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

Band: 1 (1932)

Artikel: Diskussion

Autor: Probst, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-628

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 21.05.2025

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

que, quels que soient les progrès de la statique, des matériaux et de leur connaissance, la qualité et le soin de mise en œuvre resteront toujours des facteurs dominants de la valeur des ouvrages en béton armé.

Depuis la remise de mon rapport d'introduction au Secrétariat général du Congrès, outre le mémoire de M. Dumas et les articles parus dans Beton und Eisen à propos des suggestions de M. von Emperger, d'autres travaux ont été publiés, parmi lesquels je crois utile de citer un rapport important de M. Ch. S. Whitney, intitulé « Plain and Reinforced Concrete Arches » paru dans le Journal of the American Concrete Institute, March 1932 (Il contient une abondante bibliographie).

Enfin, M. Caminade a consigné des remarques intéressantes pour le problème traité dans la séance de ce jour sous le titre « Le règlement de la Chambre syndicale française sur les constructions en béton armé et les prescriptions officielles étrangères ». (Le Génie Civil, 1932).

VI 2

ÉLASTICITÉ, PLASTICITÉ ET RETRAIT

ELASTIZITÄT, PLASTIZITÄT UND SCHWINDEN

ELASTICITY, PLASTICITY AND SHRINKAGE

Oscar FABER,
D. Sc., Consulting Engineer, London.

Voir « Publication Préliminaire », p. 565. — *Siehe « Vorbericht »*, S, 565.
See " Preliminary Publication ", p. 565.

Participants à la discussion des questions VI_1 et VI_2
Diskussionsteilnehmer an den Fragen VI_1 und VI_2
Participants in the discussion of questions VI_1 and VI_2 :

Dr. Ing. E. PROBST,
Professor an der Technischen Hochschule, Karlsruhe i. B.

Die Bedeutung der plastischen Formänderungen für die Spannungsverteilung in Eisenbetonquerschnitten wird z. Zt. in der Fachwelt lebhaft besprochen. Es ist nicht zu erwarten, dass man zu einer Klärung des Problems auf anderen als experimentellen Wegen gelangen wird. Wesentlich sind hierbei Feinmessungen der Formänderungen bezw. der Rissweiten an Beton- und Eisenbetonträgern bis möglichst nahe an die Bruchgrenze unter Dauerbelastungen, häufig wiederholten Lastwechseln und unbelastet.

Es scheint mir zweckmässig von den einfachsten Fällen auszugehen, wie sie bei einem axial beanspruchten Betonprisma vorliegen. Dabei ist zu beachten, dass Beton ein Material ist, das sich nach Beendigung des Abbinde-

prozesses weder rein elastisch noch rein plastisch verhält. Der erhärtende Beton entwickelt zur gleichen Zeit sowohl elastische wie plastische Eigenschaften und zwar je nach seiner Zusammensetzung, nach äusseren Einflüssen und mit fortschreitender Erhärtung in verschiedenem gegenseitigem Verhältnis. Bereits unter niedrigen Spannungen treten neben elastischen Formänderungen auch plastische auf, vorausgesetzt, dass der Zusammenhang des Gefüges nicht gelockert ist.

Eine reinliche und einheitliche Scheidung wäre sehr am Platze. Es müsste in den Laboratorien allgemeine Uebung werden, neben den belasteten Körpern auch gleichartige unbelastete zu beobachten. Erst dann wird es möglich sein, die Verformungen unter Belastung von denen durch andere Einflüsse zu trennen und damit die Vergleichsmöglichkeiten wesentlich zu verbessern.

In engerem Sinn mögen die elastischen Formänderungen als solche erklärt werden, die unter äusserer Belastung entstehen und umkehrbar sind, die plastischen als solche, die unter äusserer Belastung entstehen und beim Entlasten nicht mehr rückgängig gemacht werden können. Unter den bleibenden Formänderungen verstehen wir die Gesamtheit der nicht umkehrbaren, das sind die plastischen in engerem Sinn sowie die durch Schwinden erzeugten, soweit diese als endgültig betrachtet werden können. Die totalen, gesamten Formänderungen endlich umfassen mit den bleibenden die elastischen (federnden), dazu die teils in den elastischen, teils in den plastischen Eigenschaften des Betons begründeten Volumenänderungen infolge wechselnder Feuchtigkeit und Temperatur.

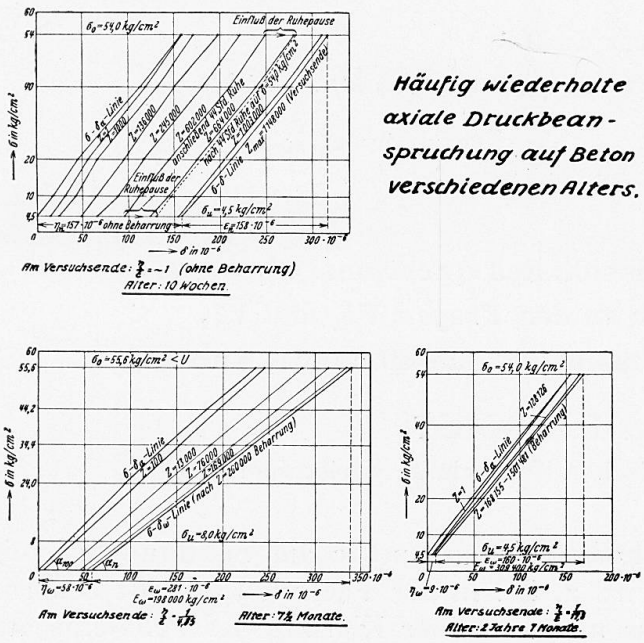

Fig. 1.
Traduction voir Addenda.
Translation see Addenda.

Die bedeutsamsten Kennzeichen der plastischen Eigenschaften des Betons sind : Beschaffenheit des Materials und Einfluss der Zeit. Die Beschaffenheit des Materials hängt ab von der Art und Menge des verwendeten Zements (damit auch von chemischen Eigenschaften, deren Wirkung selten berücksichtigt wird), von der Art und Abstufung der Zuschlagstoffe, von der Menge des Anmachwassers und dem späteren Feuchtigkeitsgehalt des Betons, und schliesslich von der Höhe der Temperatur.

Diese Veränderung der Materialeigenschaften mit der Zeit ist einer der wichtigsten Faktoren für die Sicherheit unserer Beton- und Eisenbetonkonstruktionen. Die Wirkung dauernder Belastung auf die Zunahme der plastischen Formänderungen wird mit dem Alter der Konstruktion immer geringer.

Die elastische Hysteresis ist offensichtlich ein theoretischer Begriff, der bei Beton eine andere Bedeutung hat als bei anderen Baustoffen. Es gibt

keine bleibende Verformung des Betons, die unabhängig von der Zeit auftritt.

Die elastische Nachwirkung tritt in erhöhtem Masse bei Betonkörpern auf, die in jungem Alter belastet werden. Die Plastizität des Materials spielt hier eine grössere Rolle als seine Elastizität, die plastischen Verformungen, auch unter häufig wiederholter Belastung, werden im Lauf der Lastwechsel grösser als die federnden Formänderungen.

Aus den Untersuchungen meines Instituts will ich an einem Beispiel verschieden alter Betonprismen den Einfluss des Alters erläutern.

Die drei Gruppen von Druckprismen waren 10 Wochen, 7 1/2 Monate und 2 Jahre 7 Monate alt. Im Anschluss daran wurde eine vierte Reihe hergestellt, die im Alter von 8 Wochen z. T. unter häufig wiederholter Belastung, z. T. gleichzeitig im unbelasteten Zustand beobachtet wurde. Bei den unbelasteten Prismen wurden innerhalb von 11 Tagen Längenänderungen gemessen, die den 10. Teil der bleibenden Längenänderungen der belasteten Prismen innerhalb der gleichen Zeit und nach fast 900 000 Lastwechsel ausmachten. Hierbei wuchsen die bleibenden Formänderungen ständig, ohne Beharrungszustand zu erreichen — ein für junge Körper typisches Zeichen —, die federnden wurden konstant.

Die Verhältniszahlen der bleibenden Längenänderungen zu den federnden unter Belastung verändern sich einerseits mit dem Alter des Versuchskörpers, andererseits mit der Zahl der Lastwechsel, gleiche Belastungsintervalle vorausgesetzt. (Abb. 1.)

Zu Beginn der häufig wiederholten Belastung betrug das Verhältnis der federnden zu den bleibenden Längenänderungen bei den 8 Wochen alten Prismen 1 : 0,25 (4 : 1), bei den 10 Wochen alten 1 : 0,09 (11 : 1), bei den 2 Jahre 7 Monate alten 1 : 0,03 (31 : 1). Der Abstand zwischen den elastischen und bleibenden Formänderungen wird demnach mit dem Alter immer grösser. Jedoch sind hierbei die elastischen Formänderungen viel weniger beteiligt als die bleibenden; denn die Vergrösserung der federnden Formänderungen mit dem Alter ist gering, die Verkleinerung der bleibenden dagegen sehr stark. Mit anderen Worten: Die Plastizität des Betons nimmt mit dem Alter viel stärker ab, als seine Elastizität zunimmt.

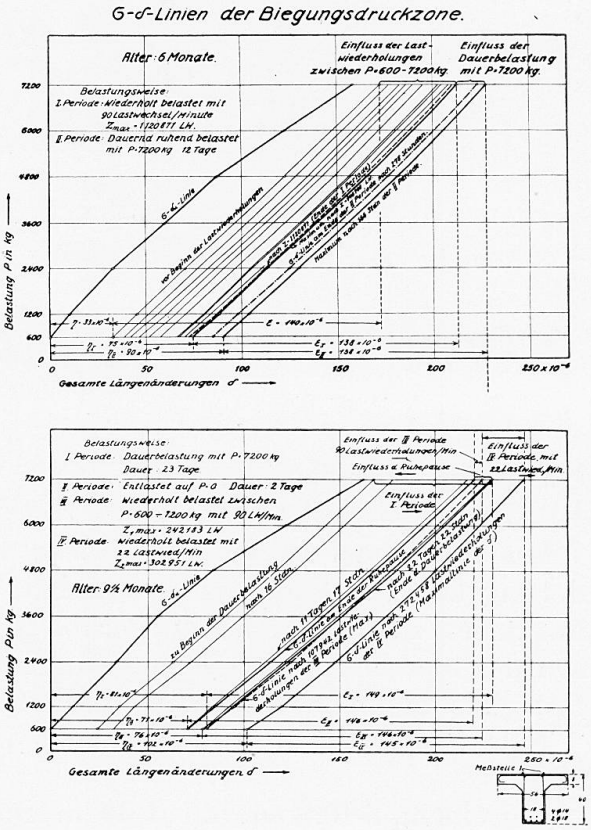

Fig. 2.
Traduction voir Addenda.
Translation see Addenda.

Ebenso verändert die wiederholt aufgebrachte Last in erster Linie die bleibenden Längenänderungen und zwar umso stärker, je jünger der Körper ist. Das Verhältnis $\frac{\eta}{\varepsilon}$ ist bei dem 8 Wochen alten Beton 1 : 1,68 und wird nach 2 Jahren und 7 Monaten 1 : 18,7.

Das Verhältnis der bleibenden Längenänderungen nach dem ersten Lastwechsel zu denen nach über 1 Million Lastwechsel betrug 1 : 11 bei dem 10 Wochen alten, 1 : 1,8 bei dem 2 Jahre 7 Monate alten Beton.

Das Verhältnis $\frac{\varepsilon}{\eta}$ der federnden Formänderungen zu den bleibenden am

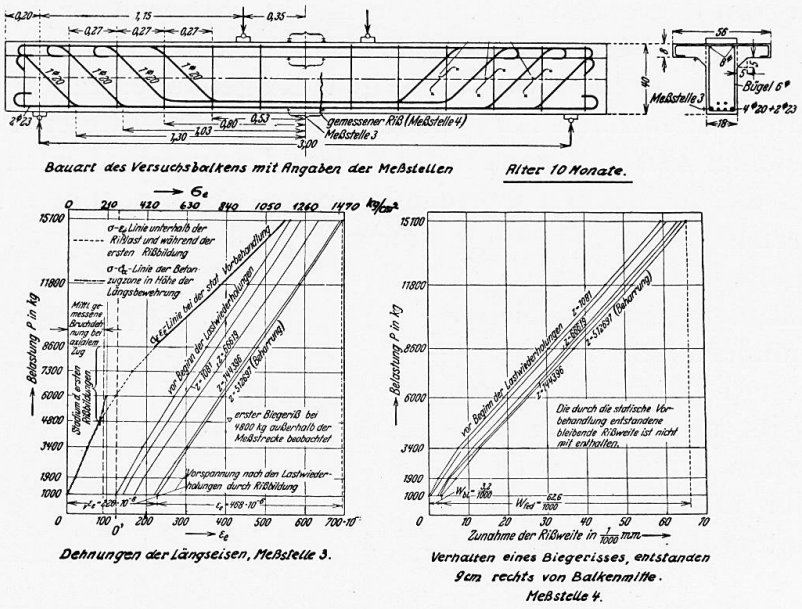

Fig. 3.

Traduction voir Addenda.
Translation see Addenda.

Ende des Versuchs betrug bei den 8 Wochen alten Prismen 1 : 1,47, bei den 10 Wochen alten 1 : 1, bei den 7 1/2 Monate alten 1 : 0,2, bei den 2 Jahre 7 Monate alten 1 : 0,06. Der starke Einfluss des Alters auf die Herabminderung der Plastizität ist erkennbar. Vergleicht man diese Verhältniswerte mit denen zu Beginn der wiederholten Belastung, so erkennt man das Wachsen der bleibenden Längenänderungen mit der Zahl der Lastwechsel, wobei fast gleichbleibende Elastizität vorhanden ist.

Eine Frage, die hier hereinspielt, ist die der Belastungsgeschwindigkeit.

Bei einem T-Balken von 3,00 m Spannweite, der zuerst mit 90 Hüben in der Minute häufig wiederholt beansprucht, dann unter Dauerlast gehalten wurde, konnte festgestellt werden, dass die Dauerlast von 7,2 t während 12 Tagen die Betondruckzone plastisch intensiver beanspruchte als die zuvor aufgebrachten 1120000 Lastwechsel zwischen 0,6 und 7,2 t. (Abb. 2).

Ein anderer Balken gleicher Grösse wurde zuerst 23 Tage lang unter Dauerlast von 7,2 t gesetzt und dann 242000 Lastwechseln bei gleicher Geschwin-

digkeit zwischen 0,6 und 7,2 t ausgesetzt. Diese Lastwechsel konnten die Balkendruckzone nicht weiter verformen, als es die Dauerlast bereits getan hatte. Aber als nun die Hubzahl von 90 auf 22 je Minute verringert wurde (Verkleinerung der Belastungsgeschwindigkeit um 75%), nahmen die bleibenden Längenänderungen wiederum zu, während sich die federnden nicht änderten. Die bleibenden Längenänderungen erreichten dann nach 272 000 Lastwechseln ein Maximum, das auch durch 30 000 weitere Hübe nicht mehr gesteigert werden konnte. Es zeigte sich, dass die totalen Längenänderungen der Biegungsdruckzone des ersten Balkens ungefähr so gross waren wie die des zweiten, obwohl die Reihenfolge der Beanspruchungsart (Dauerlast und häufig wiederholte Last) in beiden Balken wechselte. (Abb. 2).

Die interessanten Mitteilungen Fabers über die Wirkung der plastischen Verformungen des Betons auf die Spannungsverteilungen bei Eisenbetonbalken ergeben sich aus Beobachtungen an Balken von 5. 12,7 cm Querschnitt (2.5″) bei einer Spannweite von 4,60 m (15′): die Armierung von 2ø5 mm mit 0,3 cm² Querschnitt war 0,66%. Diese Abmessungen sind ungewöhnlich. Es fällt auf, dass bei errechneten Biegungszugspannungen im Beton bis zu 56,6 kg/cm² (über 780 lbs,/squ. inch.) bei Balken 3 und 4 keine Risse aufgetreten sein sollen.

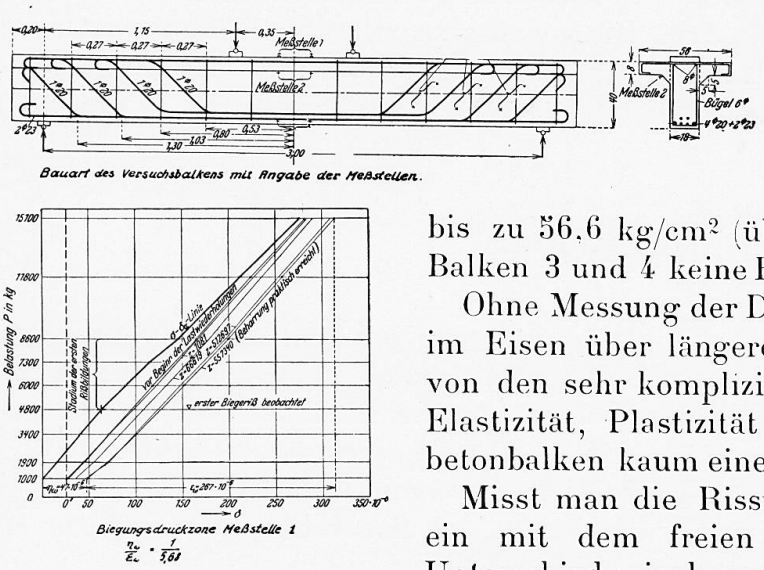

Fig. 4.
Traduction voir Addenda.
Translation see Addenda.

Ohne Messung der Deformationen im Beton und im Eisen über längere Zeit kann man sich m. E. von den sehr komplizierten Zusammenhängen von Elastizität, Plastizität und Schwinden bei Eisenbetonbalken kaum eine Vorstellung machen.

Misst man die Rissweiten, so findet man, dass ein mit dem freien Auge nicht erkennbarer Unterschied, insbesondere in den bleibenden Rissweiten, vorhanden ist.

In Abb. 3 (links) sind die Beziehungen zwischen den gemessenen Längenänderungen im Eisen ε_e, bezw. die σ_e-Spannungen in Abhängigkeit von der äusseren Belastung dargestellt. Daraus sieht man nach den ersten Rissbildungen die ständige Zunahme der σ_e bis zu einem Beharrungszustand, der nach etwa 513 000 Lastwiederholungen erreicht ist. Neben einer Vorspannung von ${}_v\sigma_e = 474$ kg/cm² ist in den Eisen eine Spannung $\sigma_e = 984$ kg/cm². Dem entspricht eine Gesamtspannung im Eisen von ${}_v\sigma_e + \sigma_e = 1458$ kg/cm². Mit anderen Worten zwischen dem ersten und dem 513'000 sten Lastwechsel ist die gesamte Eisenspannung von $\sigma_e = 1150$ auf 1458 kg/cm² angewachsen.

Vergleicht man den Verlauf der σ-δ -Linien der Betondruckzone, gemessen an Balkenoberkante (Abb. 4), so erkennt man die Beziehung der bleibenden Längenänderungen zu den Eisenvorspannungen. Das Verhältnis der bleibenden Längenänderung η im Beton zu der Vorspannung in den Längseisen war zu Beginn der Lastwiederholungen 1 : 4,9 und am Ende des Versuchs bezw.

nach dem Eintritt in den Beharrungszustand 1 : 4,8. Das Verhältnis blieb also nahezu konstant, und es ist der Ausdruck dafür, dass die Vorspannung im Eisen sich nach dem plastischen Verhalten der Biegungsdruckzone richtet.

Obwohl das Eisen unterhalb der Elastizitätsgrenze beansprucht wurde, machte sich die plastische Verformung des Betons in der Druckzone als eine bleibende Vorspannung in den Eisen geltend. Messungen zwischen 2 Rissen in der Höhe der Eisen ergaben so gut wie keine Formänderungen im Zugbeton.

Für die Berechnung und Konstruktion von Eisenbetonbauten möchte ich nach den bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen in meinem Institut nur eine Folgerung ziehen, die in der Richtung meiner bisherigen Auffassung liegt :

Die Wandlungsfähigkeit des sich verformenden Betons infolge der Einflüsse von Volumenänderungen beim Erhärten, der Temperaturen und der Belastung verlangen weniger nach einer Verfeinerung als nach einer Vereinfachung der statischen Methoden. Diese müssten allerdings summarisch die verschiedenen genannten Einflüsse im Zusammenhang mit der Frage einer sich in Grenzen der Wirtschaftlichkeit bewegenden Sicherheit berücksichtigen.

Traduction.

L'importance des déformations plastiques en ce qui concerne la répartition des tensions dans les sections des ouvrages en béton armé a fait, il fut un temps, dans les milieux spécialisés, l'objet de vives discussions. Il ne faut pas s'attendre à pouvoir apporter à ce problème une solution autre que celle qu'offre la recherche expérimentale. Il est essentiel de pouvoir effectuer ici des mesures de précision portant sur les déformations et les fissurations des poutres en béton et en béton armé, en les poussant aussi près que possible de la charge de rupture, sous l'influence de charges constantes et de charges alternées, et sans charge.

Il me semble tout indiqué de partir des cas les plus simples, tels que représente celui du prisme de béton soumis à une charge axiale. On pourra ainsi observer que le béton est précisément un matériau qui, après la fin du processus de prise, ne se comporte ni purement élastiquement, ni purement plastiquement. Le béton en cours de durcissement accuse des propriétés aussi bien élastiques que plastiques, dans des proportions qui varient d'ailleurs avec sa composition, avec les influences extérieures et avec les progrès du durcissement. Dès l'application de contraintes encore relativement faibles, et outre les déformations élastiques, il se manifeste déjà des déformations plastiques, à condition naturellement que la cohésion intime du matériau ne soit pas détruite.

Il serait très opportun de pouvoir faire ici une distinction nette et déterminée. Il faudrait pour cela soumettre à l'observation, au laboratoire, des éprouvettes chargées, et, simultanément, des éprouvettes non chargées. Ce n'est