

Beitrag zum Bruchmechanismus von auf Druck beanspruchtem Beton

Prof. Dr. - Ing. G. Wischers und Dr. - Ing. M. Lusche
in Düsseldorf

Fracture-mechanism of concrete under uniaxial compression

Summary

Concrete with a dense structure is a two-phase material made up of the two components aggregate and hardened cement paste in which the aggregate particles are embedded in a matrix of cement paste. Aggregate and cement paste generally have different elastic properties. Consequently, a concrete under uniform external load shows an irregular distribution of stress in the cross-section that for normal concrete and lightweight concrete has characteristic differences. In the concrete under load the development of zones takes place in which compressive stresses prevail and that of zones where considerable tensile stresses occur. These tensile stresses cause micro-cracks, they are thus the starting-point for the fracture of the concrete. The extent and the distribution of the stress and their dependence on the composition of the concrete were tested by means of measurements on models. Deformation measurements on concrete surfaces confirmed the findings. From these results a fracture hypothesis was developed, applicable to both normal concrete and lightweight concrete. This fracture hypothesis allows conclusions to be drawn for the requirements necessary for the composition of highstrength normal and lightweight concrete.

Allgemein versteht man heute unter Beton ein Zweistoffsystem, bei dem in eine Matrix aus einem gleichmäßigen, festen Stoff ein zweiter Stoff in gekörnter Form (der Zu-

schlag) eingeführt ist. Für die Eigenschaften des Verbundstoffs sind die Eigenschaften der Matrix und des Zuschlags, die volumenmäßigen Anteile von Matrix und Zuschlag sowie die Wechselwirkung zwischen Matrix und Zuschlag in unterschiedlichem Maße bestimmend. Bei zementgebundenem Beton mit geschlossenem Gefüge besteht die Matrix aus Zementstein bzw. Zementmörtel. Als Zuschlag finden für Normalbeton im allgemeinen dichte, natürlich gekörnte oder gebrochene Naturgesteine (Sand, Kies, Splitt, Schotter) und für Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge porige, meist künstlich hergestellte, anorganische Stoffe (Blähton, Blähschiefer, Hüttenbims) Verwendung.

In der Vergangenheit wurden vor allem die Eigenschaften der Ausgangsstoffe sowie die verschiedenen Parameter der Betonzusammensetzung als Einflußgrößen auf die Druckfestigkeit des Betons untersucht. Bei Normalbeton bis zu etwa 500 kp/cm^2 Festigkeit haben sich dabei der Wasserzementwert und die Zementfestigkeit als dominierend herausgestellt. Bei höheren Festigkeiten gewinnen weitere Einflußgrößen, wie z. B. die Betonstruktur, zunehmend an Bedeutung. Das gilt auch für Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge, dessen Zuschlagkörner weniger fest sind als die Matrix. Unsere Untersuchungen betrafen den Einfluß der Betonstruktur auf die Gefügespannungen durch einachsige Druckbeanspruchung. Hieraus wurde eine Hypothese für das Tragverhalten und den Bruch abgeleitet.

Aus meßtechnischen Gründen wurde die Spannungsverteilung infolge Druckbeanspruchung überwiegend an zweidimensionalen Betonmodellen ermittelt, die aus einer einheitlichen Matrix bestanden, in die dann beim Normalbeton als Zuschlagkörner Einschlüsse mit höherem E-Modul und beim Leichtbeton solche mit niedrigem eingebettet wurden. Bei den spannungsoptischen Modellen wurde als Matrix optisch aktiver Kunststoff verwendet; bei den elektrischen Model-

len bestand die Matrix aus einer Flüssigkeit mit definierter Leitfähigkeit bzw. aus elektrisch leitfähigem Papier, in die Einschlüsse anderer Leitfähigkeit eingetaucht bzw. abgegrenzt wurden. Die Meßergebnisse an den Modellbetonen wurden mit Verformungsmessungen an der Oberfläche druckbeanspruchter (realer) Betone sowie mit dem Riß- und Bruchbild von auf Druckfestigkeit geprüften Betonproben verglichen.

Durch spannungsoptische Untersuchungen erhält man Isochromaten und Isoklinen, aus denen sich die Hauptspannungslinien konstruieren lassen, die den Verlauf der Druckspannungen im Modell wiedergeben. Bild 1 zeigt die Hauptspannungslinien an einem Normalbetonmodell (links) und einem Leichtbetonmodell (rechts), die in Richtung der eingetragenen Pfeile von außen gleichmäßig auf Druck beansprucht sind. Im Normalbeton verlaufen die Hauptspannungslinien nicht parallel zur äußeren Druckkraft, wie das in einem homogenen Körper der Fall wäre, sondern konzentriert von Zuschlagkorn zu Zuschlagkorn, als ob sie quasi durch die weniger verformbaren Zuschläge angezogen würden. Demgegenüber konzentrieren sich die Hauptspannungslinien und damit die Druckspannungen im Leichtbeton vorwiegend in der Matrix, d. h. sie weichen den leicht verformbaren Zuschlägen aus.

Trotz gleichmäßiger Druckbeanspruchung von außen treten im Innern des Betons Bereiche unterschiedlicher Spannungskonzentration auf. Durch hier nicht wiedergegebene Untersuchungen wurde im Einklang mit theoretischen Betrachtungen sogar festgestellt, daß dabei nicht nur unterschiedlich große Druckspannungen, sondern auch Bereiche mit erheblicher Zugspannung um die Zuschlagkörner entstehen. Bild 2 zeigt die Verteilung der Spannungen, wie sie sich aufgrund der verschiedenen großen Verformbar-

keit der Zuschläge sowie der Querverformung bei stärkerer Belastung im Normalbeton (links) und im Leichtbeton (rechts) ergeben. Große Zugspannungen (+) senkrecht zur äußeren Druckbeanspruchung entstehen im Normalbeton in der seitlichen Haftzone zwischen Zuschlagkorn und Matrix. Im Leichtbeton stellen sich erhebliche Zugspannungen (+) senkrecht zur äußeren Druckbeanspruchung in der Matrix unmittelbar oberhalb und unterhalb der Leichtzuschlagkörner ein.

Bereits bei 10 bis 30 % der Maximalbelastung treten im Normalbeton in der Haftzone seitlich der Zuschlagkörner Mikrorisse auf, die sich bei weiterer Belastung in der Matrix fortsetzen, Bild 3, links. Erst bei einem wesentlich höheren Prozentsatz der Maximalbelastung entstehen im Leichtbeton in der Matrix oberhalb und unterhalb der Leichtzuschlagkörner Mikrorisse, die sich häufig durch die wenig festen Körner hindurch fortsetzen, Bild 3, rechts. Dadurch wird schließlich der Normal- und der Leichtbeton von einer Vielzahl annähernd paralleler Risse durchzogen, die ihn in ein Bündel von noch tragfähigen Stäben ohne Querverbund zerlegen. Der Bruch entsteht durch ein Ausknicken oder Abscheren dieser Stabbündel.

Normalbeton

Leichtbeton

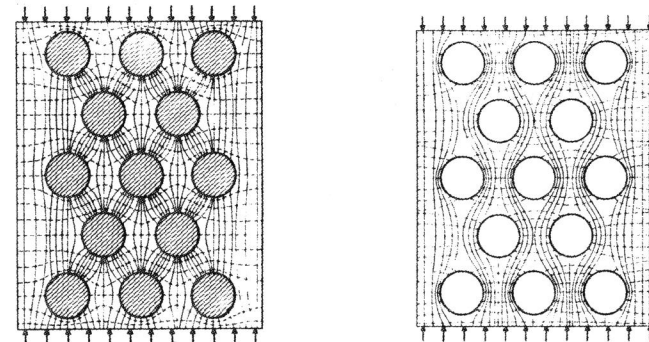


Bild 1: Hauptspannungslinien bei Druckbeanspruchung

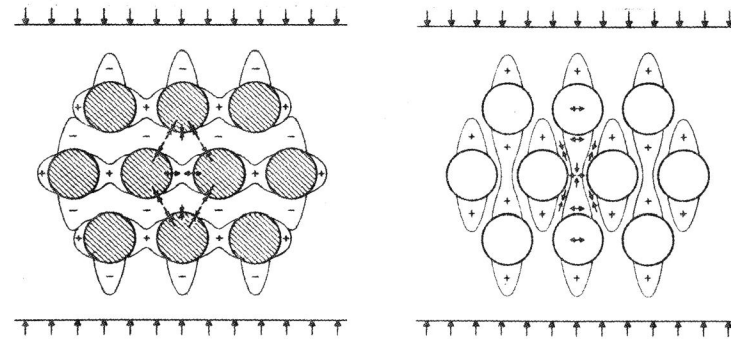


Bild 2: Spannungsverteilung zwischen dem Zuschlag

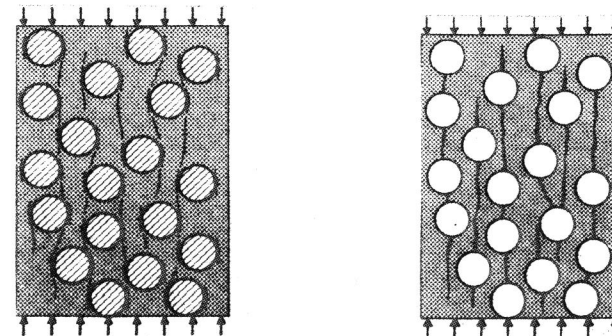


Bild 3: Ausbreitung der Mikrorisse