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

Band: 5 (1956)

Rubrik: Free discussion

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: 02.10.2025

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

Discussão livre

Discussion libre

Free Discussion

Freie Diskussion

Leere Seite
Blank page
Page vide

II

Versuche zur Bestimmung des Einflusses der Zeit auf Festigkeit und Verformung

Determinação experimental do efeito da duração da carga sobre a resistência e a deformação

Détermination expérimentale de l'effet de la durée du chargement sur la résistance et la déformation

Experimental determination of the effect of the duration of loading on the resistance and deflection

PROF. DR.-ING. H. RÜSCH
Technische Hochschule
München

Der Verfasser hat schon 1952 auf dem 4. Kongress der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau seine Anschauungen zu der für den entwerfenden Ingenieur ausserordentlich bedeutsamen Frage vorgelegt, welchen Einfluss die Belastungsdauer auf die Festigkeit und Verformung der Werkstoffe ausübt (1). Da in allen Ländern die Ausnützung der Werkstoffe immer höher getrieben wird, gewinnt diese Frage in steigendem Masse an Bedeutung.

In dem der Technischen Hochschule München angeschlossenen Materialprüfungsamt für das Bauwesen wurde diese Frage in den letzten Jahren systematisch studiert. Im folgenden soll kurz über die laufenden Arbeiten und die vorläufigen Ergebnisse berichtet werden. Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, dass Versuche mit dauernder Lasteinwirkung sehr zeitraubend sind und deshalb noch Jahre vergehen werden, bis eine befriedigende Abklärung des Problems erreicht wird.

Versuche an Prüfkörpern aus Beton

Derzeit ist ein grosses Versuchsprogramm in Arbeit, bei dem prismatische Probekörper mit einem Querschnitt von 10×15 cm und einer Höhe von 60 cm unter dauernder Lasteinwirkung stehen. Bei diesen Versuchen wird die Betongüte, die Exzentrizität der Last und der Belastungsgrad variiert. Sie dienen der Klärung des Zusammenhangs zwischen Belastungsart, Belastungsdauer, Festigkeit und Verformung.

---

(1) H. RÜSCH — «Der Einfluss der Zeit auf Festigkeit und Verformung» Schlussbericht zum 4. Kongress der Internat. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau.

Da die Prüfkörper bis zu 1 Jahr und länger unter konstanter Last gehalten werden müssen, war es notwendig, eine einfache und billige Belastungsvorrichtung zu entwickeln, die kein dauerndes Nachstellen verlangt. Diese Vorrichtung ist in Bild 1 dargestellt. Die Last wird in

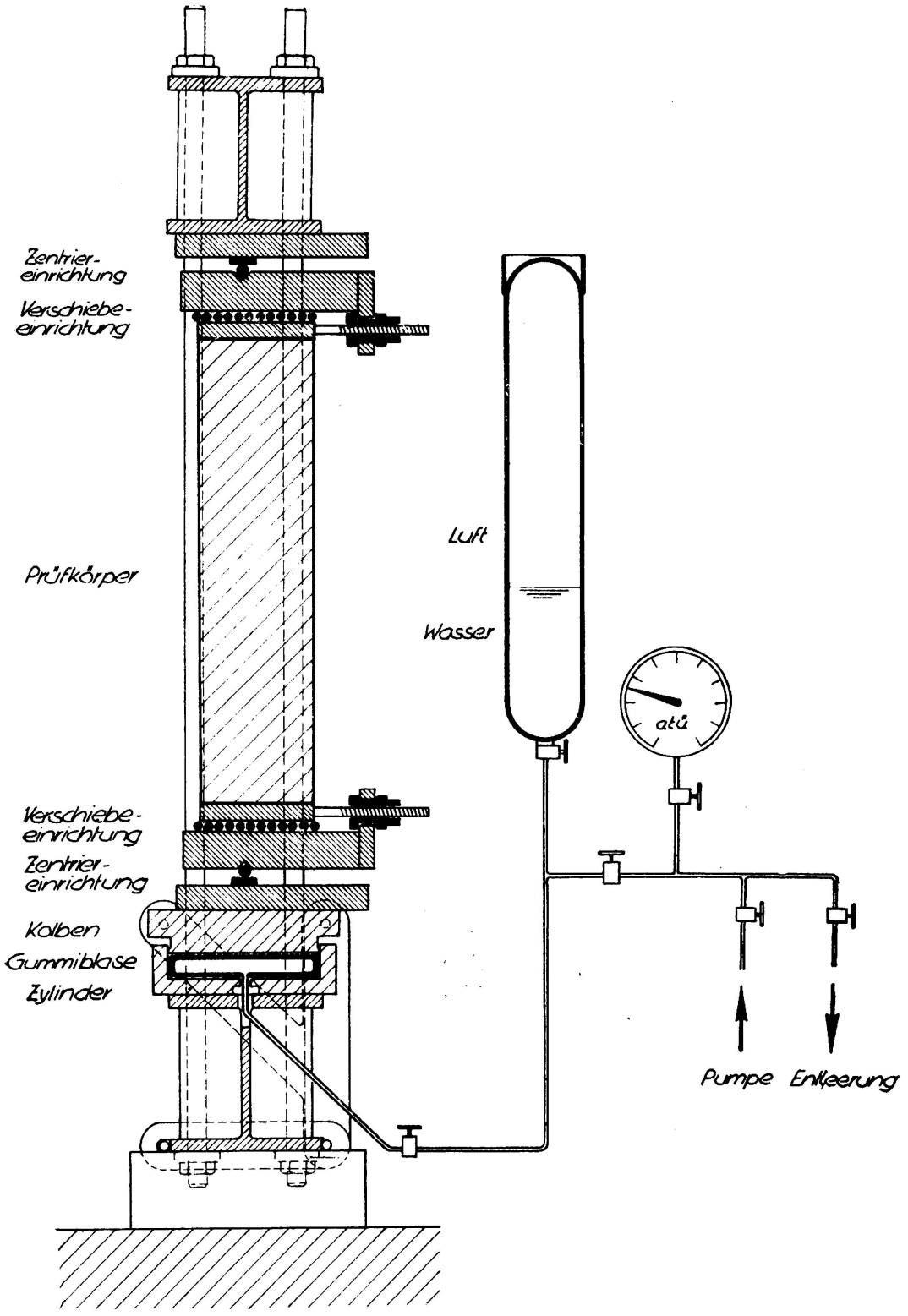

BILD 1

einer einfachen hydraulischen Presse erzeugt, deren Druck durch einen vorgeschalteten Windkessel konstant gehalten wird. Die Dichtigkeit der ganzen Anlage wird dadurch sichergestellt, dass der Zylinder mit einer eingelegten Gummiblase gedichtet wird. Ein Druckabfall kann also nur noch durch die Verformung des Prüfkörpers entstehen. Er bleibt aber vernachlässigbar klein, wenn der mit Luft gefüllte Windkessel ein genügendes Volumen aufweist.

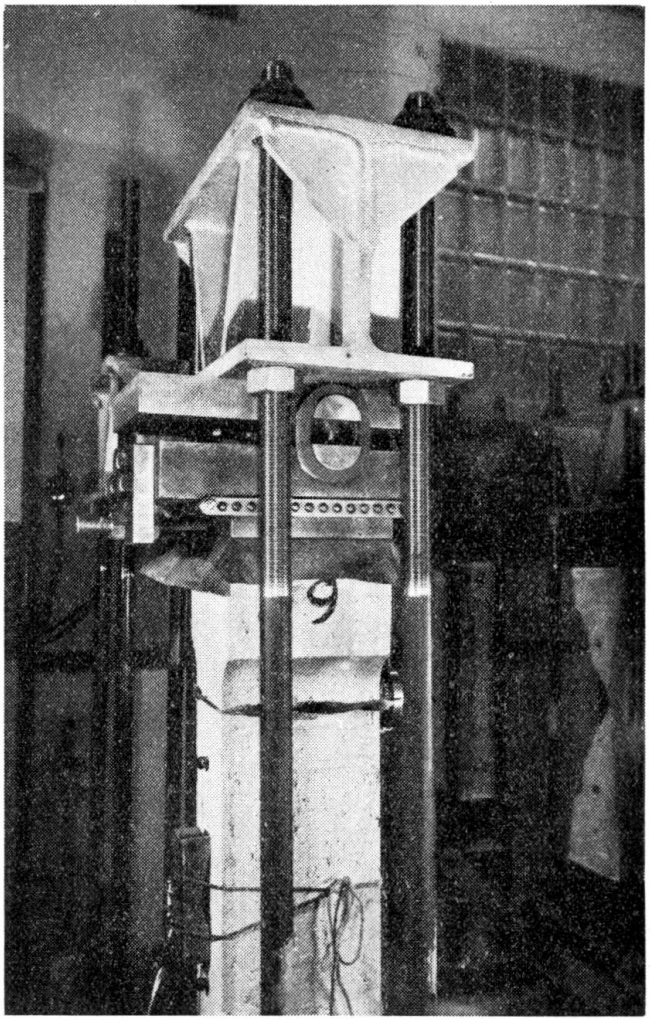

BILD 2

Bild 2 zeigt eine solche Presse mit einem eingebauten Prüfkörper. Die Zentrierung der Last erfolgt in den Druckplatten über zwischengelegte Rollen hoher Festigkeit. Derzeit wird mit etwa 40 Belastungsvorrichtungen gleichzeitig gearbeitet. Die Versuche werden in einem Raum durchgeführt, dessen Temperatur und Feuchtigkeit durch ein Klimagerät konstant gehalten werden.

In dem erwähnten Bericht aus dem Jahre 1952 wurde schon darauf hingewiesen, dass die Kenntnis der Spanungs-Dehnungslinie für kurzzeitige Belastung keine zufriedenstellende Grundlage für die Bemessung liefert, da die Form dieser Linie in starkem Masse von der Dauer der Lasteinwirkung abhängt. Im folgenden soll nur über Versuche zum Studium dieses Einflusses berichtet werden. Man darf aber nicht ausser Acht lassen, dass nicht nur eine ruhende Dauerlast, sondern auch häufige Belastungswechsel zu einer Veränderung der Spannungs-Dehnungslinie führen. Mit Versuchen zur Klärung dieses Einflusses soll in Kürze begonnen werden.

Bild 3 zeigt den Einfluss der Dauer der Lasteinwirkung auf die Form der Spannungs-Dehnungslinie eines Betons mittlerer Festigkeit am Beispiel der Randfaser der Biegedruckzone. Beim Versuch wurde die Exzentrizität bei der Belastung des Prismas so gewählt, dass die Dehnung am lastabgewandten Rand gerade Null wurde (neutrale Achse). Die linke Kurve entspricht der Spannungs-Dehnungslinie für kurzzeitige

Belastung. Die rechte Kurve wurde dadurch gewonnen, dass die Last bei verschiedenen Belastungsgraden — die durch das Verhältnis zu der im Kurzzeitversuch erzielten Bruchlast charakterisiert werden — konstant gehalten wurde. Die Dehnung wächst dabei unter der Wirkung des Kriechens an. Durch Verbindung der so gewonnenen Punkte erhält man die Spannungs-Dehnungslinie für dauernde Lasteinwirkung.

Sobald aber ein bestimmter Belastungsgrad überschritten wird, gelingt es nicht mehr, die Last auf die Dauer konstant zu halten, da der Probekörper nach einer bestimmten Zeit zu Bruch geht. Der Grenzwert bestimmt die Dauerstandfestigkeit für ruhende Belastung. Durch Ver-

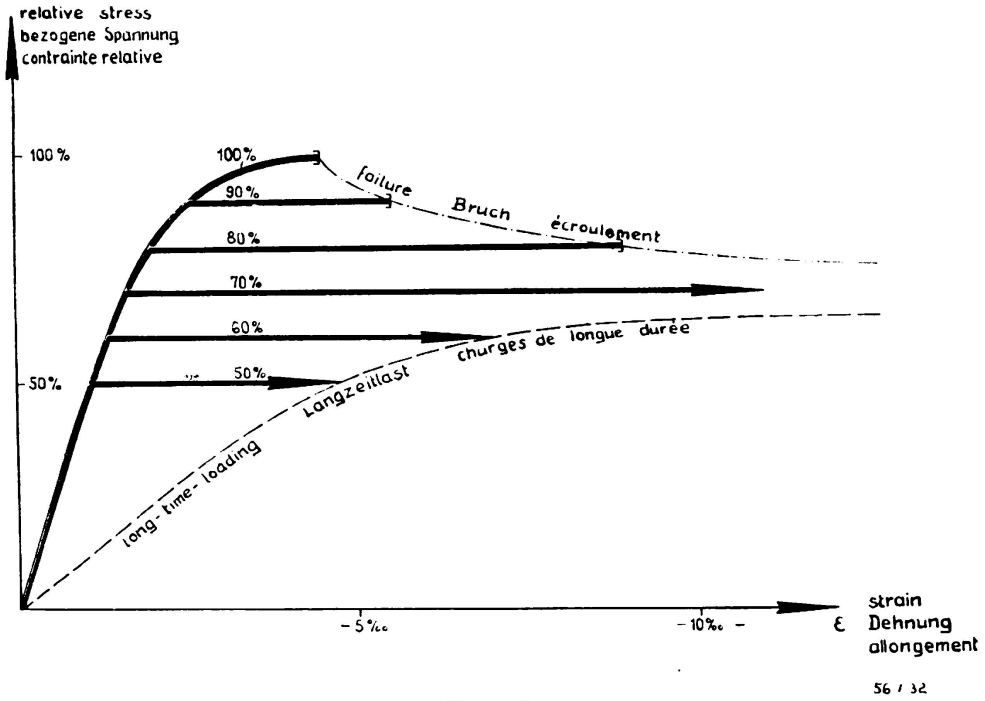

BILD 3

bindung der im darüberliegenden Bereich gewonnenen Versuchspunkte erhält man die Zeitbruchlinie (in Bild 3 oben rechts).

Es ist leicht einzusehen, dass die Kenntnis der beschriebenen 3 charakteristischen Linien für den entwerfenden Ingenieur von einer ausserordentlichen Bedeutung ist. Sie sind Grenzlinien und schliessen zwischen sich den Raum ein, in dem sich das wirkliche Verhalten des Baustoffes abspielt.

Bild 4 soll den Begriff der Zeit-Dehnungslinie an einem Diagramm erläutern, das den Zusammenhang zwischen Belastungsdauer und Verformung darstellt. Die mit 100 % bezeichnete Kurve zeigt den Verformungsablauf für einen Kurzzeitversuch von etwa 20 Min. Dauer. Bei einem zweiten Versuch wurde die Belastung mit der gleichen Geschwindigkeit aufgebracht wie beim Kurzzeitversuch, aber nur bis zu 90 % der im Kurzzeitversuch erzielten Bruchlast gesteigert und anschliessend konstant gehalten. Die zugehörige Kurve zeigt das weitere Anwachsen der Verformung im Lauf von etwa einer Stunde, die bis zu dem Bruch

des Probekörpers verstrich. Ein ähnliches Verhalten zeigen die mit Belastungsgraden von 85, 80 und 75 % auf gleiche Weise geprüften Proben. Der Bruch erfolgte in diesen Fällen nach etwa 7 Stunden, 3 Tagen und 70 Tagen. Im letzten Falle wuchs die Verformung bis zum Bruch auf 15 $^{0}/_{00}$ an. Das ist etwa der 3 1/2-fache Betrag des im Kurzzeitversuch beobachteten Werts.

Wird der Belastungsgrad weiter gesenkt (in Bild auf 60 und 50 %), dann entsteht eine völlige Änderung der Verformungscharakteristik. Die

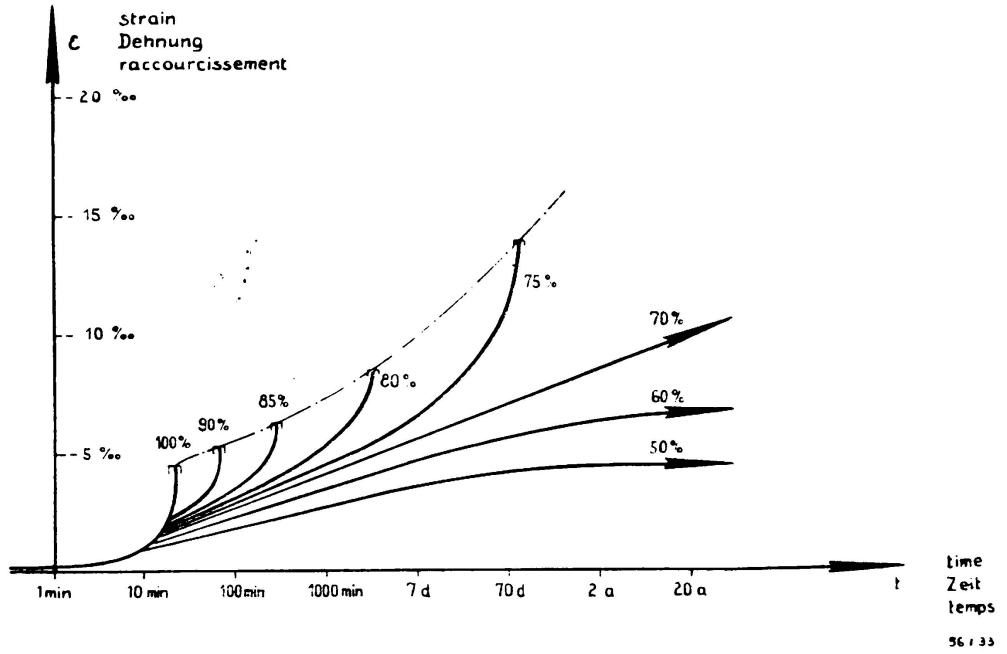

BILD 4

Verformungsgeschwindigkeit nimmt bei dem gewählten logarithmischen Zeitmassstab nicht mehr mit der Dauer der Belastung zu, sondern deutlich ab. Die Verformung nähert sich asymptotisch einem endlichen Grenzwert. Die Last kann also unendlich lange getragen werden, ohne dass sich ein Bruch einstellt.

Die Grenze zwischen diesen beiden verschiedenen Arten des Verformungsdiagrammes wird durch die Dauerstandfestigkeit des Werkstoffes bestimmt. Sie liegt in dem hier gezeigten Fall bei etwa 70 % der Kurzzeitfestigkeit.

Einen weiteren Einblick in das Verhalten der Werkstoffe unter dauernder Lasteinwirkung erlaubt Bild 5, das in isometrischer Darstellung den Zusammenhang zwischen der durch die Exzentrizität charakterisierten Belastungsart, der Dauer der Lasteinwirkung und der Bruchverformung zeigt. In diesem Bild erkennt man deutlich, dass die bezogene Exzentrizität η einen ganz erheblichen Einfluss auf die Bruchverformung ausübt. Bei dem hier wiedergegebenen Versuch erreichte die Bruchverformung bei zentrischer Belastung ($\eta = 0$) im Kurzzeitversuch (t = 20 min.) 2 $^{0}/_{00}$, im Langzeitversuch (t = 70 d) 6$^{0}/_{00}$. Bei der schon erwähnten Exzen-

trizität, welche zu einer ähnlichen Beanspruchung führt, wie in der Biegedruckzone eines Balkens, betrug die Bruchverformung im Kurzzeitversuch 4 ‰, unter dauernder Lasteinwirkung 15 ‰.

Eine deutliche Abhängigkeit der Dauerstandfestigkeit von der Exzentrizität konnte bei diesen Versuchen bisher nicht beobachtet werden.

Die hier wiedergegebenen Versuchsergebnisse geben nur einen Anhaltspunkt für das qualitative Verhalten eines Betons mittlerer Güte unter dauernder Lasteinwirkung. Da es sich nur um die Auswertung

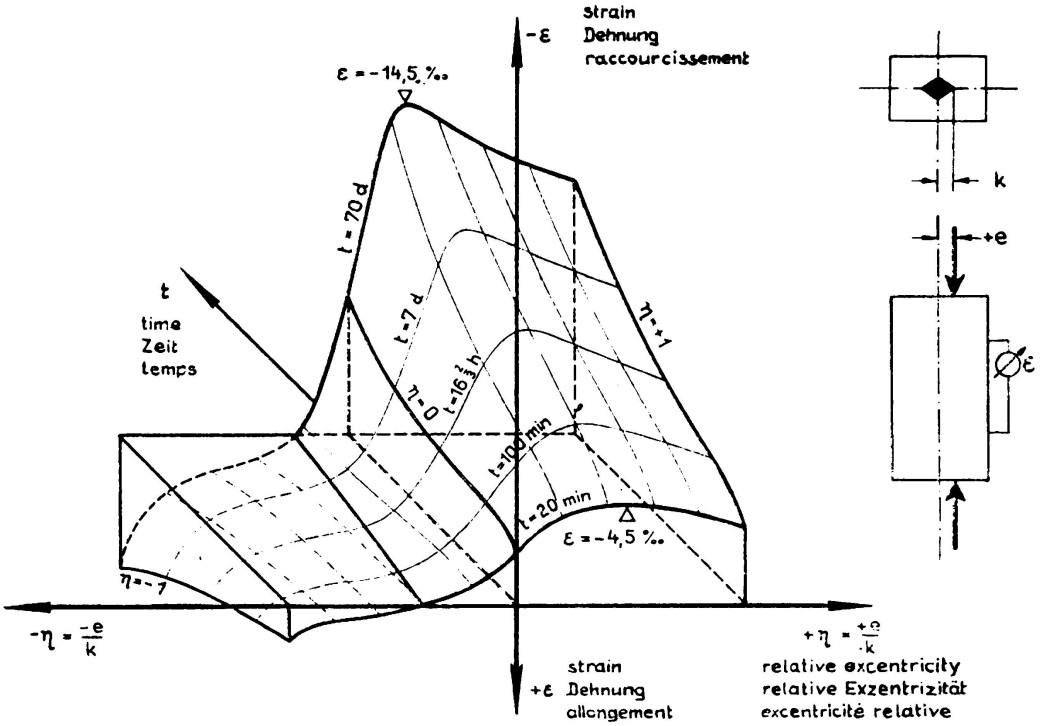

BILD 5

der ersten abgeschlossenen Versuchsreihen handelt und bei diesen Versuchen erhebliche Streuungen unvermeidbar sind, muss eine quantitative Aussage über die Dauerstandfestigkeit und die maximal erreichbaren Verformungen bis zum Abschluss der Versuche zurückgestellt werden.

Ursachen für den Festigkeitsabfall unter dauernder Lasteinwirkung

In den vorstehend beschriebenen Versuchen wurde der von der dauernden Lasteinwirkung erzeugte Festigkeitsabfall zu etwa 30 % festgestellt. Zu den vermuteten Ursachen dieses Abfalles hat der Verfasser schon einmal Stellung genommen (2). Offensichtlich entsteht schon bei

(2) Siehe Fussnote 1.

einem verhältnismässig niedrigen Belastungsgrad eine Zerstörung des Betongefüges durch Mikrorisse. Damit entsteht ein instabiler Zustand, der nur noch durch die innere Reibung für eine begrenzte Zeit aufrecht erhalten werden kann.

Im folgenden soll nun kurz über einen neuen Versuch berichtet werden, die Abhängigkeit dieser Gefügelockerung vom Belastungsgrad durch physikalische Messungen zu bestimmen. Diese Untersuchungen wurden ebenfalls an prismatischen Betonkörpern durchgeführt, die in einer normalen Prüfpresse belastet wurden. Diese Körper wurden während der Prüfung quer durchschallt. Zu diesem Zweck wurde auf der einen Seite des Prismas ein Kristall zur Erzeugung von Ultraschall und auf der gegenüberliegenden Seite ein Kristallmikrofon zur Aufnahme der ankommenden Wellen aufgeklebt. Die Schallquelle lieferte eine konstante Energie, die im Inneren des Körpers teilweise aufgezehrt wurde. Die auf der anderen Seite noch ankommende Energiemenge hängt deshalb ganz wesentlich von der Schalldämpfung im Inneren des Körpers ab. Dass diese deutlich vom Belastungsgrad beeinflusst wird, ist verständlich. Sobald nämlich in dem Beton Mikrorisse entstehen, muss die Schalldämpfung wesentlich anwachsen, weil der Schall beim Übergang vom festen Medium zur Luft, oder umgekehrt, fast vollständig reflektiert wird.

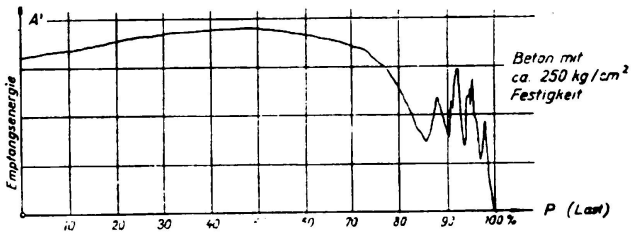

BILD 6

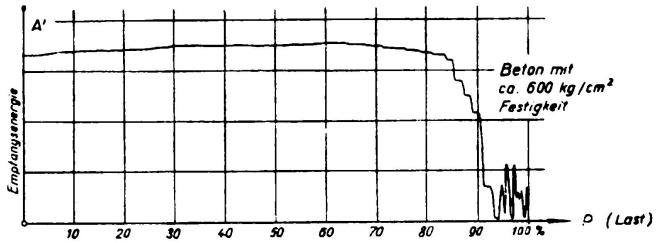

BILD 7

Die Bilder 6 und 7 zeigen das Ergebnis solcher Messungen an dem Beispiel eines normalen und eines hochfesten Betons. In beiden Fällen kann mit wachsender Last zuerst ein geringes Ansteigen der ankommenden Energie beobachtet werden. Bei etwa 50 – 60 % der Bruchlast erreicht die ankommende Energie ein Maximum, die Dämpfung also ein Minimum. Dies bedeutet, dass sich von Eigenspannungen verursachte Mikrorisse schliessen. Dahinter sinkt die Kurve erst langsam und dann schnell ab. Je fester der Beton ist, umso ausgeprägter wird dieser Knickpunkt, der eine durch die Last erzeugte starke Gefügelockerung anzeigt.

Die beiden Bilder zeigen deutlich, dass zwischen 70 und 80 % der Kurzzeitfestigkeit diese Gefügelockerung ein so hohes Mass erreicht, dass unter dauernder Lasteinwirkung schon bei diesen Laststufen ein Bruch entstehen kann.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird kurz über laufende Versuche berichtet, welche den Einfluss der Belastungsdauer auf Festigkeit und Verformung von Prüfkörpern aus Beton klären sollen. Die Dauerstandfestigkeit unter ruhender Last scheint zwischen etwa 70 und 80 % der im Kurzzeitversuch beobachteten Festigkeit zu liegen. Die Bruchverformungen steigen bei dauernder Lasteinwirkung auf das Mehrfache der im Kurzzeitversuch beobachteten Werte an. Die Versuche werden mit der Absicht fortgesetzt, diese Zusammenhänge eindeutig zu klären.

RESUMO

O autor descreve sumàriamente, ensaios actualmente em curso para a determinação do efeito da duração da carga sobre a resistência e deformação de provetes de betão. A resistência a uma carga contínua prolongada parece ser de 70 a 80 % da observada em ensaios de curta duração. As deformações de rotura aumentam com o tempo de acção das cargas. Os ensaios prosseguem, esperando poder-se esclarecer estas relações.

RÉSUMÉ

L'auteur décrit, de manière succincte, des essais, actuellement en cours, pour la détermination de l'effet de la durée du chargement sur la résistance et la déformation d'éprouvettes en béton. La résistance à des charges continues prolongées semble être 70 a 80 % de celle que l'on observe pour des essais de courte durée. Les déformations à la rupture augmentent avec la durée du chargement. Les essais se poursuivent dans le but de déterminer ces relations de manière plus précise.

SUMMARY

The author rapidly describes tests, now under way, to determine the effect of the length of the loading time on the resistance and deflections of a concrete test piece. The resistance to long time continuous loading seems to be 70 to 80 % of that observed in short time tests. Collapse deflections increase with the duration of loading. Tests are proceeding in order to determine these relations more precisely.