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

Band: 2 (1936)

Artikel: Risserscheinungen im Eisenbeton

Autor: Thomas, F.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2684

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

IIb 4

Rißerscheinungen im Eisenbeton.

Fissurations dans le béton armé.

Cracking in Reinforced Concrete.

F. G. Thomas,
B. Sc., Assoc. M. Inst. C. E., Garston.

Die Verwendung von Stahl mit hochliegender Streckgrenze unter erhöhten Gebrauchsspannungen muß im Eisenbeton fast unvermeidlich zu einer Zunahme der Rißbildungen führen. Früher beeinflußten die normalerweise auftretenden Risse augenscheinlich die Festigkeit der Bauten nicht ernstlich und reichten gewöhnlich nicht aus, um die Bewehrung zerstörenden Angriffen auszusetzen. Im Zusammenhang mit höheren Stahlspannungen wird die Rißbildung jedoch verhältnismäßig größer als nach der Spannungszunahme zu erwarten wäre; es ist daher möglich, daß mit höheren Spannungen, wie man sie im Hinblick auf die Streckgrenze hochwertiger Stähle zulassen könnte, die Rißbildung größere Bedeutung erlangt.

Die schnellere Erhärtung neuzeitlicher Zemente ist ein anderer Umstand, der die Rißbildung ernstlich fördern kann. Bei der Building Research Station (Forschungsamt für Bauwesen) liefen jüngst viele Klagen über Schwindrisse ein, wo früher vor 10—15 Jahren mit den damals langsamer erhärtenden Zementen keine Schwierigkeiten aufgetreten waren.

Im Forschungsamt wurden deshalb unter *Dr. Glanville* in Verbindung mit der Reinforced Concrete Association (Verein für Eisenbeton) Versuche durchgeführt, um die Umstände zu ermitteln, die die Rißbildung in Eisenbetonkörpern bestimmen. Diese Abhandlung behandelt kurz einige Ergebnisse.

Dehnungsfähigkeit des Betons.

Man hat lange angenommen, daß als Maßstab für die Rißgefahr die Bruchdehnung des Betons bei Zugbeanspruchung zu gelten habe. Die Dehnbarkeit des Betons, d. h. die Dehnung, die möglich ist, ohne daß Risse entstehen, ist von vielen Forschern jedoch mit sehr verschiedenen Ergebnissen ermittelt worden. Der Mangel an Übereinstimmung hat wahrscheinlich vor allem folgende zwei Gründe:

1. Verschiedene Größe der vor der Prüfung vorhandenen Anfangsspannungen in den Prüfkörpern.
2. Verschiedene Genauigkeit bei der Beobachtung der Risse.

Es scheint, daß die Bewehrung im allgemeinen die Dehnbarkeit des Betons nur um einen kleinen Betrag erhöht. Werden bewehrte Betonkörper an der Luft

aufbewahrt, so entstehen infolge des Schwindens Zugspannungen, wodurch die Dehnbarkeit des Betons, wenn der Körper später belastet wird, kleiner ausfällt. Andrerseits kann durch die Bewehrung die wirkliche Dehnbarkeit beträchtlich erhöht werden, wenn der Körper feucht gelagert wird.

Vermutlich war die von einigen Forschern beobachtete offensichtliche Zunahme der Dehnungsfähigkeit infolge der Bewehrung teilweise auf ungenügende Sorgfalt beim Beobachten des Auftretens des ersten Risses zurückzuführen. Im Forschungsamt vermochte man auf einer weißen geglätteten Oberfläche Risse von 0,0025 mm Breite mit dem Auge zu erkennen, obwohl normalerweise die Risse etwas breiter sind, wenn sie zuerst sichtbar werden. Die Rißbreiten werden bei allen Versuchen mit Eisenbeton mit beweglichen Mikroskopen mittels Okularskala gemessen.

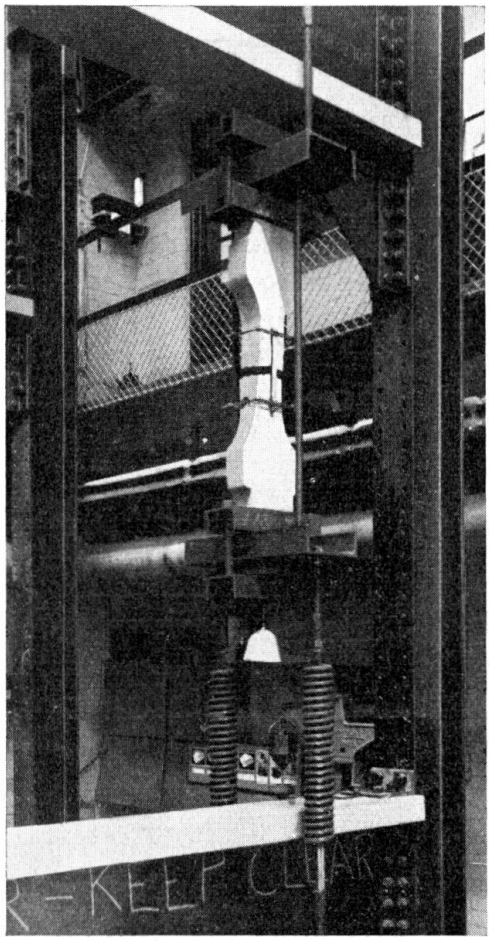

Fig. 1.
Messung von Schwindspannungen an eingespannten Beton-Prüfstücken.

Schwindrisse.

Das Schwinden des Betons ist wohl die häufigste Ursache der Rißbildung und auch am schwierigsten zu beheben oder zu vermeiden. In frei beweglich gelagerten Eisenbetonkörpern verursacht das Schwinden im Beton Zugspannungen, so daß besonders bei großem Bewehrungsverhältnis Risse sogar dann entstehen können, wenn keine äußere Belastung vorhanden ist. In der Praxis liegt jedoch fast immer eine gewisse Einschränkung der Freibeweglichkeit vor, besonders in monolithischen Tragwerken. Das Kriechen des Betons verringert diese Span-

nungen im Beton, so daß es in dieser Hinsicht mithilft, die Rißgefahr zu vermindern. Der Widerstand eines Betons gegen Rißbildung kann für bestimmte Auflagerbedingungen roh ermittelt werden, wenn man Schwinden, Kriechen, Elastizität und Festigkeitseigenschaften dieses Betons verfolgt und danach deren Gesamtwirkung rechnerisch abschätzt. Obwohl dieses Verfahren einen guten Vergleichswert für die Rißsicherheit ergibt, bestehen doch manchmal Zweifel über die genauen Kriecheigenschaften des Betons bei Spannungen in der Nähe der Zugfestigkeit. Deshalb ist eine unmittelbarere Versuchsmethode entwickelt worden.

Es wurde ein besonderer Apparat entworfen, in dem Betonproben, an denen im mittleren Teile Dehnungsmesser angebracht waren, durch Federn unter Zugbelastung gehalten wurden. Diese Belastung wurde periodisch so geregelt, daß die Schwindbewegungen ganz durch die elastischen Bewegungen und das Kriechen

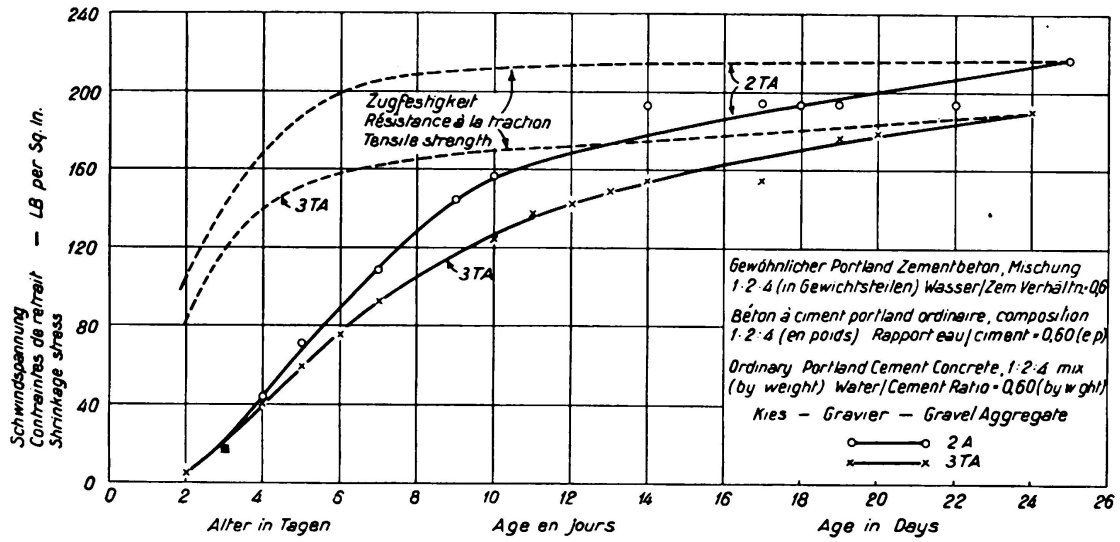

Fig. 2.

Widerstand gegen Schwindrisse bei vollständig eingespannten Beton-Prüfstücken aus gewöhnlichem Portland-Zement-Beton.

infolge der Belastung aufgehoben wurden. Hierdurch konnten die wirklichen Schwindspannungen gemessen werden, die in einem Körper auftreten, dessen Freibeweglichkeit vollkommen aufgehoben ist. Fig. 1 zeigt den Apparat nach dem Bruch einer Probe.

Die Ergebnisse von Doppelversuchen an Beton mit gewöhnlichem Portlandzement, hochwertigem (schnell erhärtendem) Portlandzement und Tonerdezement zeigen die Fig. 2 bis 4. In allen Fällen wurde eine Mischung 1 + 2 + 4 (nach Gewicht) mit einem Wasser-Zement-Verhältnis von 0,60 verwandt. Aus den Figuren geht hervor, daß die Schwindspannungen bei den Versuchen mit Portlandzementbeton (Fig. 2 und 3) zunächst nur wenig verschieden sind; daß jedoch mit Annäherung an den Bruch mit gewöhnlichem Portlandzement der Spannungszuwachs in der Zeiteinheit infolge starker Kriechbewegungen erheblich kleiner wird. Diese Erscheinung ist mit hochwertigem Portlandzement nicht so ausgeprägt; die Spannungen wachsen vielmehr stetig, bis die Zugfestigkeit erreicht wird und Risse entstehen. Beim Beton mit Tonerdezement wächst die Spannung

so rasch, daß schon kurz nach Versuchsbeginn von Rißsicherheit keine Rede mehr sein kann.

Andere Versuche zeigten, daß höherer Wassergehalt nicht notwendig größere Rißneigung zur Folge hat, und daß die Rißsicherheit deutlich durch die Art des Zuschlages beeinflußt wird. Man muß sich allerdings darüber klar sein, daß in der Praxis gewöhnlich keine völlige Einspannung vorhanden ist und daß die verhältnismäßige Rißsicherheit verschiedener Betonarten je nach dem Grad der Einspannung etwas verschieden sein wird. Deshalb werden weitere Versuche durchgeführt, bei denen die Enden der Probekörper nicht völlig in ihrer Ursprungslage festgehalten werden.

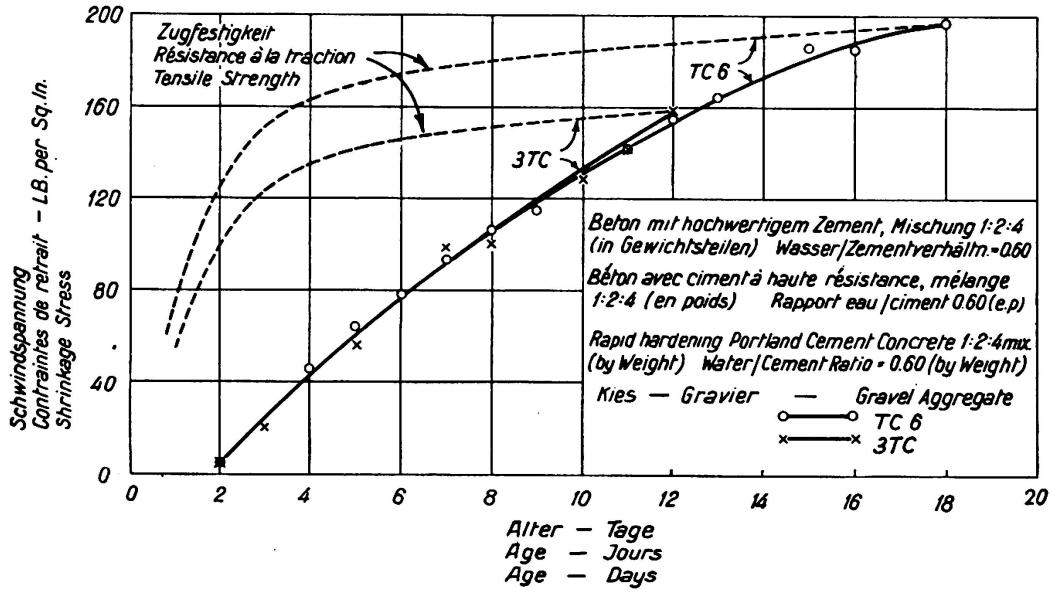

Fig. 3.

Widerstand gegen Schwindrisse bei vollständig eingespannten Prüfstücken aus Beton mit hochwertigem Zement.

Dehnungsrisse.

In diesem Abschnitt werden nur die Fälle berücksichtigt, in denen die Zugkräfte, die Risse hervorrufen, unmittelbar von einer Belastung herrühren, wie bei Biege- und Zugversuchen. Bei allen Prüfungen an Eisenbeton, die jetzt im Forschungsamt durchgeführt werden, wird die Breite der Risse gemessen; man hofft, daß später eine vollständige Auswertung dieser Messungen weitgehende Klarheit über das Entstehen von Dehnungsrissen bringen wird. Einige allgemeine Ergebnisse sind schon verfügbar und einige Versuche, bei denen Rißmessungen vorgenommen wurden, werden nachstehend beschrieben. Bei einem Versuch hatte der Probekörper rechteckigen Querschnitt von 101,6 mm Breite und 209,5 mm Höhe und war 2,44 m lang. Die Zugbewehrung bestand aus zwei Stäben Durchmesser 9,52 mm aus gewöhnlichem Eisen (mild steel). Die Nutzhöhe betrug 178 mm. Zur Schubsicherung waren Bügel angeordnet. Der Körper wurde in den Drittelpunkten bei einer Stützweite von 1,829 m belastet. Entstehen und Fortschreiten der Risse an den Seiten des Probekörpers wurden genau beobachtet und die Breiten eines jeden Risses nahe der Unterseite des Balkens und in Höhe der Eisen für jede Belastungsstufe gemessen.

Die Belastung wurde zuerst stetig bis zur errechneten zulässigen Last gesteigert und diese Last für 21 Stunden gehalten. Danach wurde die Last nach und nach verringert. Die Ergebnisse der Rißmessungen zeigt Fig. 5: Die gesamte Rißbreite, d. h. die Summe der Breite aller Risse, hat unter der längere Zeit ruhenden Last etwas zugenommen, ging aber nach deren Beseitigung teilweise zurück. Bemerkenswert ist, daß bei den ersten Stufen der Entlastung unterhalb der Gebrauchslast die Gesamtbreite der Risse etwas zunahm und ein oder zwei Risse etwas länger wurden.

Das Maß des Zurückgehens der Rißbreiten beim Entlasten wurde von *Probst* die „federnde Breite" der Risse genannt. Bei unserem Versuch betrug die federnde Breite durchschnittlich ein wenig mehr als die Hälfte der Breite vor dem Entlasten. Der Ausdruck „federnd" muß jedoch mit Vorsicht angewandt werden, denn Fig. 5 zeigt, daß sich die Risse nicht gleichförmig mit der Last-

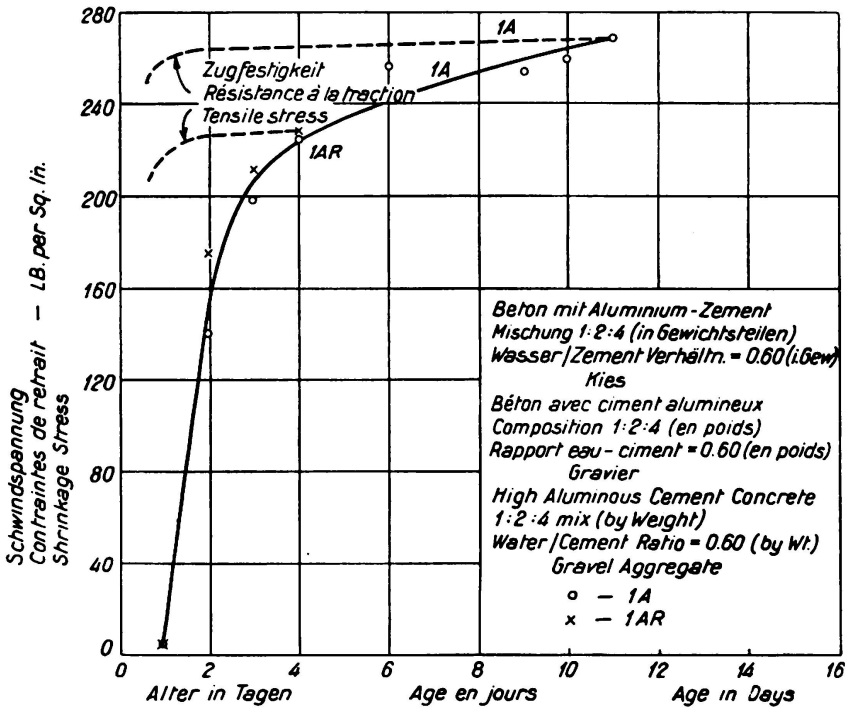

Fig. 4.

Widerstand gegen Schwindrisse bei vollständig eingespannten Prüfstücken mit hochwertigem Aluminium-Zement.

abnahme schließen, sondern daß die Rißbreite während der ersten Entlastungsstufen praktisch konstant bleibt. Es ist klar, daß, bevor eine Erholung eintreten kann, die Vorgänge an der Berührungsfläche zwischen Beton und Eisen (Haftung, Gleiten) umgekehrt verlaufen müssen, und daß dazu eine beträchtliche Änderung der Last erforderlich ist.

Der Körper wurde nur so lange unbelastet gelassen, bis die Rißbreiten gemessen waren, und wurde dann wieder stetig bis zum Anderthalbfachen der Gebrauchslast belastet. Diese Last wirkte 44 Stunden, während welcher Zeit die Rißbildung nur sehr wenig zunahm. Sodann wurde die Last erhöht, bis der Bruch infolge Überschreitens der Streckgrenze der Eisen eintrat.

An Fig. 6 wurde die größte Rißbreite in der Höhe der Eiseneinlagen verglichen mit der Zugspannung am Eisen, die sich rechnerisch nach der üblichen Theorie gradliniger Spannungsverteilung und gerissener Zugzone ergibt. In der Figur wurden die Wirkungen der Entlastung nicht berücksichtigt. Man erkennt eine rohe lineare Beziehung zwischen Rißbreite und Zugspannung im Eisen; die Rißbreite ist bei der ersten Belastung bis zu einer Spannung von 840 kg/cm² unbedeutend. Die gefundene Beziehung entspricht dem, was nach einer einfachen Betrachtung der Vorgänge, die zur Öffnung der Risse führen, erwartet werden kann (1).[1]

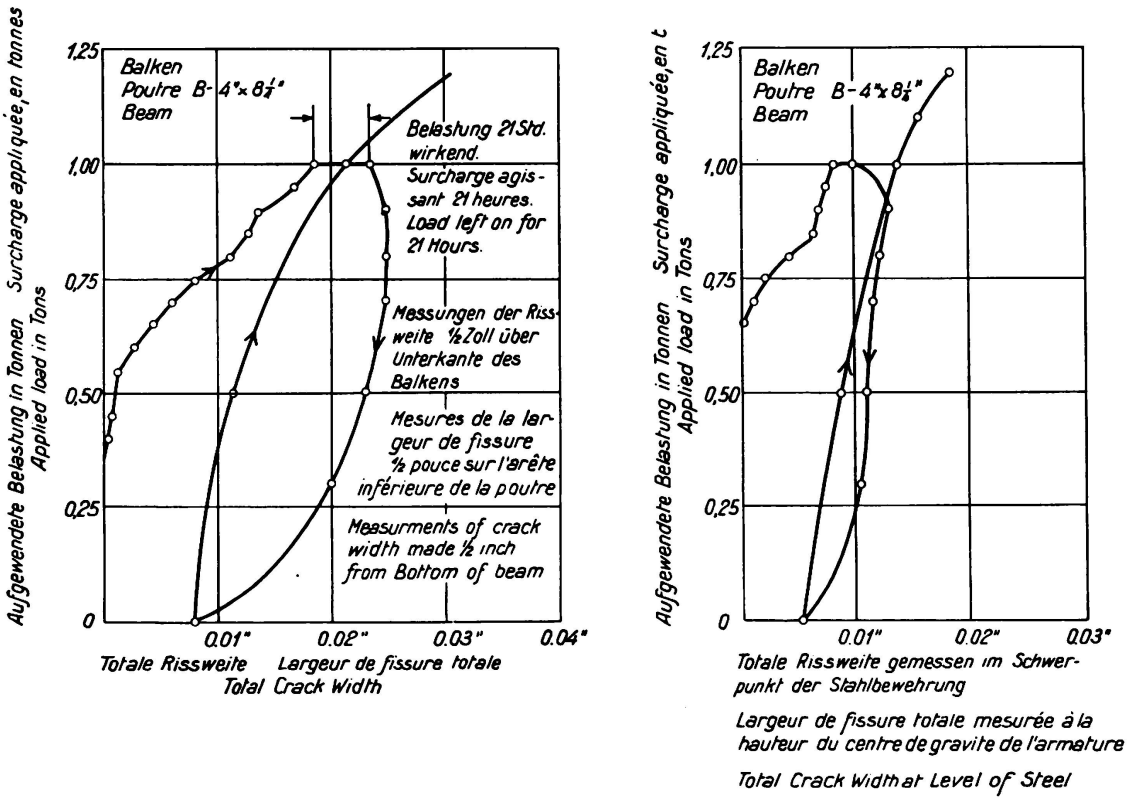

Fig. 5.
Rückgang der Risse.

Daß die Streckgrenze des Eisens erreicht war, geht in Fig. 6 aus dem ziemlich scharfen Knick der Kurve bei 3300 kg/cm² hervor. Bei dieser Last wächst auch die Formänderung des Balkens schnell; falls jedoch mehr als eine Lage Bewehrung vorhanden war, ergab sich, daß das Erreichen der Streckgrenze viel besser durch die Zunahme der Rißbreiten als durch das Anwachsen der Formänderung erkannt werden konnte. Dies zeigte sich deutlich bei neueren Prüfungen des Forschungsamtes an durchlaufenden Trägern über zwei Öffnungen. Die Ergebnisse einer solchen Prüfung zeigt Fig. 7. Aus dem Schaubild der Rißbreiten ersieht man, daß die Lasten, bei denen die Spannung im Eisen die Streckgrenze erreicht, sowohl über dem mittleren Auflager wie auch im Felde klar erkennbar sind, daß dagegen die Werte dieser Lasten aus der Formänderungskurve nicht

[1] Siehe Schrifttum am Ende.

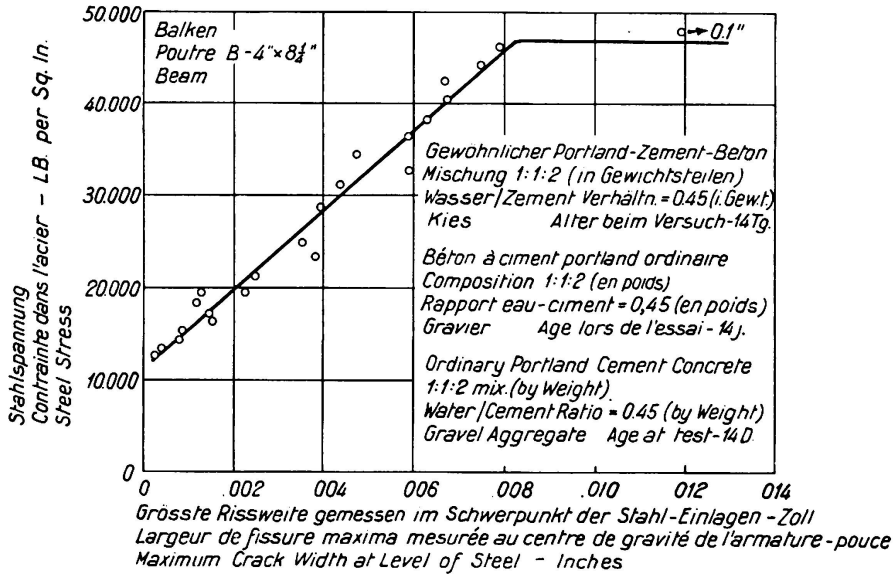

Fig. 6.

Abhängigkeit größter Rißweite von der Stahlspannung.

genau hervorgehen. Man ersieht daraus, daß die Messung der Rißbreiten bei solchen Versuchen die Auswertung wesentlich erleichtert.

Die Wirkung des Bewehrungsverhältnisses auf die Rißbreite bei gleichbleibendem Bewehrungsquerschnitt wurde bei einigen Versuchen mit Stahl mit hochliegender Streckgrenze erforscht. Es wurden 10 Balken von je 2,896 m Länge und 270 mm Höhe, jedoch mit fünf verschiedenen Breiten von 158,8 bis 368,3 mm geprüft, also von jeder Breite zwei Körper. Die Zugbewehrung bestand in allen Fällen aus zwei Isteg-Stäben und zwar jeder Stab aus zwei ∅ 12,7 mm, die spiralförmig umeinandergedreht waren. Das Bewehrungsverhältnis war dadurch von 0,6 bis 1,4 % abgestuft.

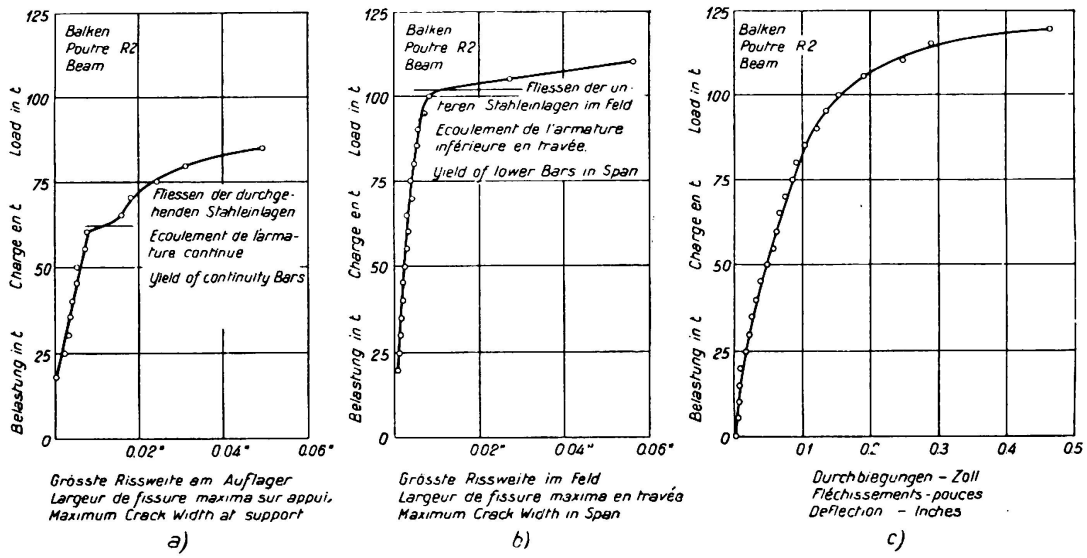

Fig. 7.

Größte Rißweite im Feld.

Die Balken wurden bei einer Stützweite von 2,743 m symmetrisch durch zwei Lasten im Abstand von 762 mm belastet. Die Ergebnisse der Messung der Rißbreiten im mittleren Bereich mit gleichbleibendem Biegemoment ohne Querkraft waren folgende:

1. Die Beziehung zwischen Eisenspannung und Rißbreite ist nicht ganz linear. Wahrscheinlich ist bei dem für die Versuche verwendeten Stahl die Neigung der Spannungs-Dehnungs-Kurve nicht konstant, sondern nimmt unter hohen Beanspruchungen ab.
2. Wenn man die Kurve „Rißbreite-Eisenspannung" bis zum Schnitt mit der Eisenspannungsachse verlängert, so nimmt im allgemeinen der der Rißbreite Null zugeordnete extrapolierte Wert der Eisenspannung zu, wenn das Bewehrungsverhältnis abnimmt. Die gefundenen Werte waren:

Bewehrungsverhältnis (%)	1,38	1,19	0,98	0,78	0,59
Eisenspannung (kg/cm²) für Rißbreite Null	415	324	626	704	950

   Dieser Umstand bewirkt, daß die Risse unter den Gebrauchslasten fein bleiben, falls das Bewehrungsverhältnis klein ist.
3. Die Rißbreite nimmt mit wachsender Eisenspannung umsomehr zu, je kleiner das Bewehrungsverhältnis ist. Die Zunahme der Rißbreite betrug zwischen $\sigma_e = 1265$ und 2800 kg/cm²:

Bewehrungsverhältnis (%)	1,38	1,19	0,98	0,78	0,59
Zunahme der Rißbreite (mm)	0,098	0,13	0,16	0,183	0,21

Hiernach werden die Risse bei niedrigem Bewehrungsverhältnis breiter, besonders wenn die Spannung über die zur Zeit zulässigen Werte gesteigert wird. Wenn daher für Stähle mit hochliegender Streckgrenze höhere Spannungen zugelassen werden, die zu einer Herabsetzung des Bewehrungsverhältnisses führen, so kann die Rißbildung zunehmen als Auswirkung erstens der erhöhten Spannung und zweitens des herabgesetzten Bewehrungsverhältnisses, wenn der Bewehrungsquerschnitt unverändert bleibt. Man sollte gleichzeitig beachten, daß die Zunahme der Rißbildung im Verhältnis entschieden größer ausfällt als die Steigerung der zulässigen Spannungen im Eisen.

Die Wirkung langdauernder Belastung auf die Rißbildung.

Eine Zunahme der Rißbreite mit der Zeit kann zwei Ursachen haben:

1. Zunahme der Eisenspannung infolge ständig fortschreitender Lockerung des inneren Zusammenhalts des unter Zug stehenden Betons, und gleichzeitigen Kriechens des Betons in der Druckzone.
2. Kriecherscheinungen in der Berührungsschicht zwischen Beton und Eisen, so daß der Beton am Eisen entlang vom Riß weggleitet.

Im Forschungsamt wurden Messungen des Fortschreitens der Rißbildung an Eisenbetonbalken durchgeführt. In einer Prüfungsreihe wurden vier Körper während längerer Zeit unter Last gehalten. Für zwei Balken wurde Stahl mit hochliegender Streckgrenze, für die anderen gewöhnliches Eisen verwandt. Im Alter von 12—13 Tagen wurden die Körper so belastet, daß der rechnungsmäßige Höchstwert für die Zugspannung im Eisen 1400 kg/cm² beim gewöhnlichen Rundeisen und 1900 kg/cm² beim hochwertigen Stahl betrug. Diese Be-

lastung blieb sechs Wochen und wurde dann so erhöht, daß die rechnungsmäßige Eisenspannung um 50 % gesteigert wurde. Diese höhere Last wurde dann weitere sechs Wochen belassen, bevor die Balken bis zum Bruch geprüft wurden. Die Rißbreiten wuchsen während des ersten Prüfabschnitts um etwa 50 %. In dieser Zeit dehnten sich die Risse über die Seiten der Körper aus, und das Kriechen des Betons war verhältnismäßig groß. Im späteren Prüfabschnitt blieb trotz der höheren Eisenspannungen die Änderung der Rißbreite mit der Zeit klein.

Vorspannung der Bewehrung als Vorbeugungsmaßnahme gegen Risse.

Auf die Möglichkeit, die Rißbildung unter den Gebrauchslasten durch Erzeugung einer Anfangsdruckspannung im Beton zu verhindern, wurde oft hingewiesen, besonders von *Freyssinet*. Dieses Verfahren wurde manchmal bei fabrikmäßig hergestellten Deckenplatten aus Beton angewandt. Die Zugbewehrung wurde vor dem Betonieren durch Federn und Hebel bis zu einem hohen Teilbetrag der Spannung an der Streckgrenze gespannt. Das Vorspanngerät blieb in Tätigkeit, bis der Beton hart genug war, um die Spannungen aufnehmen zu können, die in ihn hineingetragen wurden, sobald die Kräfte in den Rundeisen freigegeben und durch die Haftung zwischen Eisen und Beton auf diesen übertragen wurden.

Es bestehen jedoch einige Schwierigkeiten. In dem Augenblick, wo die auf das Eisen ausgeübte Kraft von der Vorspannmaschine auf den Beton übergeleitet wird, entsteht im Beton eine Stauchung, wodurch die Zugkraft im Eisen vermindert wird. Gleichzeitig gleiten die Eisen an den Enden auf der Strecke, die erforderlich ist, um die Höchstspannung im Stahl zu entwickeln; es wäre daher klug, den Vorspanner erst dann außer Betrieb zu setzen, wenn die Haftfestigkeit genügend groß geworden ist, um diese Gleitstrecke auf einen Bruchteil der ganzen Länge der Platte zu beschränken.

Außerdem verformt sich der Beton während der Zeit nach dem Entfernen des Vorspanners bis zum Aufbringen der Gebrauchslast dauernd weiter und zwar infolge des Kriechens des Betons unter dem Einfluß der inneren Belastung und auch infolge des gewöhnlichen Schwindens. Da das Schwinden die Dehnungsfähigkeit allen an der Luft erhärtenden Betons herabsetzt, ist dieser Umstand für den Vergleich zwischen Körpern mit und ohne Vorspannung belanglos. Dagegen muß bei der Berechnung der Vorspannung, die notwendig ist, um das Entstehen von Rissen unter einem gegebenen Biegemoment zu verhüten, die Schwindwirkung auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Nachstehend werden Ergebnisse von Versuchen im Forschungsamt wiedergegeben, bei denen die Wirkung einer Vorspannung der Zugbewehrung auf Balken aus Schaumschlackenbeton verfolgt wurde. Die Balken waren 1,829 m lang und hatten rechteckigen Querschnitt; ihre Breite betrug 107,9 mm, ihre Höhe 165 mm; sie enthielten 2 ∅ 6,35 mm aus Stahl mit hochliegender Streckgrenze als Zugbewehrung und denselben Querschnitt aus gewöhnlichem Eisen als Druckbewehrung. Folgende Betonzusammensetzung wurde verwendet: Balken PT 1 und PT 2: Hochwertiger Portlandzement, Mischung 1 + 1,25 + 1,75 nach Raumteilen bzw. 1 + 0,55 + 0,54 nach Gewicht; Wasser + Zement-Verhältnis 0,53

nach Gewicht, Schaumschlacke bis zu 4,76 mm Korngröße als Zuschlag-Balken PT 3 und PT 4: wie vor, jedoch Mischung 1 + 2,5 + 3,5 nach Raummaß bzw. 1 + 1,10 + 1,09 nach Gewicht, Wasser + Zement-Verhältnis 0,80.

Nur die Zugeisen der Balken PT 1 und PT 4 erhielten eine Vorspannung von 2800 kg/cm²; der Vorspanner blieb bis zum Alter von 14 Tagen in Tätigkeit. Alle Proben wurden 4 Tage lang mit feuchten Säcken bedeckt und dann in Luft von 18° C und 64 % rel. Feuchtigkeit gelagert. Nach 14 Tagen wurde der Vorspanner entfernt, so daß die Kraft im Eisen auf den Beton überging. Alle Körper wurden im Alter von 28 Tagen durch Belastung in den Drittelpunkten bei 1,524 m Stützweite geprüft. Verwendet wurde Stahl mit sehr hochliegender Streckgrenze, die Bruchfestigkeit betrug 8400 kg/cm² (bezogen auf die ursprüngliche Fläche). Der Stahl hatte keine ausgeprägte Streckgrenze; die Spannung, bei der eine bleibende Dehnung von 0,2 % auftrat, betrug 7000 kg/cm².

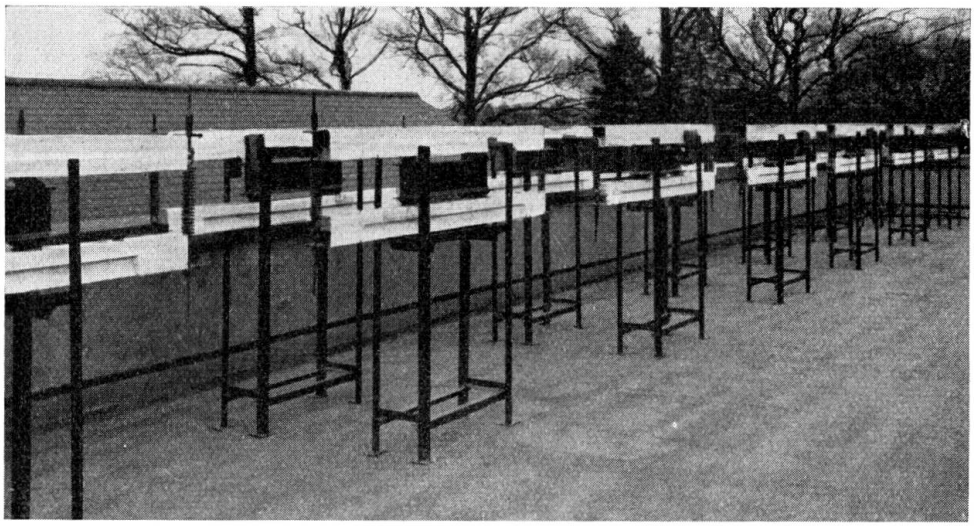

Fig. 8.
Versuche an luftgelagerten Eisenbeton-Balken.

Die Hauptergebnisse der Prüfungen sind in Tafel I dargestellt. Bei einer Eisenspannung von 1760 kg/cm² (berechnet wie üblich unter Vernachlässigung der Mitwirkung des Betons in der Zugzone) traten in den vorgespannten Körpern keine Risse auf, während in den anderen die Rißbreiten bereits 0,076 und 0,127 mm erreicht hatten. Die Durchbiegung war infolge der Vorspannung auf ein Drittel und ein Viertel der Durchbiegung der nicht vorgespannten Körper verringert. Um gleiche Durchbiegung und Rißbreiten zu erzielen, wie sie bei den nicht vorgespannten Körpern bei einer Eisenspannung von 1760 kg/cm² entstanden waren, mußten die Lasten auf den vorgespannten Balken beinahe doppelt so hoch sein.

Es ist nach alldem klar, daß die Vorspannung der Bewehrung eine sehr geeignete Maßnahme ist, um die Durchbiegung und Rißbildung zu verringern. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß die Spannungssteigerung, die notwendig war, um in den vorgespannten Körpern dieselben Verhältnisse herbeizuführen wie in den Körpern ohne Vorspannung, nur etwa 1760 kg/cm² betrug und nicht 2800 kg/cm² wie die ursprüngliche Vorspannung. Vom Nennwert der Vorspan-

nung waren also im Zeitpunkt der Prüfung nicht einmal mehr zwei Drittel wirksam. Der Grund dafür ist, daß die ursprüngliche Dehnung des Stahls infolge der Stauchung des Betons zurückgeht, sobald die Last vom Vorspanner auf den Beton übertragen wird, und ferner infolge des dann einsetzenden Kriechens des Betons. Auf die Bruchlast hat die Vorspannung keinen Einfluß.

Korrosion.

Man hat vermutet, daß es eine Grenze für die Rißbreite gibt, unterhalb deren keine Korrosion der Bewehrung eintritt. Obwohl dies einleuchtend erscheint, konnte es bisher noch nicht ausreichend bewiesen werden. Dieser Beweis dürfte am besten dadurch zu führen sein, daß man belastete Eisenbetonproben der Witterung aussetzt; solche Prüfungen wurden im Forschungsamt begonnen: dabei wird die Entwicklung der Risse gemessen. Einige dieser Körper gibt Fig. 8 wieder. Ähnliche Versuche anderer Forscher sind nur sehr beschränkt auswertbar, da Angaben über die Rißbreiten fehlen.

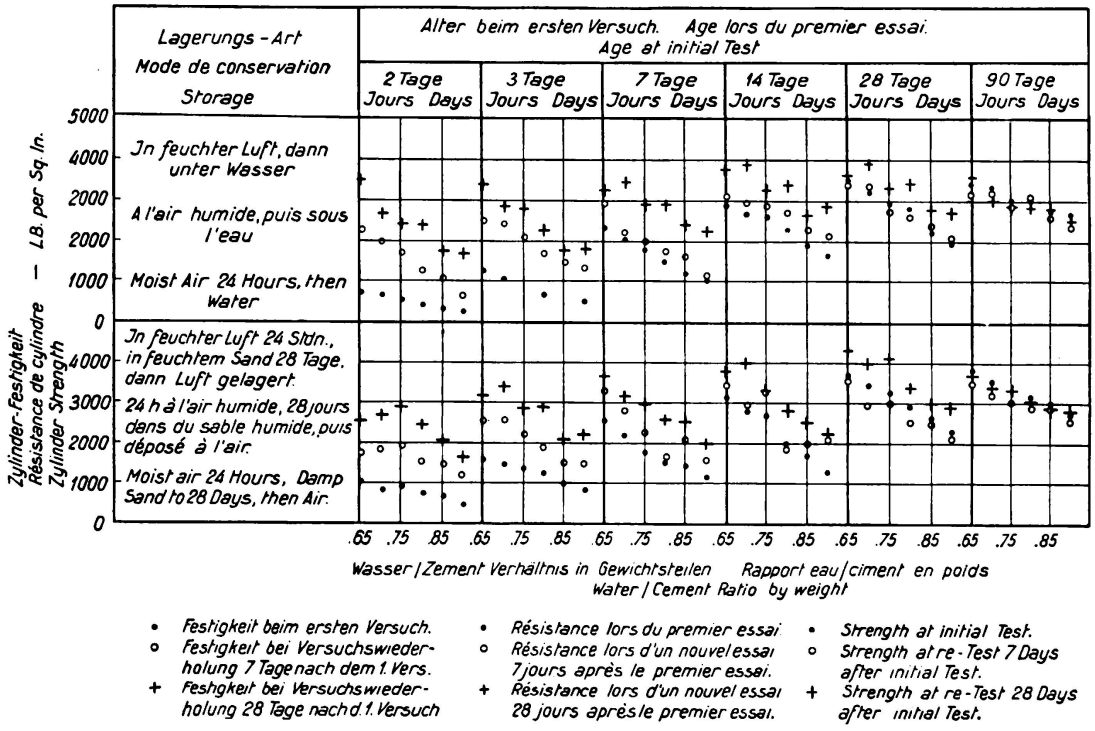

Fig. 9.
„Selbst-Heilung" von Beton.

Verheilung der Risse.

Vor Jahren hat Professor *Duff Abrams* (2) eine Anzahl Betonzylinder bis zum Bruch belastet und diese Prüfung an denselben Körpern nach einigen Jahren wiederholt. Dabei betrug ihre Festigkeit 167—379 % der ursprünglichen 28 Tage-Festigkeit. *Abrams* war der Ansicht, daß die feinen Risse, die sich bei der ersten Prüfung gebildet hatten, durch nachfolgende Ablagerung löslicher Stoffe des Zementes und des Zuschlages wieder wirksam verschweißt worden waren. Es war wirklich ein Heilungsprozeß; der Beton hatte im Laufe der Zeit mehr an Festigkeit gewonnen, als dies ohne vorhergehende Belastung der Fall gewesen wäre.

Im Forschungsamt ausgeführte Versuche bestätigten die Ergebnisse, die *Abrams* erhalten hatte. Als Proben dienten Zylinder von 101,6 mm Durchmesser und 203,2 mm Höhe. Zur Prüfung wurde eine hydraulische Presse verwandt. Die Proben wurden zunächst bis zum Bruch belastet und sodann in ganz kurzen Zeitabständen, während deren sie unter Wasser oder unter feuchtem Sand oder an der Luft lagerten, erneut geprüft, wobei sie jedoch nicht zerstört wurden. Einige Ergebnisse, die als typisch gelten können, sind in Fig. 9 wiedergegeben. Es handelt sich um Portlandzementbeton mit verschiedener Steife. Die bei der ersten Prüfung erhaltenen Ergebnisse sind den Ergebnissen der Wiederholungsprüfungen gegenübergestellt, die zunächst 7 Tage und dann 28 Tage nach der ersten Prüfung vorgenommen wurden. Die Figur zeigt, daß Beton, der zunächt in geringerem Alter zerstört wurde, besser heilt, als solcher, der bereits älter war. Meist genügen schon 7 Tage, um den Beton soweit zu heilen, daß er mindestens wieder die Last aushält, die ursprünglich seinen Bruch herbeigeführt hat. Nur bei dem Beton, der zum ersten Male im Alter von 90 Tagen geprüft wurde, war sogar eine Heilungszeit von 23 Tagen noch nicht ausreichend. Allerdings war auch in diesem Falle der Unterschied in der Festigkeit nur unbedeutend.

Ähnliche Ergebnisse erhielt man mit verschiedenen Mischungen einschließlich Tonerdezement. Dabei ergab sich im allgemeinen, daß die Heilung umso größer ausfällt, a) je magerer und durchlässiger die Mischung ist, und b) je feuchter sie während der Heilung gehalten wird.

Schrifttumshinweise.

1. *Thomas, F. G.* „Cracking in Reinforced Concrete" Struct. Eng. 1936, *14* (7), 298—320.
2. *Abrams, D. A.* „Question Box". Am. Concr. Inst. Proc. 1926. *22*. 636—39.

Tafel I.

Wirkung der Vorspannung der Bewehrung in Balken.

Tafel I	Balken			
	PT 1[1]	PT 2	PT 4[1]	PT 5
Rißbreite bei einer durch äußere Lasten hervorgerufenen Eisenspannung von 1760 kg/cm² . . . . . mm	0	0,13	0	0,13
Eisenspannung, bei der die ersten Risse entstehen kg/cm²	2460	1195	2460	985
Eisenspannung in den vorgespannten Balken, bei der dieselben Rißweiten entstehen, wie bei einer Eisenspannung von 1760 kg/cm² in den Balken ohne Vorspannung . . . . . kg/cm²	3870	—	3660	—
Durchbiegung in Balkenmitte bei einer Eisenspannung von 1760 kg/cm² . . . . . mm	0,48	1,37	0,46	2,03
Eisenspannung in den vorgespannten Balken, bei der dieselben Durchbiegungen entstehen, wie bei einer Eisenspannung von 1760 kg/cm² in den Balken ohne Vorspannung . . . . . kg/cm²	3370	—	3300	—
Raumgewicht des Betons . . . . . kg/m³	1840		1760	
Würfelfestigkeit des Betons (10 cm-Würfel) . . kg/cm²	344		267	
Mittlerer Gleitwiderstand eines Rundeisens Ø 6,3 mm in einem Betonzylinder von 76 mm Durchmesser und 152 mm Länge . . . . . kg/cm²	im Alter von 14 Tagen 23,2 28 Tagen 22,5			21,8 24,6

[1] Mit Zugeisen, die auf 2800 kg/cm² Nennwert vorgespannt worden waren.

Zusammenfassung.

Es wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, die Schwindspannungen in am freien Schwinden behinderten Betonkörpern zu messen, bis Risse entstehen. Man konnte damit feststellen, daß die Schwindrißgefahr umso größer wird, je größer die Erhärtungsgeschwindigkeit des verwendeten Zements ist.

Die von mehreren Forschern vertretene Auffassung, daß die Risse bis zu einem gewissen Grade federn, d. h., daß sie sich bei der Entlastung wieder etwas schließen, wurde bestätigt; allerdings ist der Ausdruck „federnd" nicht völlig befriedigend. Die Risse schließen sich zwar, wenn die Last völlig aufgehoben ist, aber die Schließbewegung schreitet nicht im gleichen Verhältnis wie die Verringerung der Last fort. Eine Verringerung der Last um die Hälfte braucht wegen der Hysteresis infolge der Umkehrung der Bewegungsvorgänge an der Berührungsfläche zwischen Beton und Eisen überhaupt keine Änderung der Rißbreite herbeizuführen.

Für eine bestimmte Bewehrungsmenge ergab sich, daß die Rißbreiten mit der Eisenspannung umso schneller wachsen, je kleiner das Bewehrungsverhältnis ist. Die Zunahme der Rißbreiten, infolge einer Erhöhung der Gebrauchsspannungen in der Zugbewehrung, kann verhältnismäßig viel größer sein als die Steigerung der Eisenspannung, zumal die Erhöhung der zulässigen Spannungen dazu führen dürfte, das Bewehrungsverhältnis unter das übliche Maß herabzusetzen.

Unter lang dauernder Belastung kann die Rißbildung im Balken erheblich fortschreiten, wenn auch einige Wochen nach Belastungsbeginn ein Gleichgewichtszustand eintritt.

Versuche, bei denen die Zugeisen von Balken eine anfängliche Vorspannung von 2800 kg/cm^2 erhielten, haben gezeigt, daß die Wirkung der elastischen und unelastischen Verkürzungen des Betons die Wirksamkeit der Vorspannung merklich beeinträchtigen kann. Bei den näher besprochenen Prüfungen wurden die Vorspanner nach 14 Tagen ausgeschaltet und die Balken nach 28 Tagen belastet. Während dieser Zwischenzeit war die wirksame Vorspannung infolge der Betonverformung auf nur zwei Drittel des anfänglichen Wertes gesunken.

Eine Reihe von Prüfungen wurde durchgeführt, die zeigten, daß feine Risse in Betonkörpern mit der Zeit oft völlig ausheilen. Der Heilungsvorgang vollzieht sich bis zu einem gewissen Grade auch an der Luft, verläuft aber vollständiger, wenn die Körper feucht gelagert werden.

Leere Seite
Blank page
Page vide