

Fritz-Leonhardt-Kolloquium 1984

15. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

Gallus Rehm, Jörg Schlaich, Kurt Schäfer und Rolf Eligehausen*)

Das 15. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton fand am 5. und 6. April 1984 an der Universität Stuttgart statt. Dort wurde über Arbeiten des Instituts für Massivbau, des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, der FMPA Baden-Württemberg (Otto-Graf-Institut) und des Instituts für Modellstatik berichtet. Schwerpunkte der Forschung in Stuttgart liegen auf dem Gebiet des Bemessens und Konstruierens mit Stabwerkmodellen, der Traglastverfahren, der Befestigungstechnik, neuer Werkstoffe wie Glasfaserbeton, Ferrocement und Glasfaserstäbe sowie der Ribbildung und der Korrosion.

The 15th Research Symposium of the German Committee for Reinforced Concrete (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) was held at the University of Stuttgart on 5th and 6th April 1984. It reviewed and reported on the activities of the Institute for Concrete Structures, the Institute for Construction Materials, the Otto Graf Institute and the Institute for Model Analysis of Structures. Research at Stuttgart is focused more particularly on design and analysis with the aid of strut models, the load factor (ultimate load) design method, fastening technique, new materials such as glass-fibre-reinforced concrete, ferro-cement and glass-fibre rods, on problems of cracking and corrosion.

Das 15. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton war Fritz Leonhardt anlässlich seines 75. Geburtstages gewidmet. Damit wollten seine Nachfolger und Kollegen daran erinnern, was er für die Universität Stuttgart als ihr ehemaliger Rektor und für den deutschen und internationalen Massivbau getan hat, als Fachschriftsteller, als Forscher, als Lehrer und vor allem als der überaus kreative, praktizierende Ingenieur.

Auf dem von etwa 300 Bauingenieuren besuchten Kolloquium wurde eine Reihe von Forschungsarbeiten des Instituts für Massivbau, des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, der FMPA Baden-Württemberg (Otto-Graf-Institut) und des Instituts für Modellstatik in kurzen Vorträgen vorgestellt und erörtert. Nachfolgend wird eine nochmals stark geraffte Fassung dieser Vorträge wiedergegeben. Dabei müssen aus Platzgründen einige Beiträge [26 bis 30] übergangen werden. Wer sich für einzelne Arbeiten näher interessiert, möge bei den genannten Instituten die Kurzfassung der Beiträge [1] oder die ausführlichen Forschungsberichte anfordern.

Die Verfasser danken ihren Mitarbeitern, den Förderern und den Betreuern der Forschungsarbeiten.

Die Rolle der Betonzugfestigkeit bei der Bemessung¹⁾

Die häufig vertretene Auffassung, die Betonzugfestigkeit dürfe nicht zur Lastabtragung herangezogen werden, ist nicht haltbar. In Wirklichkeit ist die Betonzugfestigkeit in praktisch allen Stahlbetonbauteilen für das Gleichgewicht erforderlich. Wichtige Beispiele hierfür sind die Verbundwirkung zwischen Stahl und Beton, Einschnürungszonen von Druckfeldern, unbewehrte Fundamente, Platten ohne Bügelbewehrung und die Tragwirkung in Detailbereichen.

Bei allen genannten Beispielen ist der Verlauf der Zugspannungen nicht konstant; er hat mehr oder minder ausgeprägte Spannungsgradienten. In Anlehnung an bruchmechanische Konzep-

tionen, nach denen die Tragfähigkeit von Bauteilen aus der Energiebilanz im maßgebenden Bereich und nicht aus einem diskreten Spannungspunkt ermittelt wird, kann ein Bruchkriterium entwickelt werden, nach welchem Versagen dann eintritt, wenn die gemittelten Zugspannungen in der „Repräsentativen Volumeneinheit“ V_{RVE} des Bauteils die mittige Betonzugfestigkeit β_{bz} überschreiten. Die Ausdehnung der RVE, durch die die Intensität der Mikrostützwirkung quantifiziert wird, wird bei hinreichender Bauteilabmessung maßgeblich vom Größtkorn beeinflusst.

Die in Bild 1 zusammengefaßten zahlreichen Versuchsergebnisse lassen eine unterlinear zunehmende Abhängigkeit zwischen der Kantenlänge der RVE und dem Größtkorndurchmesser erkennen. Die große Kerbempfindlichkeit von Zementstein und Mörtel mit einem Größtkorndurchmesser $\max D_k \rightarrow 0$ kommt in den zwar geringen, jedoch von Null verschiedenen Werten für die Kantenlänge der RVE zum Ausdruck.

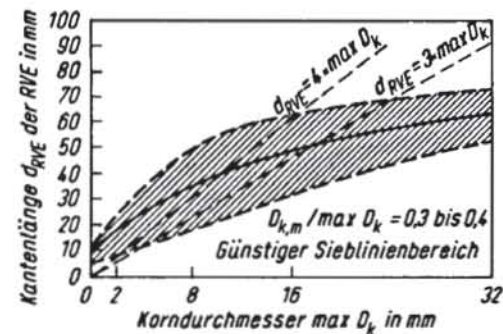


Bild 1. Aus Versuchen ermittelter Zusammenhang zwischen Größtkorn und Kantenlänge der RVE [7]

Die Bedeutung von anderen Parametern ist in [7] untersucht. Dort sind zahlreiche Beispiele für die Anwendung in der Konstruktionspraxis dargestellt. Damit kann auch die Tragfähigkeit von eingeschnürten Druckspannungsfeldern bestimmt werden, welche für die konsistente Bemessung im Stahlbetonbau wichtig sind [2, 3].

H.-G. Reinke, Institut für Massivbau

Einheitliche Berechnung der Verformungen und Risse aus Last und Zwang mit einfachen Modellen

Ausgehend von einem einfachen Kräftemodell (Bild 2a) mit einem vereinfachten Stoffgesetz des Betons wird das Verbundver-

*) Professor Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. Gallus Rehm, Institut für Werkstoffe im Bauwesen; Professor Dr.-Ing. Jörg Schlaich, Institut für Massivbau; Professor Dr.-Ing. Kurt Schäfer, Institut für Massivbau; Professor Dr.-Ing. Rolf Eligehausen, Institut für Werkstoffe im Bauwesen; alle Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 4 (Werkstoffe) bzw. Pfaffenwaldring 7 (Massivbau), 7000 Stuttgart 80.

¹⁾ Gefördert vom Minister für Landes- und Stadtentwicklung des Landes Nordrhein-Westfalen.

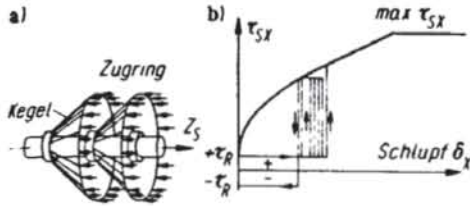


Bild 2. a) Verbundmodell bestehend aus Kegel und Zugring;
b) analytisch abgeleitetes Verbundgesetz für beliebige Stabprofilierung

halten zwischen Betonstahl und Beton für beliebige Stabprofilierungen analytisch bestimmt. Dieses analytisch abgeleitete Verbundgesetz (Bild 2b) bildet die Grundlage für die Ermittlung der Dehnungsverläufe im Stahl und im Beton zwischen den Rissen.

Um die Verformung und Rißbreite im gesamten Beanspruchungsbereich ermitteln zu können, muß der mit wachsender Beanspruchung sich verändernde Rißabstand bestimmt werden. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Streuung der Betonzugfestigkeit auf vereinfachtem wahrscheinlichkeitstheoretischem Weg. Aus den Dehnungsverläufen zwischen den Rissen und den mittleren Rißabständen werden mit Hilfe eines Rechenprogramms die mittleren Dehnungen und die mittleren Rißbreiten eines beliebig bewehrten Stabes für Last- und Zwangbeanspruchung ermittelt und in Diagrammen dargestellt [2]. Es werden beliebige Stabprofilierungen berücksichtigt, so daß Bewehrungen aus gerippten oder profilierten Stäben wie auch gemischte Bewehrungen aus Spann- und Schlaufstählen unterschiedlicher Verbundgüte mit diesem allgemein gültigen Konzept berücksichtigt werden können. Es ist auch gelungen, Verformungen und Risse bei Last- und Zwangbeanspruchung nach einheitlichen Grundlagen zu ermitteln [8].

H. Schober, Institut für Massivbau

Versuche mit Glasfaserbeton²⁾

Stahlbetonbauteile können wegen der erforderlichen Betondeckung der Bewehrung in der Regel nicht dünner als 6 bis 8 cm sein. Glasfaserbeton, ein Werkstoff aus einer Beton- oder Mörtelmatrix und Glasfasern, kann diese Einschränkung überwinden und zu einem Verbundwerkstoff führen, der eine gesicherte Zugfestigkeit hat.

Der Anwendung normaler A- oder E-Glasfasern in einer Matrix, die Portlandzement enthält, stand der rasche Festigkeitsverlust dieser Fasern durch den Alkaliangriff entgegen. Heute werden erheblich beständigere Glasfasern für die technische Anwendung aus England kommend weltweit unter dem Namen CemFil-Glas vertrieben. Der Einfluß des Alkaliangriffs auf diese Fasern wurde anhand eigener Versuche und einer umfassenden Literaturauswertung in [9, 10] aufgezeigt.

Im Gegensatz zu einer üblichen Stahlbewehrung haben die Glasfasern infolge ihrer sehr großen für den Verbund zur Verfügung stehenden Oberfläche einen sehr günstigen Einfluß auf das Mikrorißwachstum im Zementstein. Der Widerstand gegenüber einer Rißerweiterung wird durch die die Rißwurzel überbrückenden Fasern (Bild 3) bis um das 20fache erhöht. Die analytische Ableitung dieses Rißwiderstands erfolgte in [11] mit den Mitteln der nichtlinearen Bruchmechanik unter Berücksichtigung eines stabilen Rißwachstums.

Durch die Zugabe von Glasfasern kann die Tragfähigkeit auf Zug allerdings nicht im gleichen Maße sinnvoll gesteigert werden wie durch das Einlegen von Stabstahl. Der Gedanke einer „hy-

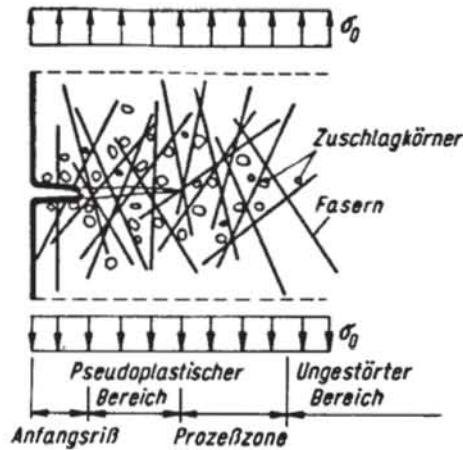


Bild 3. Der Rißwiderstand wird durch die Fasern innerhalb des pseudoplastischen Bereiches erheblich erhöht.

briden Anwendung“ von Glasfaserbeton, d. h. in Kombination mit Stahlbeton oder Stabstahl liegt daher nahe. Es wird hierbei an das Einlegen von Stabstahlbewehrung in Faserbetonbauteile an Stellen mit Zugkraftkonzentration, aber auch an die Herstellung von Stahlbeton in verlorener Schalung aus Faserbeton gedacht. Hierzu wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt [9]. Diese hybride Anwendung führt zu so feinen und gleichmäßigen Rißbildern, wie sie bisher für Stahlbetonbauteile unbekannt waren.

Mit dem Bau einer großen Betonschale von 31 m Durchmesser und einer mittleren Schalendicke von 1,5 cm konnten die Herstellungstechnologie und das Verhalten von Glasfaserbeton in natürlichem Klima untersucht werden [10].

W. Menz, Institut für Massivbau

Versuche mit Ferrozement und Ferrozement-Schalungskörpern³⁾

Die umfangreichen Versuche über Ferrozement haben dessen Verwendung als verlorene Schalung zum Ziel. Diese wirkt als Hautbewehrung für den Normalbeton und kann auch die aufwendige Bügelbewehrung im Balken ersetzen. Zunächst wurde

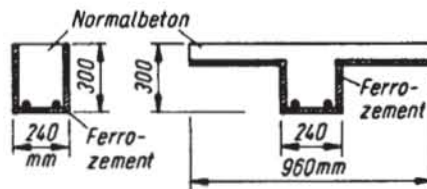


Bild 4. Ferrozement als verlorene Schalung und Hautbewehrung

die Auswahl geeigneter Baustoffe und Herstellverfahren für solche Schalungselemente untersucht, sodann die mechanischen Eigenschaften des Ferrozements (unter Druck-, Zug- und Biegebeanspruchung) bei unterschiedlichen Bewehrungen und schließlich sein Zusammenwirken mit Normalbeton in Verbundversuchen, in Sandwich-Zugstäben und in Balken (Bild 4) [5].

H. Dieterle, FMPA Baden-Württemberg

Pneumatische Schalungen für Schalen⁴⁾

Im Schalenbau wird werkstoffgerechtes Bauen mit Beton in reiner Form praktiziert. Um so mehr ist zu bedauern, daß Schalen immer seltener gebaut werden. Der Grund sind die teuren Schalungen, die beim heutigen Verhältnis von Lohn- zu Stoffkosten

²⁾ Gefördert von: Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg; Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen, Stuttgart; Pilkington Brothers Ltd. England, und Heidelberger Zement AG; Deutsche Forschungsgemeinschaft.

³⁾ Gefördert im Rahmen eines deutsch-israelischen Bauforschungsprogramms und vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.

⁴⁾ Gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 64.



Bild 5. Pneumatische Schalung für eine Stahlbetonschale

die Schalen unerschwinglich machen. Deshalb wird versucht, zeitgemäße Fertigungstechniken zu entwickeln und die ihnen zugehörigen Schalenformen zu finden. Eine Möglichkeit sind die pneumatischen Schalungen. Es sind durch Innendruck gestützte, textilbewehrte Kunststoffhäute, auf denen bewehrt und betoniert wird und die man nach dem Erhärten des Betons wiederverwenden oder als Dachhaut auflegen kann. Der Innendruck und ein geeigneter Zuschnitt bilden „von alleine“ Formen, die in der Schale den idealen Membranspannungszustand sicherstellen. Im Beispiel (Bild 5) ist die Schalungshaut mit aufgelegten Seilen gegenüber der reinen Kuppel so strukturiert, daß nicht nur die Gestalt lebendiger wird, sondern wegen der so erhöhten Krümmungen und Rippen das Beulen verhindert und die Innenraumakustik verbessert wird [6].

W. Sobek, Institut für Massivbau

Turmartige Bauwerke

Bei turmartigen Bauwerken beeinflusst die Mitwirkung des Betons auf Zug im gerissenen Zustand die Schnittkräfte aus der Theorie II. Ordnung und damit auch die Standsicherheit. Mit Versuchen⁵⁾ an fünf Stahlbetonröhren von 1,20 m Durchmesser wurden das Momenten-Krümmungs-Verhalten und das Risseverhalten solcher biege- und längskraftbeanspruchter Hohlkästen erforscht (Bild 6) [15]. Es läßt sich – mit einigen Modifikationen – aus dem Verhalten von bewehrten Zugstäben ableiten,

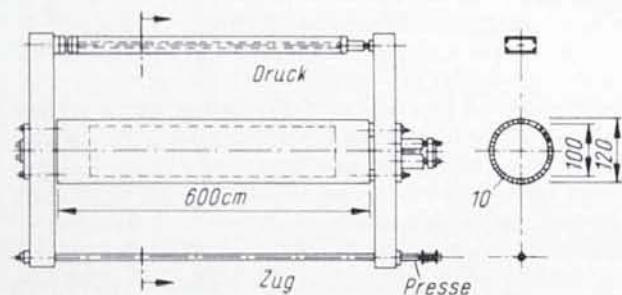


Bild 6. Versuche an Stahlbetonröhren

wenn man die Hohlkästen lamellenartig zerlegt. Auf diesem Modell und auf Verbundgesetzen aufbauend wurde ein wirklichkeitsnahes Berechnungsverfahren für Betontürme entwickelt und programmiert; dabei wurde auch auf viele üblicherweise vernachlässigte Einflüsse eingegangen [16].

H. Schober; H. Meier, Institut für Massivbau

Fugen und Aussteifungen im Hochbau

Viele der heute nach Erfahrung oder Tabellenwerten angeordneten Fugen könnten entfallen oder weiter auseinander liegen, wenn die Wechselwirkung zwischen Tragwerk und Zwangverformungen besser bekannt wäre. Die dafür maßgebenden Parameter und Zusammenhänge wurden an Hand der beiden wichtigsten Fälle (Skelettbauten mit einem bzw. mehreren Kernen) in einer für den entwerfenden Ingenieur anwendbaren Form aufbereitet⁶⁾ [4]. Dazu gehören auch Angaben über repräsentative Ausgangswerte für die anzusetzenden Temperaturen und Verformungen. Zusätzlich wurde die weitverstreute Literatur über die Fugenausbildung, Fugenabstände und Fugenschäden geordnet und ausgewertet.

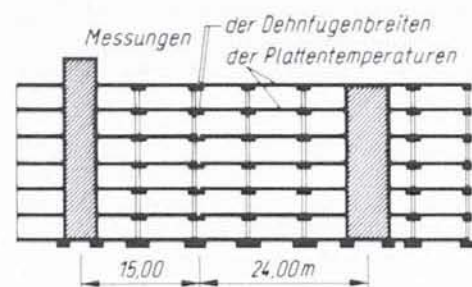


Bild 7. Temperatur- und Verformungsmessungen an einem Hochbau

Zur Kontrolle der Ansätze und theoretischen Ergebnisse wurden außerdem Deckentemperaturen, Deckenlängen und Fugenbewegungen in einem Bauwerk während verschiedener Bauphasen gemessen (Bild 7) sowie parallel dazu die Temperaturen und Dehnungen prismatischer Vergleichskörper, die ähnlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt waren.

B. Hock, Institut für Massivbau

Nach Traglastverfahren bemessene durchlaufende Plattenbalken⁷⁾

Traglastverfahren ermöglichen eine wirklichkeitsnähere Ermittlung der Tragfähigkeit statisch unbestimmter Tragwerke als Berechnungen nach der Elastizitätstheorie [12]; sie sind aber in der Bundesrepublik Deutschland für die Schnittkraftermittlung nicht zugelassen. Mit Hilfe von sechs Versuchsträgern (durchlaufende Plattenbalken) wurde der Einfluß der Bemessung nach Traglastverfahren auf das Tragverhalten, vor allem im Gebrauchszustand, untersucht [13] (Bild 8). Versuchsparameter waren der Momentendeckungsgrad über der Stütze $\eta = M_{\text{Bemessung}}/M_{\text{elastisch}}$, die Größe der rechnerischen Traglast und die Verteilung der Stützbewehrung über die Plattenbreite. Einer von zwei völlig gleichen Balken wurde einer zusätzlichen Zwangbeanspruchung durch Stützensenkungen unterworfen.

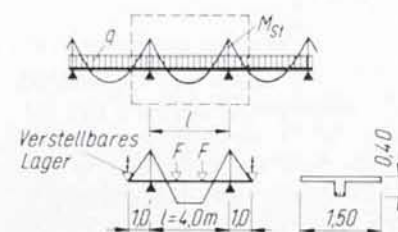


Bild 8. Versuchsträger als Ausschnitt eines Durchlaufträgers

Die Ribmessungen zeigten, daß auch bei großen Bewehrungsumlagerungen ($\eta \approx 0,5$) ein noch befriedigendes Verhalten im Gebrauchszustand erreicht werden kann. Schon unter Gebrauchslast traten erhebliche Momentenumlagerungen auf. Auch die Zwangbeanspruchungen waren schon unter Gebrauchslast er-

⁶⁾ Gefördert vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.

⁷⁾ Gefördert vom Institut für Bautechnik.

⁵⁾ Gefördert vom Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen.

heftlich kleiner als für den Zustand I; sie nahmen mit weiter steigender Last bis zur Bedeutungslosigkeit ab. Alle Träger wiesen so große plastische Rotationsfähigkeiten auf, daß die Versuche bei 1,10- bis 1,19fachen rechnerischen Traglasten vor dem Trägerversagen wegen sehr großer Verformungen abgebrochen werden mußten.

Die Umlagerung der inneren Schnittkräfte wurde auch theoretisch verfolgt; dafür wurde ein sehr einfaches Berechnungsverfahren vorgeschlagen.

E. O. Woideko, Institut für Massivbau

Stützen mit großem Zwang

In Geschoßbauten werden die Stützen durch unterschiedliche Längenänderungen der Decken verbogen. Solche Längenänderungen entstehen z. B. im Brandfall oder durch die Sonneneinstrahlung auf die Dachdecke. Die dabei maßgebenden Parameter wurden in einer theoretischen Arbeit über Fugen und Aussteifungen analysiert [4].

Mit Versuchen an sechs Stützen^{*)} (Bild 9) wurden das Verhalten von längskraftbeanspruchten Stäben mit großem zusätzlichem Biegezwang geprüft und Möglichkeiten zur Erhöhung des Verformungsvermögens durch eine geeignete Verbügelung erkundet. Die Normalkraft N wurde jeweils zu Versuchsbeginn aufgebracht und bis zum Versagen der Stützen infolge einer zusätzlichen, schrittweise gesteigerten Zwangverformung v gleich gehalten.

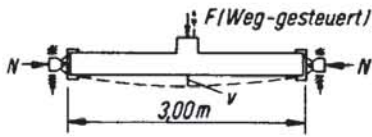


Bild 9. Versuchskörper „Stützen mit großem Zwang“

Die ertragenen Stützendurchbiegungen von 13 bis 113 mm sind wesentlich größer, als sie sich mit den Annahmen der DIN 1045 ergeben, besonders bei enger Verbügelung. Ist Versagen des Betons auf Druck maßgebend, so können Zwangverformungen einen erheblichen Teil der Tragfähigkeit aufzehren – in den Versuchen 35 bzw. 65% der Tragfähigkeit für mittige Längskraft. Bei geeigneter Verbügelung der hochbeanspruchten Stützenbereiche tritt Versagen jedoch erst bei größeren als im üblichen Skelettbau vorkommenden Stützenkopferschiebungen ein.

Das in diesem und im vorhergehenden Beitrag festgestellte Verhalten läßt sich mit den bestehenden Normen weder erklären noch ausnutzen. Man sollte deshalb auch bei uns von der Forderung nach linear-elastischer Schnittkraftermittlung abgehen und nichtlineare Berechnungen alternativ zulassen. Neben anderen Verbesserungen hätte dies vor allem den Vorteil, daß gleiche Stoffgesetze für die Bemessung der Querschnitte und die Berechnung der Schnittgrößen sowohl für Last- und Zwangbeanspruchungen verwendet werden können.

P. Steidle, Institut für Massivbau

Versuche an Stahlbetonschalen für Offshore-Bauten

Das günstige Tragverhalten der Schalen (Bild 10a), die Lasten vorwiegend über Membrankräfte abtragen, wird in den Randbereichen durch hohe Biegemomente und Querkräfte beeinträchtigt, die häufig maßgebend für die Bemessung sind.

Die Bemessung für große Querkräfte bei gleichzeitig wirkenden Biegemomenten und Längsdruckkräften wurde experimentell an Balken untersucht, deren Schnittgrößenverteilungen denen in Randstörbereichen von Schalen ähnlich waren (Bild 10b). Diese Versuchskörper können als aus der Schale herausgetrennte Meri-

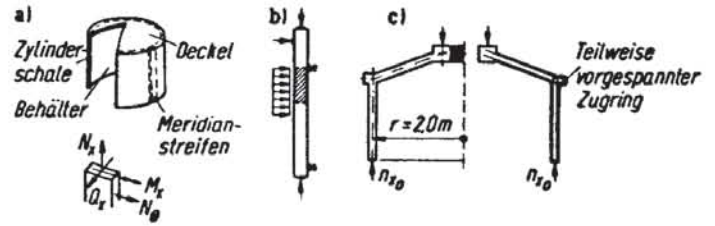


Bild 10. a) Unterwasserbehälter, b) Versuchsbalken, c) Versuchsschale

dianstreifen angesehen werden. Je nach Bewehrungsgrad, Größe der Längsdruckkraft und insbesondere Schnittgrößenverteilung lag die Tragfähigkeit teilweise erheblich über den aus den bekannten Formeln für Bruchschubspannungen von Balken ohne Bügel errechneten Werten, weil diese Formeln nur für Einfeldbalken mit Einzellasten abgeleitet wurden.

Das Zusammenwirken der Meridian- mit der Ringrichtung im Randstörbereich wurde an zwei Stahlbetonzylinderschalen mit rotationssymmetrisch verteilten Momenten, Querkräften und Längsdruckkräften als Belastung am freien, nicht ausgesteiften Rand untersucht. Versuchsparameter für beide Versuchskörper war der Bewehrungsgrad der Meridianbewehrung. Mit einem sehr umfangreichen Meßprogramm wurden die Änderungen der Schnittgrößen nach der Ribildung verfolgt und konnten dann mit den Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie verglichen werden. Beim Bruchversuch wurde das Randmoment M_x konstant unterhalb des Fließmoments gehalten, um keinen Biegebruch herbeizuführen; die Randquerkraft Q_x wurde in Stufen bis zum Bruch gesteigert.

Mit einem Großversuch an einem zusammengesetzten Schalentragerwerk (Bild 10c) sollten Kenntnisse über wirklichkeitsnahe Schnittverteilungen im Zustand II und bis zum Bruch gewonnen werden. Es sollte gezeigt werden, daß ein günstiges Tragverhalten auch dann erreicht wird, wenn die Bemessung sich nicht an den Schnittgrößen der Elastizitätstheorie, sondern an Traglastverfahren orientiert.

K.-H. Reineck, Institut für Massivbau

Mikrobeton zur Untersuchung des Rib- und Bruchverhaltens von Stahlbetontragwerken

Dieser von R. K. Müller, Institut für Modellstatik, gehaltene Vortrag ist auf den Seiten 153 bis 155 abgedruckt.

Mögliche Momentenumlagerungen im Stahlbetonbau unter Berücksichtigung der Stahleigenschaften

Momentenumlagerungen erfordern Rotationsvermögen der hoch beanspruchten Zonen im Tragwerk. Das Rotationsvermögen plastischer Stahlbetongelenke ist jedoch nicht beliebig groß.

Zur Berechnung des Rotationsvermögens plastischer Stahlbetongelenke wurde auf der Grundlage von [17, 18] ein Rechenprogramm erstellt, in dem alle Einflußparameter (u. a. Stoffkennwerte für Beton und Stahl, Verbundeigenschaften, statisches System) wirklichkeitsnah erfaßt werden. Das rechnerisch ermittelte Rotationsvermögen stimmt gut mit den in etwa 50 Versuchen (durchgeführt an verschiedenen Instituten) gemessenen Werten überein.

Die Bilder 11 und 12 zeigen den Einfluß der Stahleigenschaften auf die mögliche Momentenumlagerung. Aufgetragen sind für eine über unendlich viele Felder durchlaufende Platte ohne Schubbewehrung, belastet durch Gleichlast, die erforderlichen und möglichen Rotationen über der Stütze in Abhängigkeit vom Grad der Momentenumlagerung. Die möglichen Rotationen

^{*)} Gefördert vom Deutschen Ausschluß für Stahlbeton.

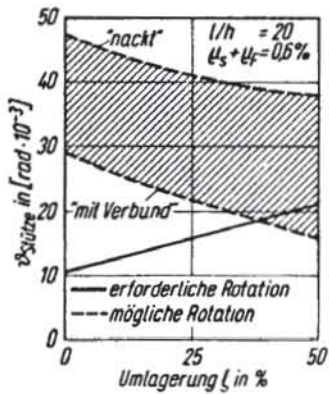


Bild 11. Mögliche und erforderliche Rotation in Abhängigkeit vom Grad der Momentenumlagerung, Stahl A

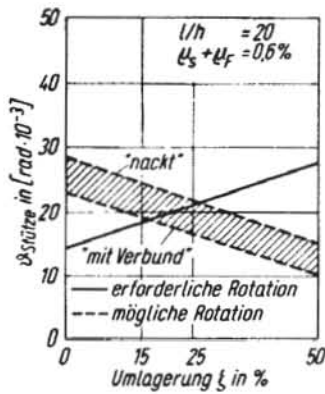


Bild 12. Mögliche und erforderliche Rotation in Abhängigkeit vom Grad der Momentenumlagerung, Stahl B

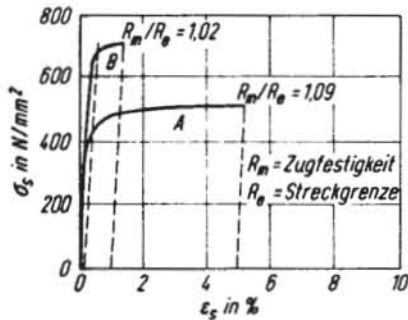


Bild 13. Angenommene Stahlkennlinien für die Untersuchungen nach den Bildern 11 und 12

wurden mit dem o. g. Rechenprogramm ermittelt; dabei berücksichtigt der schraffiert dargestellte Bereich das stark streuende Verbundverhalten oberliegender Bewehrungsstäbe. Die erforderlichen Rotationen wurden in Anlehnung an [19] wirklichkeitsnah berechnet. Die angenommenen Stahlkennlinien für kaltverformten Betonstahl sind Bild 13 zu entnehmen. Die Kennlinie des Stahles A ergibt sich bei normaler, die des Stahles B bei sehr starker Kaltverformung.

Eine bestimmte Momentenumlagerung ist möglich, wenn die erforderliche Rotation kleiner ist als der mögliche Wert. Man erkennt, daß bei Verwendung von Stahl A (Bild 11) Momentenumlagerungen von 40% bis 50% möglich sind. Dagegen sind bei Verwendung von Stahl B (Bild 12) Momentenumlagerungen um über etwa 15% als problematisch anzusehen.

Die Richtigkeit der theoretischen Überlegungen wurde zwischenzeitlich durch zwei durchgeführte Versuche bestätigt.

P. Langer; H. Kreller, Institut für Werkstoffe im Bauwesen

Glasfaserstäbe (HLV) als zukünftige Bewehrung im Spannbetonbau?

Die hohe Zugfestigkeit dünner Glasfasern wird in vielen Bereichen der Technik genutzt. Der Gedanke, kunstharzgebundene Glasfasern auch als Bewehrung im Betonbau zu verwenden, lag deshalb nahe. Wegen ihres vergleichsweise geringen Elastizitätsmoduls sind Glasfaserstäbe in erster Linie als Spannbewehrung geeignet; sie versprechen bei gleich hoher Zugfestigkeit folgende Vorteile gegenüber dem Stahl: bessere Korrosionsbeständigkeit, weniger Spannkraftverlust durch Bauteilverkürzungen und Verankerungsschlupf infolge des geringeren Elastizitätsmoduls, wesentlich geringeres Eigengewicht.

Die als Hochleistungsverbund (HLV)-Elemente bezeichneten Glasfaserstäbe sind unidirektionale Glasfaserverbunde mit einer Verbundmatrix aus ungesättigtem Polyesterharz. Das derzeit verwendete Material erreicht bei kurzzeitiger Beanspruchung Zugfestigkeiten von etwa 1600 N/mm². Sein Elastizitätsmodul liegt bei

51 500 N/mm²; bis in hohe Lastbereiche besteht ein linearer Verlauf der $\sigma - \epsilon$ -Linie. Eine Erhöhung der Belastungsdauer hat erwartungsgemäß ein Absinken der aufnehmbaren Lasten zur Folge. Die Untersuchungen zu diesem Punkt sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

Bei der Einwirkung erhöhter Temperaturen ist erst ab etwa 300 °C mit einer signifikanten Änderung der Stoffeigenschaften (Kurzzeitfestigkeit, Elastizitätsmodul) zu rechnen.

Die bei der Verankerung der HLV-Elemente wegen ihres anisotropen Stoffaufbaus, ihrer unregelmäßigen Oberfläche und ihrer vergleichsweise hohen Querdruckempfindlichkeit vorhandenen Probleme sind insoweit gelöst, daß bei ruhender Belastung die volle Ausnutzung der Werkstofffestigkeit möglich ist. Für die bei Dauerschwingbeanspruchungen auftretenden Probleme zeichnen sich Lösungswege ab.

Im Jahr 1986 soll ein mit HLV-Elementen vorgespanntes größeres Brückenbauwerk erstellt werden.

B. Schlotke; M. Faoro, Institut für Werkstoffe im Bauwesen

(Fortsetzung folgt)

Literatur:

- [1] 15. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Stuttgart, im April 1984. Kurzfassung der Beiträge. Zu beziehen durch Institut für Massivbau und Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart.
- [2] Schlaich, J., und Schäfer, K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. Beton-Kalender 1984, Teil II, S. 787-1005. Berlin: Verlag W. Ernst & Sohn.
- [3] Schlaich, J.: Zum einheitlichen Bemessen von Stahlbetontragwerken. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984), H. 4, S. 89-96.
- [4] Schäfer, K., und Hock, B.: Fugen und Aussteifungen. Forschungsbericht des Instituts für Massivbau, Stuttgart 1983.
- [5] Schäfer, K., und Dieterle, H.: Herstellung, Tragverhalten und Gebrauchsfähigkeit von Ferrozement als Schalung und Bestandteil von Stahlbetonelementen. Mehrere Berichte des Instituts für Massivbau und der FMPA Baden-Württemberg, Stuttgart 1982/83. Zusammenfassende Veröffentlichung als DA/Stb-Heft geplant.
- [6] Schlaich, J.: Haben Betonschalen eine Zukunft? Beton 32 (1982), H. 9, S. 327-332.
- [7] Schlaich, J., und Reinke, H.-G.: Zur Rolle der Betonzugfestigkeit beim Nachweis der Tragfähigkeit von Stahl- und Spannbetonbauteilen. Forschungsbericht, Universität Stuttgart, in Vorbereitung.
- [8] Schober, H.: Ein Modell zur Berechnung des Verbundes und der Risse im Stahl- und Spannbetonbau. Dissertation Universität Stuttgart 1984.
- [9] Menz, W.: Verbundsysteme mit Glasfaserbeton. SFB-Mitteilungen 67 (1984) (Erschient in Kürze).
- [10] Schlaich, J., und Menz, W.: Untersuchungen an Glasfaserbeton im Zusammenhang mit einem Versuchsbau. Forschungsbericht für die Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen. Institut für Massivbau, Universität Stuttgart 1981/82.
- [11] Schlaich, J., und Menz, W.: Ribwiderstand und Ribfortschritt bei Glasfaserbeton. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. G. Rehm. Berlin. Verlag W. Ernst & Sohn 1984.
- [12] Schäfer, K., Schlaich, J., und Weischede, D.: Traglastverfahren im Massivbau. Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen für die praktische Anwendung der Plastizitätstheorie. Tagungsbericht 5 der Landesvereinigung der Prüfungsgemeine für Baustatik Baden-Württemberg e.V., 1980.
- [13] Woidelko, E. O.: Zum Tragverhalten nach Traglastverfahren bemessener Stahlbetonplattenbalken. Dissertation Universität Stuttgart 1983.
- [14] Sautner, M.: Ein Beitrag zur Entwicklung der Mikrobetonstechnik. Berichte des Instituts für Modellstatik der Universität Stuttgart, Heft Nr. 7, 1983.
- [15] Schlaich, J., und Schober, H.: Versuche zur Mitwirkung des Betons in der Zugzone von Stahlbetonröhren. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Im Druck.
- [16] Meier, H.: Berücksichtigung des wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens beim Standsicherheitsnachweis turmartiger Stahlbetontragwerke. Dissertation Universität Stuttgart 1983.
- [17] Dilger, W.: Veränderlichkeit der Biege- und Schubsteifigkeit bei Stahlbetontragwerken und ihr Einfluß auf Schnittkraftverteilung und Traglast bei statisch unbestimmter Lagerung. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. H. 179. Berlin: Verlag W. Ernst & Sohn 1966.
- [18] Bachmann, H.: Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahlbetonbalken. Dissertation Eidgenössische Technische Hochschule Zürich 1967.
- [19] Macchi, G.: Ductility Condition for Simplified Design without Check of Compatibility. CEB-Bulletin D'Information Nr. 105. Paris 1978.
- [20] Rehm, G., Elgehausen, R., und Paul, F.: Verbund von Fugen in Platten ohne Schubbewehrung. Bericht des Lehrstuhls für Werkstoffe im Bauwesen, Jan. 1980.

- [21] *Schmidt, H., und Lehmann, R.*: Stahlprofildecken mit Aufbeton – Bemessung und Feuerwiderstand. Beitrag im Tagungsband zum Statusseminar „Brandverhalten von Stahl- und Stahlverbundkonstruktionen“. Studiengesellschaft für Anwendungstechnik von Eisen und Stahl e.V., 1983.
- [22] *Hillerborg, A., Modéer, M., und Petersson, P. E.*: Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements. *Cement and Concrete Research*, 6 (1976), No. 6.
- [23] *Rehm, G., Frey, R., und Funk, D.*: Auswirkungen von Fehlstellen im Einpreßmörtel auf die Korrosion des Spannstahls. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 353, Berlin: Verlag W. Ernst & Sohn 1984.
- [24] *Nürnberger, U.*: Chloridkorrosion von Stahl in Beton. Grundlegende Zusammenhänge und baupraktische Erfahrungen. *Betonwerk + Fertigteil-Technik* 50 (1984), H. 9, S. 601–612, H. 10, S. 697–704.
- [25] ASTM-Designation A 775-81. Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Bars.
- [26] *Rehm, G., und Elgehausen, R.*: Auswirkungen der modernen Befestigungstechnik auf die konstruktive Gestaltung im Stahlbetonbau. *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, 50 (1984), H. 6, S. 388–392.
- [27] *Schlaich, J., Schäfer, K., und Neuerburg, W.*: Winddruck- und Verformungsmessungen am Funkturm Aufhausen. *Konstruktiver Ingenieurbau, Berichte Heft 35/36*, Ruhr-Universität Bochum 1981.
- [28] *Schlaich, J., und Schäfer, K.*: Zur Druck-Querzug-Festigkeit des Stahlbetons. *Beton- und Stahlbetonbau* 78 (1983), H. 3, S. 73–78.
- [29] *Schlaich, J., und Scheef, H.*: Betonhohlkastenbrücken. *Structural Engineering Documents*, Bd. 1 d (deutsch) bzw. Bd. 1 e (englisch). IVBH, Zürich 1982.
- [30] *Schlaich, J., Schäfer, K., und Hock, B.*: Untersuchungen an Schleuderbetonmasten. Versuchsbericht des Instituts für Massivbau, Stuttgart 1982.