

## On the Fatigue Behaviour of Plain Concrete State of Knowledge

K. Wesche, J. W. Weber, W. Kunze

Summary: The fatigue behaviour of plain concrete under high sustained load and dynamic load has been studied by many investigators. The researches hitherto made on the behaviour of plain concrete under fatigue loads have partly created different results. Therefore, it is not yet possible to combine strength and deformation behaviour of concrete with fatigue strength. A sufficient explanation or interpretation of the fatigue mechanism of concrete has not been found as yet, in spite of long-time extensive investigations. Therefore, the results representing the present state of knowledge can only be described qualitatively.

Unter Ermüdung soll hier das Versagen des Betons sowohl unter statischer Dauerbeanspruchung als auch unter dynamischer Beanspruchung verstanden werden. Die Dauerstandfestigkeit ist definiert als die Spannung, die ein Prüfkörper gerade noch beliebig lange ertragen kann, ohne daß ein Bruch eintritt. Als Bezugsgröße wird die Kurzzeitfestigkeit gewählt, dabei wird die Belastungs- oder Verformungsgeschwindigkeit so gewählt, daß der Bruch des Probekörpers in 1 bis 2 min eintritt. Unterschiedliche Belastungs- oder Verformungsgeschwindigkeiten haben jedoch bereits Einfluß auf die Kurzzeitfestigkeit von Zementstein und Beton.

Bei der Ermittlung der Dauerstandfestigkeit im Versuch wurden bisher 3 Verfahren angewendet:

1. Die Dauerbeanspruchung wird innerhalb einer kurzen Zeit (bis 20 min) aufgebracht und konstant gehalten. Sie liegt in der Höhe zwischen 100 % und 50 % der Kurzzeitfestigkeit.
2. Aus Versuchen mit unterschiedlicher Verformungsgeschwindigkeit ergibt sich als Grenzwert für  $\dot{\epsilon} \rightarrow 0$  die Dauerstandfestigkeit.
3. Versuche mit unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit, die als Grenzwert für  $\sigma \rightarrow 0$  ebenfalls die Dauerstandfestigkeit ergeben.

Für Zeitstandversuche fand RÜSCH, daß bei gleicher Zeit vom Belastungsbeginn bis zum Bruch des Betons die max. Spannungen zum Erreichen des Bruchs unterschiedlich waren. Diese unterschiedlichen max. Spannungen lassen sich durch die unterschiedliche Belastungsgeschichte erklären.

In letzter Zeit wird von verschiedenen Forschern versucht, die Ergebnisse aus zunächst auf praktische Belange abgestimmten Versuchen durch eine allgemeingültige Theorie zu stützen.

HELLESLAND stellte ein spannungs- und zeitabhängiges Festigkeitsgesetz für Beton auf, das konstante Dauerbelastung, beliebige zeitabhängige Belastungen und den Festigkeitsanstieg infolge Hydratation berücksichtigt.

ZAITSEV und WITTMANN übertragen die mathematische Reiß- theorie auf die Verhältnisse im Zementstein und Beton. Zur Anwendung dieser Theorie ist die Kenntnis der Änderung der Kurzzeitfestigkeit, des E-Moduls und des Kriechmaßes mit der Zeit erforderlich.

Beide Theorien beschreiben die vorliegenden Versuchsergebnisse mit guter Annäherung. Es ist zu erwarten, daß die Erweiterung dieser Theorien und entsprechend angelegte Versuche in nächster Zeit weitere Kenntnisse auf diesem Gebiet erbringen werden.

Aufgrund der Tatsache, daß die bisher vorliegenden Untersuchungen über das Verhalten von Beton unter dynamischer, meist sinusförmiger Beanspruchung zu teils unterschiedlichen Ergebnissen führten, können die den heutigen Stand der Kenntnisse repräsentierenden Ergebnisse nur qualitativ wie folgt zusammengefaßt werden:

Das Ermüdungsverhalten von Beton, Zementmörtel und Zementstein unter Dauerschwingbeanspruchung, ausgedrückt durch den Verlauf der Wöhlerkurven, unterscheidet sich statistisch gesehen nicht signifikant.

Eine echte Dauerschwingfestigkeit kann beim Beton erst oberhalb von  $10 \cdot 10^6$  Lastwechseln existieren. Sie ist bisher unbewiesen. Weitgehend unabhängig von allen Versuchsparametern einschließlich der Art der Beanspruchung läßt sich für Lastspielzahlen bis zu  $10 \cdot 10^6$  die auf die statische Kurzzeitfestigkeit bezogene Dauerschwingfestigkeit in einem geradlinigen Dauerfestigkeitsschaubild nach SMITH angeben. Eventuell doch vorhandene Einflüsse von Versuchsparametern wurden durch die bei Dauerschwingversuchen auftretenden großen Streuungen verdeckt. Ruhepausen wirken sich vor allem bei großen Lastspielzahlen günstig auf die Dauerschwingfestigkeit aus.

Die Dauerschwingfestigkeit in der Biegedruckzone eines Betonbalkens ist infolge Spannungsumlagerung auf weniger stark beanspruchte Querschnittsbereiche größer als im axialen Druckschwellversuch.

Im Zweistufen-Versuch mit unterschiedlich hohen Beanspruchungen spielt die Reihenfolge der Belastungen vor allem im Hinblick auf betriebsähnliche Verhältnisse eine wesentliche Rolle.

Das Dauerschwingverhalten von Leichtbeton mit dichtem Gefüge scheint sich bis zu  $10 \cdot 10^6$  Lastwechseln nicht wesentlich von dem des Normalbetons zu unterscheiden. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse für Leichtbeton lassen sich gut in ein Smith-Diagramm für Normalbeton einfügen.

Hinsichtlich der Verformungseigenschaften wird häufig das jeweilige Verhältnis von elastischer zu bleibender Verformung oder der Hystereseverlust pro Lastwechsel als geeignetes Maß für den Ermüdungsbruch angesehen.

Be- und Entlastungsast der Spannungs-Dehnungslinien sind zu Beginn einer dynamischen Beanspruchung entgegengesetzt gekrümmt. Mit zunehmender Lastspielzahl erfolgt beim Belastungsast eine Krümmungsumkehr als Folge des Anwachsens des E-Moduls auf den oberen und abnehmender Steifigkeit auf den unteren Spannungsstufen, abhängig von der Schwingbreite und der Höhe der Oberspannung.

Die Erscheinung der Krümmungsumkehr gilt nicht für den Entlastungsast.

Die bleibenden Dehnungen erreichen keinen Beharrungszustand, hierbei ist der Einfluß der Schwingbreite umstritten.

Der Flächeninhalt der Hysteresschleife nimmt mit zunehmender Lastspielzahl ab, wenn eine bestimmte Belastungsintensität nicht überschritten wird.

Eine Verknüpfung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens sowie eine hinreichende Erklärung des Ermüdungsmechanismus von Beton bei Dauerschwingbeanspruchung ist bisher noch nicht gelungen.