auf $x' = ac'$, mithin auch die Summe der inneren Druckkräfte, „die Druckgurtkraft", deren Größe für

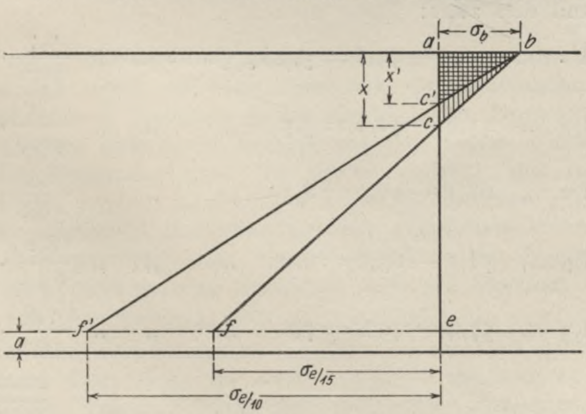

Abb. 2.

$n = 15$ durch das Dreieck abc und für $n = 10$ durch das Dreieck abc' gegeben ist, wofern σ_b die Betondruckspannung sich nicht ändern soll. Es liegt dies daran, daß für $n = 10$ der Fußpunkt der die Spannungsgrößen kennzeichnenden Linie weiter hinausrückt von f nach f'. Die Platte trägt dann rechnerisch nicht so viel; ihre Höhenabmessung müßte vergrößert werden, wollte man für den Fall $n = 10$

dieselbe Tragfähigkeit erreichen wie für den Fall $n = 15$, oder aber man müßte, wenn man mit $n = 10$ rechnet, eine im Mittel um etwa 13,7 % größere Betondruckbeanspruchung σ_b als erlaubt zulassen, gegenüber dem Fall, daß man mit $n = 15$ rechnet. Das zeigt die Tabelle im Abschnitt c hier.

b) Aenderung der Berechnungswerte σ_b und σ_e bei Aenderung der Annahme des Größenwertes n.

Unter Zugrundelegung desselben Angriffsmomentes und derselben Abmessungen im Beton und in der Eiseneinlage sind für mehrere geprüfte Plattenträger zweimal die an ihnen rechnerisch eintretenden Materialspannungen ermittelt, einmal für den Fall $n = 15$ und weiter für den Fall $n = 10$. Die Ergebnisse sind hier mitgeteilt.

Nr.	Bezeichnung der Versuchsplatte	Rechnungswerte in kg/qcm bei $n = 15$		Rechnungswerte in kg/qcm bei $n = 10$	
		σ_b	σ_e	σ_b	σ_e
1	Platte II/1 Seite 76 der Druckschrift	49,6	987	55,3	966
2	„ II/2 „ 78 „ „	40,4	849	45,9	829
3	„ II/2 „ 78 „ „	59,9	1247	68,2	1232
4	„ II/3 „ 80 „ „	63,0	1027	71,0	1002
5	„ II/4 „ 84 „ „	49,8	1255	57,4	1228
6	„ II/5 „ 86 „ „	52,0	1100	59,4	1075
7	„ II/6 „ 88 „ „	62,8	1030	70,5	1000
8	„ III/2 „ 92 „ „	127,6	1053	138,4	1023

c) Zunahme des Rechnungswertes der Betonspannung bei Annahme $n = 10$ gegenüber $n = 15$, ausgedrückt in Prozenten.

Vorstehende Tabelle zeigt, daß unter unveränderten äußeren Belastungs-Verhältnissen für einen bestimmten, gegebenen Eisenbetonträger bei Einsetzung von $n = 10$ gegenüber $n = 15$ höhere Rechnungswerte für die Betonspannung σ_b sich ergeben, und dies zwar:

1. bei Platte II/1 um $55,3 - 49,6 = 5,7$ kg/qcm oder um $\frac{5,7}{49,6} \cdot 100 = 11,5\,\%$
2. „ „ II/2 „ $45,9 - 40,4 = 5,5$ „ „ „ $\frac{5,5}{40,4} \cdot 100 = 13,6\,\%$
3. „ „ II/2 „ $68,2 - 59,9 = 8,3$ „ „ „ $\frac{8,3}{59,9} \cdot 100 = 13,8\,\%$
4. „ „ II/3 „ $71,0 - 63,0 = 8,0$ „ „ „ $\frac{8,0}{63,0} \cdot 100 = 12,7\,\%$
5. „ „ II/4 „ $57,4 - 49,8 = 7,6$ „ „ „ $\frac{7,6}{49,8} \cdot 100 = 15,2\,\%$

zusammen: 66,8 %

als Mittelwert $\frac{66,8}{5} = 13,4\,\%$.

Der Rechnungswert wächst also bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ nach dem Verhältnis $\frac{1,134}{1}$.

Ein mit einer gewissen, als zulässig erachteten Betonbeanspruchung berechneter Eisenbetonträger wird also in bezug auf den Beton eine um 13,4 %

höhere Sicherheit aufweisen, wenn seiner Berechnung $n = 10$ zugrunde gelegt worden ist, wie wenn $n = 15$ in die Berechnung eingesetzt würde; denn man muß ihm nämlich eine entsprechend größere Höhe geben, als dem mit 15 berechneten Träger, damit für ihn der Rechnungswert σ_b zulässiger Beanspruchung nicht größer ausfällt, als für den mit $n = 15$ berechneten Träger.

Das Maß, um welches die Trägerhöhe bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ zunimmt, ist im Abschnitt 4g ermittelt; es beträgt etwa in dem Beispiel dort 11,4 %.

d) Abnahme des Rechnungswertes der Eisenspannung bei Annahme $n = 10$ gegenüber $n = 15$, ausgedrückt in Prozenten.

Wieder sei wie bei 4b und 4c ein und derselbe Eisenbetonträger, jeweils zweimal berechnet, einmal mit $n = 15$ und dann nochmals mit $n = 10$, betrachtet; dabei ergibt sich, wie die Tabelle Abschnitt b zeigt, eine kleinere Eisenspannung, und dies zwar, in Prozenten ausgedrückt, wie nachstehend ermittelt ist:

Die Eisenspannung geht zurück (s. Tabelle Abschnitt b)

im Fall	1	um	$987 - 966 = 21$ kg/qcm	oder um	$\frac{21}{987} \cdot 100 = 2{,}13$ %
„	2	„	$849 - 829 = 20$ „	„ „	$\frac{20}{849} \cdot 100 = 2{,}35$ %
„	3	„	$1247 - 1232 = 15$ „	„ „	$\frac{15}{1247} \cdot 100 = 1{,}20$ %
„	4	„	$1255 - 1228 = 27$ „	„ „	$\frac{27}{1255} \cdot 100 = 2{,}15$ %
„	5	„	$1100 - 1075 = 25$ „	„ „	$\frac{25}{1100} \cdot 100 = 2{,}27$ %
					zusammen: 10,10 %
					als Mittelwert $\frac{10{,}10}{5} = 2{,}02$ %.

Diese Abnahme um rund 2 %, also von 1 auf 0,98, des Rechnungswertes der Eisenspannungen ergibt sich ohne Aenderung der Plattenhöhe, bei Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ bedingt, durch die nach der Formel 2 der amtlichen Bestimmungen alsdann eintretende Verringerung des Wertes x, des Abstandes der Nullinie von der Plattenoberkante. Es wächst dadurch der rechnerische Wert des Hebelarmes der inneren Kräfte $(h - a - x/3)$ um etwa 2 %, woraus nach Gleichung 5 der amtlichen Bestimmungen bei gegebenem Eisenquerschnitt eine Abnahme der Eisenspannung folgt. Im Anschluß an die Zusammenstellung der Werte x, für $n = 15$ und $n = 10$ berechnet, wird im Abschnitt 6 dargetan, daß jene Abnahme von $(h - a - x/3)$ etwa 2 % beträgt.

Setzt man den Wert $\sigma_e = 1000$ kg/qcm beidemal als zulässige Eisenbeanspruchung voraus, dann sinkt für einen zunächst mit $n = 15$ und weiter mit $n = 10$ berechneten Träger, soweit der verwendete Eisenquerschnitt in Frage kommt, die Sicherheit des Trägers für den Fall $n = 10$ um etwa 2 %, da die Benutzung der Zahl $n = 10$ dahin führt, daß man den Hebelarm der inneren Kräfte $(h - a - x/3)$ um so viel größer einschätzt, als wenn man mit $n = 15$ rechnet. Denn da in der Gleichung für fe, Nr. 42 der amtlichen Bestimmungen $(h - a - x/3)$ im Nenner steht, folgt, daß mit zunehmendem Werte dieses Ausdruckes der Eisenquerschnitt fe abnimmt.

e) Sicherheitsänderung des Eisenbetonträgers im ganzen bei Ersatz des Wertes $n = 15$ durch $n = 10$, unter Voraussetzung gleicher Werte σ_b und σ_e.

Berechnet man für ein gegebenes Angriffsmoment einen Eisenbetonträger zweimal, und zwar beidemal unter Voraussetzung gleicher Werte σ_b und σ_e als erlaubte Materialbeanspruchungen, aber einmal mit $n = 15$ und weiter mit $n = 10$, dann erhält man in letzterem Fall einen Träger, dessen Höhe $(h - a)$ um etwa 11,4 % größer ausfällt; siehe die Ausrechnung im Abschnitt 4g hier, dessen Eisenquerschnitt fe aber um etwa 2 % kleiner wird, als wenn man mit demselben Wert σ_e, aber mit $n = 15$ die Berechnung für den Träger dieser größeren Höhe $(h - a)$ durchgeführt haben würde; vergl. Abschnitt 4d und Abschnitt 6.

Die größere Trägerhöhe bedingt nun zwar eine Erhöhung der Sicherheit im Beton, da diese aber an sich bei gewöhnlichem guten Beton (Mischung 1 Zement, 3 Sand, 3 Steinschlag) ohnehin schon eine mindestens 6fache ist (siehe die Ausführungen S. 43 meiner Veröffentlichung über Versuche an Plattenträgern), nützt diese Steigerung der Sicherheit im Beton fast nichts, wenn sie mit einer Herabminderung der Sicherheit im Eisen, welche für den ganzen Träger in erster Linie entscheidet, verbunden ist. Es trägt daher der mit $\sigma_b = 40$, $\sigma_e = 1000$ und $n = 10$ konstruierte Träger nicht mehr als der unter Zugrundelegung der gleichen Spannungen, aber mit $n = 15$ berechnete Träger.

Für den Fall $n = 10$ ist mit Abnahme der Betonspannungen, wie sie in Wirklichkeit mit Zunahme der Trägerhöhe eintritt, zwar unter Umständen eine kleine Steigerung der Sicherheit des Trägers auch bei unverändert gelassenem rechnerischen Wert der Eisenspannung verbunden, wie das z. B. die Platten III/3 (S. 96) und III/4 (S. 98 der Veröffentlichung) zeigen, das aber nicht immer. Bei Herabsetzung des der Rechnung zugrunde gelegten Wertes an Betonspannung von $\sigma_b = 39{,}9$ auf 33,6 kg/qcm stieg die Sicherheit der Platte von 3,47 auf 3,86, also um $\frac{3{,}86 - 3{,}47}{3{,}47} \cdot 100 = 11{,}2\,\%$. Das war aber zum Teil zufälliger Art, denn bei den Platten III/3 (S. 80) und II/1 (S. 76) kehrte sich dies Verhältnis um. Die erstere Platte, mit $\sigma_b = 61{,}3$ kg/qcm berechnet, ergab dort die höhere Sicherheit 3,61, während die mit $\sigma_b = 50{,}2$ kg/qcm berechnete Platte nur den Sicherheitsgrad 3,44 erreichte.

W i r d ü r f e n a l s o a u s s a g e n, daß die mit gleichen Werten σ_b und σ_e berechneten Eisenbetonträger, einerlei ob man ihre Berechnung mit $n = 15$ oder $n = 10$ durchführt, die ihr zugemutete Last mit gleicher Sicherheit tragen, normalguter Beton vorausgesetzt. Nur dann, wenn die Güte des Betons bedeutend gegenüber dem in den amtlichen Bestimmungen geforderten Sicherheitsmaß zurückbleibt, so daß die Betonfestigkeit auf die Hälfte oder auf ein Drittel des üblichen Wertes sinkt, liefert die mit $n = 10$ berechnete Platte eine größere, und zwar im Meistbetrage alsdann um 13,4 % (siehe hier Abschnitt 4c) vermehrte Sicherheit. Dasselbe läßt sich in einem solchen Fall aber auch durch eine entsprechende Herabsetzung der erlaubten Betonspannung erreichen. Im übrigen zeigten Versuche, daß bei kleiner Betondruckfestigkeit die Zahl n nicht den Wert 10 hat, sondern sogar größer werden kann als 15. Somit liegt auch in diesem Fall keine Veranlassung vor, für n einen kleineren Wert als $n = 15$ in den Berechnungen anzunehmen.

f) Erzielung gleicher Rechnungs-Ergebnisse für $(h - a)$ und fe bei geeigneter Wahl verschiedener Werte n, σ_b und σ_e.

Man erhält recht angenähert genau dieselben Trägerabmessungen, d. h. dieselbe Höhe $(h - a)$ und den Eisenquerschnitt fe, wenn man bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ die der Rechnung zugrunde zu legenden Werte σ_b und σ_e wie folgt verändert.

Im ersten Fall bei $n = 15$ möge die Materialspannung mit σ_b und σ_e bezeichnet sein, im zweiten Fall bei $n = 10$ ist dann für die Betonspannung im Mittel das 1,134fache obigen Betrages und für die Eisenspannung das 0,98fache der Trägerberechnung zugrunde zu legen, wenn in beiden Fällen die gleichen Werte h, x und fe sich ergeben sollen.

Beispiel: Nach Nr. 2 der Zusammenstellung Abschnitt 4b hier, Platte II/2 (S. 78 der Druckschrift), findet man für $M = 131\,728$ cmkg auf 1 m Plattenbreite:

für $n = 15$ $\sigma_b = 40{,}4$ und $\sigma_e = 849$ kg/qcm
„ $n = 10$ $\sigma_b = 45{,}9$ „ $\sigma_e = 829$ „ .

Hieraus ergibt sich für σ_b das Verhältnis $\dfrac{45{,}9}{40{,}4} = 1{,}136$

und „ σ_e „ „ $\dfrac{829}{849} = 0{,}98.$

g) Unterschied in der Konstruktionshöhe h und des Eisenquerschnittes fe der Träger unter Voraussetzung eines gleichen Angriffsmomentes sowie gleicher Werte σ_b und σ_e für $n = 10$ im Gegensatz zu $n = 15$.

Gegeben: Ein Angriffsmoment $M = 201\,348$ cmkg auf 1 m Plattenbreite.

Die Berechnung ergibt für $\sigma_b = 40$, $\sigma_e = 1000$ kg/qcm und $a = 2{,}5$ cm folgende Werte $(h - a)$ und fe:

für $n = 15$ $h - a = 17{,}5$ cm $fe = 13{,}15$ qcm
$h = 20{,}0$ „
„ $n = 10$ $h - a = 19{,}5$ „ $fe = 11{,}40$ „
$h = 22$ „

Hier beträgt die Zunahme der Trägerhöhe $\dfrac{19{,}5 - 17{,}5}{17{,}5} \cdot 100 = 11{,}4\,\%$

und die Abnahme des Eisenquerschnittes $\dfrac{13{,}15 - 11{,}4}{13{,}15} \cdot 100 = 13{,}3\,\%$.

Vorstehende Ergebnisse finden sich bei Benutzung der Gleichung 41 der amtlichen Bestimmungen

$$h - a = \sqrt{\frac{2}{(1 - s/3) \cdot s \cdot \sigma_b}} \cdot \sqrt{\frac{M}{b}} = r\sqrt{\frac{M}{b}},$$

worin ist
$$s = \frac{n \cdot \sigma_b}{\sigma_e + n \cdot \sigma_b}.$$

Für $\sigma_b = 40$ und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm wird bei $n = 15$ $s = 0{,}375$ und $r = 0{,}390$,
„ $\sigma_b = 40$ „ $\sigma_e = 1000$ „ „ „ $n = 10$ $s = 0{,}286$ „ $r = 0{,}435$.

Ueber $r = 0{,}390$ siehe auch die Zusammenstellung S. 12 der amtlichen Bestimmungen. Der Wert $r = 0{,}435$ ist auch im Abschnitt 5 hier benutzt.

Die oben ermittelten Zahlen 11,4 und 13,3 % stehen in folgender Beziehung zueinander. Bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ wächst der Wert $(h - a)$ zwar um nur 11,4 %; es nimmt aber zugleich der Wert x ab, und zwar $x/3$ um 2 % der Höhe $(h - a)$. Das findet sich im Abschnitt 6 ermittelt. Mithin nimmt der Hebelarm der inneren Kräfte $(h - a - x/3)$ etwa um $11{,}4 + 2{,}0 = 13{,}4\,\%$ zu, welcher Betrag dem obigen 13,3 % fast genau entspricht.

5. Wirtschaftlicher Vergleich von Plattenträgern,

berechnet für gleiche Nutzlast und gleiche als zulässig erachtete Materialspannungen σ_b und σ_e, aber einmal unter Zugrundelegung von $n = 15$ und ein zweites Mal von $n = 10$.

Die Ergebnisse des Abschnittes 4g führen noch nicht unmittelbar zu einem Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Trägergestaltungen, einmal mit $n = 15$ und das andere Mal mit $n = 10$ berechnet, da im letzteren Fall das Trägereigengewicht und infolgedessen auch das Gesamtmoment zunimmt, aus dem Moment der Nutzlast und demjenigen des Eigengewichtes zusammengesetzt. Die Trägerhöhe ist mithin um einen noch weiteren Betrag, als im vorstehenden Abschnitt 4g für unverändertes Moment geschehen ist, zu erhöhen und dies zwar, wie sich nachstehend zeigt, im ganzen um 15,3 %.

An einem Beispiel sei diese Aufgabe, welche eine allgemeine Lösung nicht zuläßt, behandelt.

Gegeben sei ein Träger, berechnet für 500 kg/qm Nutzlast und von 480 kg/qm Eigenlast. Es wächst durch den Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ seine Höhe $(h - a)$ bei zunächst unverändert gedachtem Eigengewicht um 11,4 % (siehe hier Abschnitt 4g) und infolge der Erhöhung des Eigengewichtes noch weiter auf $\sqrt{\frac{1{,}114 \cdot 480 + 500}{480 + 500}} = 1{,}027$, also um $(1{,}027 - 1{,}0) \cdot 100 = 2{,}7$ % und zusammen auf $11{,}4 + 2{,}7 = 14{,}1$ %.

Diese Vermehrung der Trägerhöhe um 2,7 % führt abermals zu einer Steigerung der Eigenlast und so fort, so daß die Gesamtsteigerung, im nachstehend berechneten Beispiel gefunden, 15,1 % beträgt.

Beispiel.

Gegeben eine Platte: $b = 100$ cm; $h = 20$ cm; $a = 2{,}5$ cm; $h - a = 20 - 2{,}5 = 17{,}5$ cm; $\sigma_b = 40$ kg/qcm; $\sigma_e = 1000$ kg/qcm.

a) $n = 15$. Es wird: $h - a = 0{,}390 \sqrt{\frac{M}{b}}$ (siehe Zusammenstellung S. 12 der amtlichen Bestimmungen)

$$M = \frac{(h - a)^2}{0{,}390^2} \cdot b$$

$$M = \frac{17{,}5^2 \cdot 100}{0{,}390^2} = \underline{201\,348 \text{ cmkg}}$$

$x = 0{,}375\,(h - a)$; nach S. 12 d. amtl. Bestimmungen

$$\underline{x} = 0{,}375 \cdot 17{,}5 = \underline{6{,}56 \text{ cm}}$$

$fe = 0{,}00293 \sqrt{M \cdot b}$; nach S. 12 d. amtl. Bestimmungen

$$\underline{fe} = 0{,}00293 \sqrt{20\,134\,800} = \underline{13{,}15 \text{ qcm.}}$$

b) $n = 10$. Das Moment wächst infolge der vermehrten Eigenlast. Die Eigenlast nimmt zu um $\frac{h - a}{h} \cdot 15{,}3\,\% = \frac{17{,}5}{20} \cdot 15{,}3 = 13{,}4$ % auf:

$$480 \cdot 1{,}134 = 544{,}32 \text{ kg/qm.}$$

Die Nutzlast beträgt: $= \underline{500{,}00}$ „

$$1044{,}32 \text{ kg/qm.}$$

Das Moment steigt also von $M = 201\,348$ cmkg (siehe a) auf:

$$\underline{M_1} = 201\,348 \, \frac{1044{,}32}{480 + 500} = \underline{214\,436 \text{ cmkg.}}$$

Für dieses Moment berechnet sich:

$$h - a = 0{,}435 \sqrt{\frac{M}{b}}$$ (siehe hier Abschn. 4g, nach Glchg. 41 d. amtl. Best.)

$$h - a = 0{,}435 \sqrt{\frac{214\,436}{100}}$$

$$\underline{h - a = 20{,}14 \text{ cm}}$$

und $$fe = \frac{M}{\sigma_e \left(h - a - \frac{s\,(h - a)}{3}\right)}$$ (siehe Glchg. 42 d. amtl. Bestimmungen)

$$fe = \frac{214\,436}{1000 \left(20{,}14 - \frac{0{,}286 \cdot 20{,}14}{3}\right)}$$ (über $s = 0{,}286$ s. Abschn. 4g hier)

$$\underline{fe = 11{,}77 \text{ qcm.}}$$

Ergebnis.

Bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$ beträgt:

Die Zunahme der Plattenstärke

$$\underline{\Delta\,(h - a)} = 20{,}14 - 17{,}5 = \underline{2{,}64 \text{ cm}}$$

$$\text{oder} = \frac{2{,}64 \cdot 100}{17{,}5} = \underline{15{,}1\,\% \text{ des Wertes } (h - a).}$$

Die Abnahme des Eisenquerschnittes

$$\underline{\Delta fe} = 13{,}15 - 11{,}77 = \underline{1{,}38 \text{ qcm.}}$$

Einschließlich 8 % Zuschlag für Ausbildung der Haken an den Eisenenden entspricht 1 qcm Eiseneinlage von 1 m Länge einem Gewicht von $0{,}78 \cdot 1{,}09 = 0{,}85$ kg.

Wirtschaftlicher Vergleich für 1 qm Decke.

Die Kosten seien für den Beton mit 20 M./cbm, für das Eisen mit 20 Pf./kg berechnet.

Der Mehrverbrauch an Beton beträgt: $\frac{2{,}64 \cdot 20}{100} = 0{,}528$ M.

Der Minderverbrauch an Eisen beträgt: $1{,}38 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}20 = 0{,}234$ „

Es verbleibt ein Mehrverbrauch von: 0,294 M.

Die mit $n = 10$ berechnete Decke fällt unter Belassung derselben Werte σ_b und σ_e mithin um 0,294 M. kostspieliger aus. In Prozenten der ganzen Kosten an Beton und Eisen ausgedrückt, ergibt das folgenden Wert:

Ursprüngliche Kosten: an Beton: $0{,}20 \cdot 20 = 4{,}0$ M.
an Eisen: $13{,}15 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}2 = 2{,}24$ „

(0,85 mit Zuschlag für Haken gerechnet.) Zusammen: 6,24 M.

also $$\underline{\Delta k} = \frac{0{,}294}{6{,}24} \cdot 100 = \underline{4{,}7\,\%}.$$

Es tritt ferner als Nachteil dieser Ausbildung noch hinzu die Vermehrung der Konstruktionshöhe $(h - a)$ um 15,1 %; im vorliegenden Fall um 2,64 cm, und die Steigerung des Eigengewichtes, wodurch die Unterzüge und Mauern mehr belastet werden, nach dem Verhältnis $\frac{480 \cdot 1{,}134 + 500}{480 + 500} = 1{,}065$, also um 6,5 %.

Diesen Nachteilen steht für gewöhnlich kein Vorteil gegenüber; nur in dem Sonderfall, daß ausnahmsweise schlechter Beton vorliegt, wird sich dieser Träger in bezug auf den Beton als etwas sicherer erweisen, und zwar im Meistbetrage um 13,4 $^0/_0$ sicherer, als ein mit $n = 15$ unter Voraussetzung derselben Materialspannungen berechneter Träger.

6. Lage der Nullinie bei Plattenträgern,

ein Vergleich der Berechnungswerte x für $n = 15$ und für $n = 10$ mit den wahren, durch Versuch und Messung gefundenen Werten x.

Der Umstand, daß bei Plattenträgern die Zugzone des Betons nicht spannungslos ist, während nach den amtlichen Bestimmungen die Berechnungsgrundlagen das voraussetzen, führt zu einer Herabminderung der Eisenspannungen gegenüber den Rechnungswerten und zu einer geringeren Dehnung der Eiseneinlagen innerhalb derjenigen Grenze der Materialbeanspruchungen, welche für den Gebrauchsfall in Frage kommen. Diese Verminderung der Dehnung bedingt in Wirklichkeit eine Herabdrückung der Nullinie unter dasjenige Maß, welches durch Berechnungen, nach den amtlichen Bestimmungen ausgeführt, gefunden wird.

Während die Befürchtung vorliegen könnte, es möchte die Nullinie in Wirklichkeit höher liegen, als den Rechnungswerten unter Zugrundelegung von $n = 15$ entspricht, so daß man daran denken könnte, $n = 10$ in die Formeln einzusetzen, in der Absicht, der Wirklichkeit näher zu kommen, führt die Mitwirkung der Zugbeanspruchungen des Betons dahin, daß die Nullinie nicht höher liegt, als dem Rechnungswert bei $n = 15$ entspricht, sondern tiefer, und daß daher keine Veranlassung besteht, den Wert 15 auf 10 herabzusetzen. Die mit $n = 10$ ermittelten Werte von x weichen, wie nachstehend wiedergegebene Zusammenstellung zeigt, allzu erheblich von den wahren Werten x, wie sie durch Versuche gefunden sind, ab. Die Nullinie verbleibt nicht nur unter der bei $n = 10$ ermittelten, sondern auch noch unter der bei $n = 15$ berechneten Lage.

Die wahren Werte x sind bei den Versuchen durch Messung der Formveränderung des Betons gefunden, durchgeführt mit den S. 5—7 meiner Veröffentlichung über Plattenträger beschriebenen Meßhebeln.

Zusammenstellung berechneter und gemessener Werte x

bei denjenigen Materialspannungen, welche der Berechnung der Plattenträger zugrunde gelegt sind, das ist hier für Eisen $\sigma_e = 1000$ kg/qcm.

Die gemessenen Werte x erwiesen sich für kleinere Eisenbeanspruchungen größer; sie nahmen bei zunehmender Belastung und bei Erreichung des Berechnungswertes an Eisenspannung, etwa $\sigma_e = 1000$ kg/qcm, die auf Seite 11 zusammengestellten Werte an.

Die Werte Δx geben die Abnahme von x, berechnet bei $n = 10$, gegenüber $n = 15$ an; ihr Mittelwert ist $\frac{8,43}{8} = 1,05$ und $\Delta x/3 = \frac{1,05}{3} = 0,35$ cm.

Bei dem Uebergang von $n = 15$ auf $n = 10$, gleiche Werte σ_b und σ_e vorausgesetzt, nimmt also der Hebelarm der inneren Kräfte hier zu um $\Delta x/3 = 0,35$, von 17,5 auf $17,5 + 0,35 = 17,85$ cm oder um $\frac{0,35}{17,5} \cdot 100 = \underline{2\ ^0/_0}$.

Die Werte der letzten Spalte, welche die durch Messung gefundenen Werte x darstellen, sind immer bedeutend größer ausgefallen als die mit $n = 10$ ermittelten Beträge, fast überall auch erheblich größer als die mit $n = 15$ berechneten Werte, so daß letztere den Verhältnissen der Wirklichkeit besser entsprechen als die mit $n = 10$ gefundenen Zahlen.

Nr.	Bezeichnung der Versuchsplatte und Hinweis auf die Seitenzahl der Veröffentlichung: Untersuchungen an Plattenträgern	σ_b kg/qcm	σ_e Eiseneinlage kg/qcm	Werte x der Lage der Nullinie unter Oberkante Platte — Werte der Rechnung bei $n = 15$ cm	$n = 10$ cm	Δx cm	Versuchsergebnis. Gemessene Werte cm
1	Platte II/1 S. 76 d. Veröffentl.	49,6	987	7,18	6,18	1,00	10,31
2	„ II/2 „ 78 „ „	40,4	849	7,15	6,13	1,02	9,66
3	„ II/2 „ 78 „ „	59,9	1247	7,15	6,13	1,02	7,68
4	„ II/3 „ 80 „ „	63,0	1027	8,31	7,20	1,11	8,18
5	„ II/4 „ 84 „ „	49,8	1255	6,47	5,49	0,98	10,13
6	„ II/5 „ 86 „ „	52,0	1100	7,11	6,09	1,02	9,36
7	„ II/6 „ 88 „ „	62,8	1030	8,34	7,21	1,13	9,94
8	„ III/2 „ 92 „ „	127,6	1053	11,31	10,14	1,17	12,59
9	„ III/2 „ 94 „ „	135,4	1117	11,31	10,14	1,17	13,20
10	„ III/3 „ 96 „ „	38,9	974	6,61	5,61	1,00	10,70
						$\Sigma \Delta x = 8,43$	
			Stahleinlage				
11	„ III/5 „ 100 „ „	32,1	1063	5,45	4,62		9,65
12	„ III/6 „ 102 „ „	32,1	1162	5,01	4,22		9,90

7. Schlußbetrachtungen und Uebersicht über die gewonnenen Ergebnisse.

Vorstehende Untersuchungen zeigen, daß Eisenbetonträger, nach den amtlichen Bestimmungen unter Zugrundelegung des Größenwertes $n = 15$ berechnet und ausgeführt, den an sie gestellten Anforderungen entsprechen; ihre Sicherheit gegen Bruch ist etwa eine 3,5fache, wenn als zulässige Eisenspannung $\sigma_e = 1000$ kg/qcm für die Berechnung angenommen ist, da bei der Eisenspannung auf das 3,5fache, oder etwas früher schon, bei etwa 3300 kg/qcm Beanspruchung, die Fließgrenze des Eisens erreicht wird; siehe S. 104 der Veröffentlichung „Untersuchung an Plattenträgern“. Mit Ueberschreitung dieser Grenze beginnt das Eisen sich so stark zu dehnen, daß eine völlige Verbiegung des Trägers und dessen Zusammenbruch alsbald auch dann eintreten muß, wenn der Betondruckgurt ursprünglich eine weit höhere Sicherheit als 3,5, z. B. 6- oder 8fache Sicherheit aufgewiesen hat. Eine Steigerung der Sicherheit des Betondruckgurtes über das bei Beachtung der bestehenden amtlichen Bestimmungen erreichte Maß, welches im Beton für den Zustand des Gebrauchsfalles jetzt eine 6fache oder noch größere Sicherheit darbietet, hinausgehend, ist nicht erforderlich und nicht von Nutzen, da die Ursache eines Trägerbruches unter den bestehenden Berechnungsgrundlagen nicht in dem Bruch des Betons, sondern in dem Nachgeben des Eisens liegt. Es hat daher keinen Wert, den Betondruckgurt, über das praktisch benötigte Maß gesteigert, noch weiter zu verstärken. Ein Ersatz des Größenwertes $n = 15$ durch $n = 10$ würde aber dahin wirken, die wirklich im Beton sich einstellenden Beanspruchungen herabzusetzen, also die Sicherheit im Beton, über jenes bisher als ausreichend erkannte Sicherheitsmaß hinausgehend, zu erhöhen, hingegen den schwächeren Teil der Konstruktion, „das Eisen“, um etwa 2 % in seiner Sicherheit zu vermindern. Es liegt kein praktischer Grund vor, das auszuführen; siehe hier Abschnitt 4, c und d.

Der theoretische Grund, welcher eine Anregung zu jener Erwägung „eines Ersatzes des Zahlenwertes $n = 15$ durch $n = 10$“ gegeben hat, und welcher darin liegt, daß die Elastizitätszahl des Eisens bisweilen nur 10fach und nicht 15fach größer ist als diejenige des Betons, wird durch andere günstig wirkende Umstände ausgeglichen, die in der Berechnung nicht Berücksichtigung finden. Diese bestehen darin, daß einmal die Sicherheit des Betons der Druckplatte an sich schon größer ist, als die Würfelprobe vermuten läßt, d. h. also als die Berechnung ergibt, und dies zwar nach meinen Ermittelungen (S. 42 meiner Veröffentlichung über Plattenträger) um $\frac{245 - 170}{170} = 44\,\%$, weiter wirkt aber die Zugfestigkeit des Betons, welche in der Berechnung der Eisenbetonträger vernachlässigt wird, dahin, die Lage der Nullinie nach abwärts zu verschieben, so daß sie bei Plattenbalken im Gebrauchsfall in Wirklichkeit etwa dort liegt, wo sie unter Zugrundelegung des Wertes $n = 15$ rechnerisch gefunden wird, bei einfachen Balken und Plattenträgern aber noch tiefer. Die Befürchtung, sie könne bei Annahme $n = 15$ in zu tiefer Lage ermittelt werden, und man müsse daher mit $n = 10$ rechnen, um die Einführung einer höheren Lage der Nullinie in die Rechnung zu erreichen, wird also durch diese günstigen Nebenumstände aufgehoben. Die Untersuchungen an Plattenträgern zeigten für die Verhältnisse des Gebrauchsfalles eine noch tiefere Lage der Nullinie, d. h. noch größere Werte x, als die Rechnung für $n = 15$ ergab; siehe hier die Zusammenstellung Abschnitt 6.

Uebersicht über die gewonnenen Ergebnisse.

a) Siehe hier Abschnitt 4, b und c.

Von einem vorliegenden Eisenbetonträger sind gegeben das Angriffsmoment, die Trägerhöhe $(h - a)$ und der Querschnitt der Eiseneinlage fe.

Dieser Träger, mit $n = 15$ untersucht, liefere als rechnerische Werte der Materialspannungen σ_b und σ_e.

Derselbe Träger, mit $n = 10$ untersucht, zeigt alsdann als rechnerische Werte jener Spannungen für σ_b das 1,134fache und für σ_e das 0,98fache.

Ergab sich für $n = 15$ $\sigma_b = 40$ und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm,
dann findet man für $n = 10$ $\sigma_b = 1{,}134 \cdot 40$ „ $\sigma_e = 0{,}98 \cdot 1000$
$\sigma_b = 45{,}4$ kg/qcm „ $\sigma_e = 980$ kg/qcm.

b) Siehe hier Abschnitt 4f.

Man gelangt zu gleichen Abmessungen $(h - a)$ und fe bei gegebenem Moment, wenn man den Eisenbetonträger berechnet

einmal mit $n = 15$, σ_b und σ_e
und ein andermal mit $n = 10$, $\sigma_b = 1{,}134$ mal und σ_e 0,98 mal so groß.
z. B. bei $n = 15$ mit $\sigma_b = 40$ und $\sigma_e = 1000$
und „ $n = 10$ „ $\sigma_b = 40 \cdot 1{,}134$ „ $\sigma_e = 0{,}98 \cdot 1000$
$\sigma_b = 45{,}4$ kg/qcm „ $\sigma_e = 980$ kg/qcm.

c) Siehe hier Abschnitt 4g.

Unter Benutzung gleicher Werte σ_b und σ_e findet man für $n = 10$ etwa eine um 11,4 % größere Trägerhöhe $(h - a)$ und einen etwa um 13,3 % kleineren Eisenquerschnitt fe, als für $n = 15$.

Hat man z. B. bei $\sigma_b = 40$ und $\sigma_e = 1000$ kg/qcm,
für $n = 15$ die Werte $(h - a) = 17{,}5$ cm „ $fe = 13{,}15$ qcm
gefunden, alsdann folgen bei

$n = 10$ für $(h - a) = 17{,}5 \cdot 1{,}114$ und $fe = 13{,}15\,(1 - 0{,}133)$,
$(h - a) = 19{,}5$ cm „ $fe = 11{,}40$ qcm.

d) Siehe hier Abschnitt 4e.

Die Sicherheit des vorstehend mit σ_b, σ_e und $n = 10$ berechneten Trägers ist für den Betondruckgurt um 13,4 % größer, für die Eiseneinlage hingegen um 2 % kleiner und im ganzen kaum verändert, gegenüber einem unter Zugrundelegung derselben Werte σ_b und σ_e aber mit $n = 15$ berechneten Träger.

e) Siehe hier Abschnitt 5.

Der mit gegebenen Werten σ_b und σ_e, aber mit $n = 10$ berechnete Eisenbetonträger ist weniger wirtschaftlich; er ist erstens in bezug auf Mehrverbrauch an Beton und Minderaufwand an Eisen zusammengefaßt, etwa um 4,7 % kostspieliger, als der mit denselben Werten σ_b und σ_e, aber mit $n = 15$ berechnete Träger.

Ferner ist die Konstruktionshöhe des mit $n = 10$ berechneten Trägers (auf h bezogen) um $\frac{2{,}64}{20} \cdot 100 = 13{,}2$ % größer, was auch als ein wirtschaftlicher Nachteil zu bezeichnen ist. Auch vermehrt sich sein Eigengewicht; z. B. in dem berechneten Sonderfall von 480 auf 544,3 kg/qcm um 13,2 %.

f) Schließlich sei noch erwähnt, daß ein Ersatz des Zahlenwertes $n = 15$ durch $n = 10$ eine große Störung insofern bedingen würde, als unsere gesamte Literatur den Wert $n = 15$ bisher benutzt hat. Alle Tabellen müßten umgerechnet werden, und bei Vergleichen der alsdann mit $n = 10$ berechneten neuen Werte mit älteren Werten würden manche Unbequemlichkeiten, Irrungen und Unklarheiten entstehen.

g) Es empfiehlt sich also entschieden, bei Verwendung des Größenwertes $n = 15$ für Eisenbetonträger zu bleiben. Sollte in einem Sonderfall Beton mit einer ausnahmsweise hohen Elastizitätszahl Eb vorliegen, dann wird für ihn sich voraussichtlich auch eine große Festigkeit ergeben. Man erreicht für diesen Beton dann dasselbe, wie durch eine Herabsetzung der Zahl $n = 15$ auf $n = 10$, wenn man für ihn die erlaubte Betonbeanspruchung nicht allzuhoch steigert, sondern dieselbe z. B.

$$\sigma_b = \frac{1}{6} \cdot \frac{180\,000}{Eb} k \text{ wählt.}$$

Hierin bedeutet k die Würfelfestigkeit und Eb diejenige Elastizitätszahl des Betons, die sich bei einer Betonbeanspruchung auf Druck gleich derjenigen des Gebrauchsfalles σ_b ergibt. Hierin ist absichtlich im Zähler vorstehenden Bruches nicht die Zahl 140 000 eingesetzt, da der bisher verwendete Beton bei dieser Beanspruchung auf Druck im Mittel eine größere Elastizitätszahl als 140 000 aufweist und diese bei Verwendung von $n = 15$, wie nachgewiesen ist, zu keinen Bedenken führt.

h) Da meine Versuche sich nicht auf Stützen erstrecken, haben diese Ausführungen nur auf Eisenbetonträger eine Anwendungsberechtigung, dies aber insbesondere auf Plattenträger und einfache Balken.