

# 30 Jahre plastische Berechnungsmethoden in der Schweiz: zur Emeritierung von Professor Bruno Türlimann

Autor(en): **Bachmann, Hugo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **108 (1990)**

Heft 23

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77451>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

**Literatur**

- [1] Nowotny, H., Eisikovic, R.: Entstehung, Wahrnehmung und Umgang mit Risiken, Schweizerischer Wissenschaftsrat (Hrsg.), Bern, Januar 1990
- [2] Davies P.: Mehrfachwelten, Entdeckungen der Quantenphysik, Diederichs-Verlag, Düsseldorf/Köln 1981
- [3] Gesellschaft für Reaktorsicherheit. Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B, zusammenfassende Darstellung, GRS-72, Juni 1989
- [4] USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy: The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences. - Working Document for the IEA Experts Post-Accident Review Meeting, Vienna, Part I and II, August 1986

grössere Anteile schwerflüchtiger Nuklide freigesetzt werden» [3]. Aus dieser Aussage schliesst Fuchs, dass gar keine Berechnungen gemacht wurden und damit Vergleiche gar nicht möglich seien. «R. Bühler sollte deshalb nicht behaupten, der sogenannte «Hochdruck-Pfad» könnte zu grösseren Freisetzungen als bei Tschernobyl führen.» Die in der Deutschen Risikostudie für den Hochdruck-Pfad angegebenen Werte sind in Tabelle 1 in der zweiten Spalte aufgeführt. Daraus kann man beurteilen, ob meine Aussage so abwegig ist, wie Fuchs dies darstellt. Dass das *maximal denkbare* Schadensausmass der schweizerischen Leicht-

wasserreaktoren trotz Sicherheitsbehälter ebenso hoch ist wie dasjenige von russischen Reaktoren, ist für Fritzsche eine Selbstverständlichkeit. Weil die berechneten Wahrscheinlichkeiten für ein solches Schadensausmass für Fritzsche sehr klein sind, ist es für ihn unqualifiziert und skrupellos anzunehmen, dass das maximal Denkbare auch Wirklichkeit werden könnte. Für mich gilt dieser Schluss nicht. Erstens habe ich zu wenig Vertrauen in die berechneten Wahrscheinlichkeiten. Zweitens sind sie für mich nicht vernachlässigbar klein. Ob der von Fritzsche gezogene Schluss gemacht werden kann, sollte nach meiner Überzeugung jedermann selbst entscheiden. Dieser Entscheid sollte nicht von den Risikofachleuten vorweggenommen werden.

**Treibhauseffekt und Drittweltproblematik**

Die drohende Klimakatastrophe und die Armut der Dritten Welt wurde in meinem Bericht nicht behandelt. Es sind dringende Probleme, für die wir dringend nach Lösungen suchen müssen. Ich messe aber anderen Lösungen weit höhere Bedeutung zu als dem massiv gesteigerten Ausbau der Kernenergie. Allein eine 25prozentige Reduktion des heutigen Beitrages der Schweiz zum Treibhauseffekt mittels Ersatz von fossilen Energieträgern durch Kernenergie würde den Bau von ungefähr zehn Kernkraftwerken der Grösse

Leibstadt erfordern. Ich würde es begrüßen, wenn verschiedene Szenarien zur Reduktion des Treibhauseffektes und der Armut in der Dritten Welt - mit und ohne Ausbau der Kernenergie - untersucht, miteinander verglichen und die Ergebnisse dann in konkretes Handeln umgesetzt würden.

**Schlussbemerkung**

Mit meinem Beitrag zur Risikodiskussion möchte ich nichts beweisen, z.B. auch nicht, dass die Kernschmelzwahrscheinlichkeit der russischen und der schweizerischen Kernkraftwerke gleich gross sei, wie Fritzsche mir unterstellt. Mein Anliegen ist es zu zeigen, dass es verschiedene Meinungen (Wirklichkeiten) gibt, die nebeneinander Platz haben, auch im Bereich der Kernenergie. Die von unseren Sicherheitsbehörden und Reaktorbetreibern dargestellte Wirklichkeit wollte ich mit meinem Beitrag aus einer anderen Sicht in einigen Punkten ergänzen. Eine Meinung dazu sollte sich jede Leserin und jeder Leser selber bilden können. Ich bin zuversichtlich, dass im «Schweizer Ingenieur und Architekt» die verschiedenen Meinungen zum Risiko der Kernenergie auch in Zukunft nebeneinander Platz haben werden.

Adresse des Verfassers: R. Bühler, dipl. Masch.-Ing. ETH/SIA, Dörfli 5, 8933 Maschwanden.

## 30 Jahre plastische Berechnungsmethoden in der Schweiz

Zur Emeritierung von Professor Bruno Thürlimann

Lieber Bruno,

Am 1. April 1960 hast Du die Professur für Baustatik und Massivbau, wie sie damals noch so schön hiess, hier an der

VON HUGO BACHMANN,  
ZÜRICH

ETH angetreten. Am Tage Deiner Emeritierung, am 31. März 1990, waren es also genau 30 Jahre her. Du kamst aus den USA, von der Lehigh University in Bethlehem, wo Du vorher gewirkt hast. Und Du brachtest die Plastizitätstheorie mit, bei deren Anwendung, vor

allem im Stahlbau, Du selbst bereits massgeblich beteiligt gewesen warst.

Die Plastizitätstheorie brachte komplett Neuartiges in das statisch-konstruktive Denken und Arbeiten der Ingenieure. Sie war gewissermassen eine Offenbarung, eine Befreiung aus elastizitätstheoretischen Fesseln, die vor allem wir damaligen jungen Ingenieure begeistert aufnahmen. Und Du hast Dich seither, in diesen 30 Jahren Deines Wirkens in der Schweiz, für die weitere Entwicklung der Verfahren der Plastizitätstheorie und deren Anwendung in der Praxis als «plastische Berechnungsmethoden» mit grosser

Vortrag, gehalten am Festkolloquium «Plasticity in Structural Engineering» vom 25. März 1990 im Auditorium Maximum der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Schaffenskraft eingesetzt. Einige Stationen dieser «30 Jahre plastische Berechnungsmethoden in der Schweiz» sollen im folgenden aufgezeigt werden, im Sinne eines kurzen historischen Rückblicks.

**Vortrag im November 1960**

Sozusagen das Startereignis war ein Vortrag mit dem Titel «Grundsätzliches zu den plastischen Berechnungsverfahren», den Bruno Thürlimann am 12. November 1960 an einer Tagung der Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau des SIA, des Schweizerischen Inge-

neur- und Architekten-Vereins, hielt. Der Vortrag erschien dann 1961 als Aufsatz in der Schweizerischen Bauzeitung [1]. Darin wurden die grundlegenden Begriffe und Verfahren der «Gleichgewichtsmethode» und der «Mechanismenmethode» eingeführt und an Durchlaufträgern, Rahmen und Platten erläutert. Und es wurden die entscheidenden drei Bedingungen dargestellt, die für eine plastizitätstheoretische Lösung erfüllt sein müssen: 1. Gleichgewicht, 2. Plastizitätsbedingung und 3. Mechanismusbedingung.

Am Montag nach dem Vortrag, ich erinnere mich daran sehr gut, war in dem Ingenieurbüro, in dem ich damals arbeitete, die Produktion an statischen Berechnungen und Konstruktionsskizzen erheblich geringer als üblich. In den viel länger dauernden Kaffeepausen war für einmal nicht der Sport, sondern dieser Vortrag das Hauptthema. Und ich weiss auch noch, dass mein Bürogenosse und ich in der Folge dem Arbeitgeber eine schöne Anzahl sogenannte produktiver Stunden stahlen, weil wir bald einmal über die Berechtigung und die Zweckmässigkeit der plastischen Berechnungsmethoden zu streiten begannen. Ich war rasch ein passionierter «Plastiker» geworden, während mein Kollege, ein Ingenieur mit längerer praktischer Erfahrung, eher skeptisch war. Er warnte vor negativen Auswirkungen auf Phänomene, die wir heute unter dem Begriff der Gebrauchstauglichkeit näher betrachten, wie Rissbreiten und Durchbiegungen. Aus heutiger Sicht waren dies Bedenken, die sozusagen erst letztes Jahr eine gewisse Berechtigung wirklich voll und endgültig verloren haben, als nun in den neuen Konstruktionsnormen des SIA die konsequente Trennung der Nachweise des Tragwiderstandes und der Nachweise der Gebrauchstauglichkeit festgeschrieben wurde. Unsere Meinungen entzündeten sich bereits damals an der Frage, ob bei der Bemessung von Durchlaufträgern aus Stahlbeton im Hochbau nur geringe oder auch grössere Umverteilungen der nach der Elastizitätstheorie ermittelten Momente zulässig seien. Jugendlicher Wagemut argumentierte vor allem mit Gleichgewichtsbedingungen und setzte sich für starke Abminderungen der oberen Bewehrung über Zwischenstützen ein, bis hin zu deren Weglassen bei kleineren Deckenfeldern; die Vorsicht des Älteren aber war dagegen. Schliesslich musste sich unser Bürochef einschalten; das war Jürgen Kammenhuber, der nachmalige Professor für Baustatik in Aachen. Er verfügte eine Begrenzung der Umverteilungen auf vorläufig ein Viertel des abzumindernden Momentes...

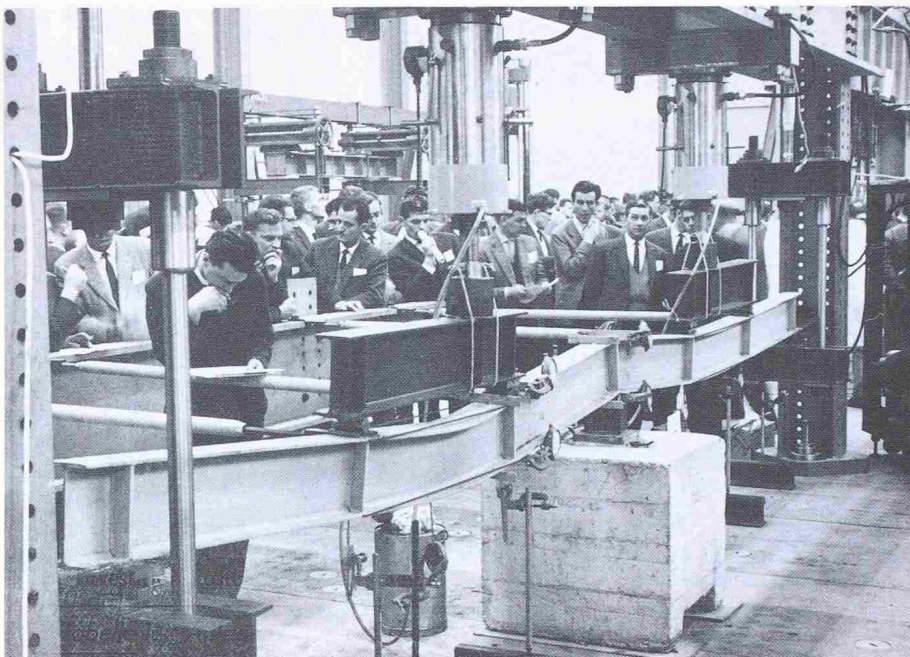


Bild 1. Zweifeldriger Stahlträger mit plastischen Gelenken über der Zwischenstütze und in den Feldern

### Streit mit Professor Stüssi

In diese bereits von einer Aufbruchstimmung geprägte Atmosphäre platzte dann im Januar 1962 der in der Schweizerischen Bauzeitung publizierte Aufsatz von Professor Fritz Stüssi mit dem lapidaren Titel «Gegen das Traglastverfahren» [2]. Stüssi fuhr darin mit schwerem Geschütz auf. Er wurde auch sehr persönlich, und Susi Thürlimann gestand mir einige Zeit später, dass diese Auseinandersetzung Bruno schwer belastet und fast gar an den Rand des Aufgebens seiner Professur geführt habe. In seinem Aufsatz gab

Stüssi zwar zu, dass die Elastizitätstheorie den Tragwiderstand eines statisch unbestimmten Tragwerks in manchen Fällen erheblich unterschätzt und somit einen ungenutzten Sicherheitsüberschuss liefert. Diesen bezeichnete er mit «Schlauheit des Materials». Dann aber stellte er fest, dass diese Schlauheit nicht ausreichte, um das Ungenügen des Traglastverfahrens zu kompensieren. Und am Schluss kam die grosse Polemik. Es hiess dort: «Sollte jedoch die Befürwortung des Traglastverfahrens als Entgegenkommen an jene Leute gedacht sein, die die normalen und bei normaler Begabung erlernbaren Methoden zur Berechnung statisch unbe-

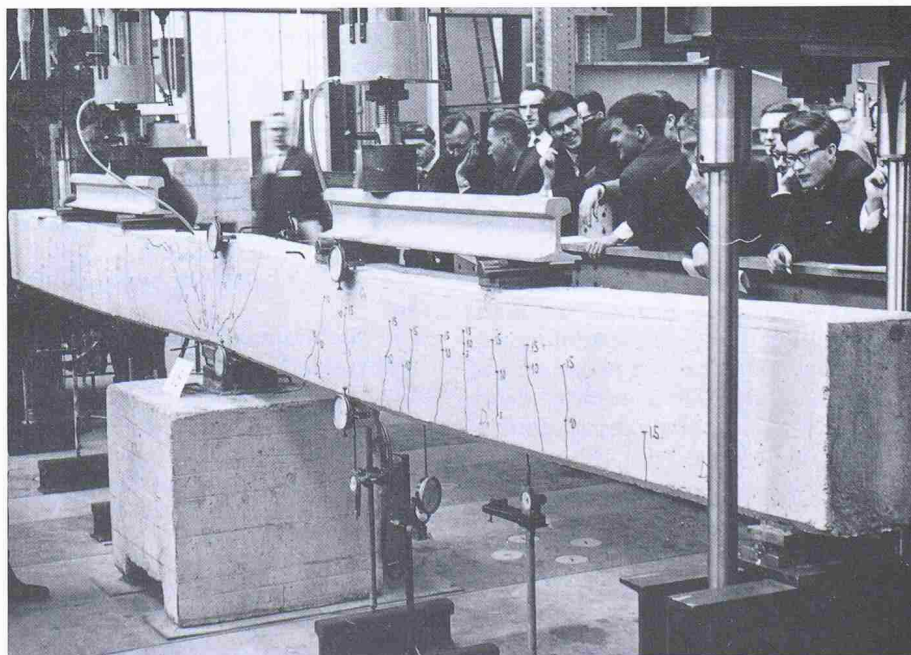


Bild 2. Zweifeldriger Stahlbetonträger mit plastischen Gelenken über der Zwischenstütze und in den Feldern

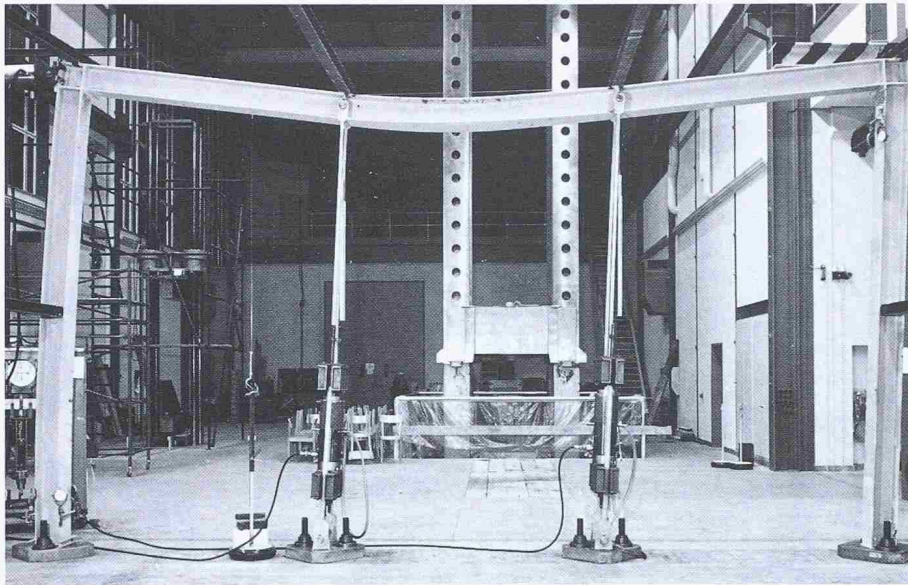


Bild 3. Stahlrahmen mit horizontalen und vertikalen Lasten

stimmter Tragwerke nicht beherrschen, so müsste die Einführung einer solchen «Baustatik für Schwachbegabte» erst recht abgelehnt werden.»\*)

Bruno Thürlimann liess sich aber nicht entmutigen. In der Schweizerischen Bauzeitung folgte zwar noch eine Richtigstellung [3], eine Erwiderung [4] und ein Schlusswort der Redaktion zum Aufsatz «Gegen das Traglastverfahren» [5]. Auch erschien 1963 beim Schweizerischen Stahlbauverband eine weitere Kampfschrift Stüssis mit dem Titel «Fehler und Mängel des Traglastverfahrens». Bald aber ging Bruno daran, die Praxis mit der Plastizitätstheorie bekannt zu machen.

### Plastizitätskurs 1963

Im März 1963 fand der Fortbildungskurs «Plastische Berechnungsmethoden» für Bau- und Maschineningenieure statt, an dem der unvergessliche Professor Hans Ziegler ebenfalls massgeblich beteiligt war. Dieser Kurs war ein historisches Ereignis; er setzte einen Markstein in der Geschichte des Schweizerischen Bauingenieurwesens und weit darüber hinaus. Es wurden hier fundamentale Begriffe definiert wie «statisch zulässiger Spannungszustand» und «kinematisch zulässiger Bewegungszustand». Diese gehörten denn bald auch zum unabdingbaren Instrumentarium des statisch-konstruktiven

\*) Anmerkung des Verfassers: Die vehemente Ablehnung der Plastizitätstheorie durch Fritz Stüssi entbehrt nicht einer gewissen Tragik, hat er doch an anderen Stellen seines insgesamt sehr fruchtbaren Wirkens selbst Ansätze postuliert, die heute der Plastizitätstheorie zugerechnet werden.

Hochschulunterrichtes. Und es wurden die Grenzwertsätze der Plastizitätstheorie eingeführt: Der «statische Grenzwertsatz» oder «Gleichgewichtssatz», der zu einem unteren sicheren Grenzwert der Traglast führt, und der «kinematische Grenzwertsatz» oder «Mechanismussatz», der einen oberen und deshalb auf der unsicheren Seite liegenden Wert der Traglast liefert. Und die zugehörigen Methoden wurden den praktischen Ingenieuren didaktisch geschickt vermittelt: Die statische Methode und die Mechanismusemethode, und zwar für Stabtragwerke und für Platten. Verschiedene Fließbedingungen wurden bereits fundiert diskutiert. Und zu all dem wurden auch instruktive Kolloquien und Übungen abgehalten.

Was aber diesem Kurs sozusagen die Krone aufsetzte, waren die hervorragenden, an der Empa in Dübendorf durchgeführten Versuche, mit denen das theoretisch Dozierte veranschaulicht wurde. Die (hier abgedruckten) Bilder zeigen einige Fotos von diesen Versuchen:

- Ein 2feldriger Stahlträger mit plastischen Gelenken über der Zwischenstütze und in den Feldern
- Ein ähnlich belasteter Stahlbetonträger
- Ein Stahlrahmen mit horizontalen und vertikalen Lasten
- Eine vierpunkt-gelagerte Stahlbetonplatte, bei der sich auf der hier sichtbaren Unterseite die Gelenklinien nach der Mechanismusemethode leicht verschmiert ausgebildet haben.

### Intensive Forschung

Im erwähnten Vortrag von 1960 hatte Bruno Thürlimann noch feststellen müssen, dass auf dem Gebiete des

### Dissertationen zur Anwendung der Plastizitätstheorie auf Stahlbetontragwerke

*Wolfensberger R.:*

Traglast und optimale Bemessung von Platten (1964)

*Bachmann H.:*

Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahlbetonbalken (1967)

*Lampert P.:*

Bruchwiderstand von Stahlbetonbalken unter Torsion und Biegung (1970)

*Knöpfel H.:*

Berechnung starr-plastischer Platten mittels finiter Elemente (1973)

*Grob J.:*

Plastische Traglast von Stäben mit dünnwandigen, offenen Querschnitten (1975)

*Lüchinger P.:*

Bruchwiderstand von Kastenträgern aus Stahlbeton unter Torsion, Biegung und Querkraft (1977)

*Müller P.:*

Plastische Berechnung von Stahlbetonscheiben und -balken (1977)

*Zimmerli B.:*

Tragwiderstand von Hochhäusern (1980)

*Marti P.:*

Zur plastischen Berechnung von Stahlbeton (1980)

*Pralong J.:*

Poinçonnement symétrique des planchers-dalles (1982)

*Brändli W.:*

Durchstanzen von Flachdecken bei Rand- und Eckstützen (1984)

*Frey R.:*

Ermüdung von Stahlbetonbalken unter Biegung und Querkraft (1984)

*Kanellopoulos A.:*

Zum unelastischen Verhalten und Bruch von Stahlbeton (1986)

*Maier J.E.:*

Tragfähigkeit von Stahlbetonscheiben (1988)

*Muttoni A.:*

Die Anwendbarkeit der Plastizitätstheorie in der Bemessung von Stahlbeton (1989)

### Literatur

- [1] Thürlimann, B.: Grundsätzliches zu den plastischen Berechnungsverfahren. Schweizerische Bauzeitung, Heft 48/1961, Heft 49/1961
- [2] Stüssi, F.: Gegen das Traglastverfahren. Schweizerische Bauzeitung, Heft 4/1962
- [3] Thürlimann, B.: Richtigstellungen zum Aufsatz «Gegen das Traglastverfahren». Schweizerische Bauzeitung, Heft 8/1962
- [4] Stüssi, F.: Zum Traglastverfahren, eine Erwiderung. Schweizerische Bauzeitung, Heft 8/1962
- [5] Schlusswort der Redaktion zum Aufsatz «Gegen das Traglastverfahren». Schweizerische Bauzeitung, Heft 8/1962

Stahlbetonbaus noch keine systematischen Versuche über die Anwendbarkeit der plastischen Berechnungsmethoden vorlägen. Ein erster Grossversuch konnte zwar im Sommer 1960 beim Abbruch der Brücke Opfikon durchgeführt werden. Es stellte sich genau der vorhergesagte Mechanismus ein, und bei der Beendigung des Versuches war die theoretische Traglast um 3% überschritten. Doch dann begann Bruno Thürlimann eine bis heute fortgesetzte Reihe von Projekten zur systematischen Erforschung der Anwendbarkeit der Plastizitätstheorie auf Stahlbetontragwerke. Zwischen 1962 und 1989 entstanden zahlreiche Dissertationen zu diesem Generalthema (siehe Kasten).

In einer ersten Arbeit aus dem Jahre 1964 wurden die korrekten Plastizitätsbedingungen für Platten hergeleitet. Diese sind nun ja auch in die neue, letztes Jahr in Kraft getretene Betonnorm SIA 162 aufgenommen worden. Dann wurden die plastischen Gelenke von Stahlbetonbalken näher erforscht, und hier insbesondere der Einfluss der Querkraft auf die Ausbildung und die Rotationsfähigkeit der Gelenke. Dies führte zu den Begriffen und Modellen «Biegerissgelenk» und «Schubrissgelenk».

Ein nächster Schritt war die Anwendung der Plastizitätstheorie zur Bemessung von Hohlkastenquerschnitten unter kombinierter Beanspruchung durch Torsion und Biegung. Ausgedehnte Versuche führten auf das räumliche Fachwerkmodell mit variabler Diagonalenneigung.

Ein ähnlicher Ansatz wurde dann auf Stäbe mit dünnwandigen offenen Querschnitten angewendet. Auch hier konnte die Dualität zwischen der statischen und der kinematischen Methode eindrücklich demonstriert werden. Maximums- und Minimumsaufgabe führen zum selben Ergebnis.

In einer Arbeit aus dem Jahre 1977 wurde die Anwendung der Grenzwertsätze auf Träger mit Hohlkastenquerschnitt unter kombinierter Beanspruchung durch Torsion, Biegung und Querkraft erweitert. Im gleichen Jahr wurde auch eine Disseration abgeschlossen, in der die Fliessfiguren von Stahlbetonscheiben mit orthogonaler und nichtorthogonaler Bewehrung entwickelt waren.

Der statische und der kinematische Grenzwertsatz können auch verwendet werden zur Ermittlung des Tragwiderstandes räumlicher Systeme von Hochhäusern, bestehend aus Rahmen, Fachwerken und Tragwänden aus Stahlbeton. Auch für die Traglastberechnung von Raumbauwerken konnte gezeigt

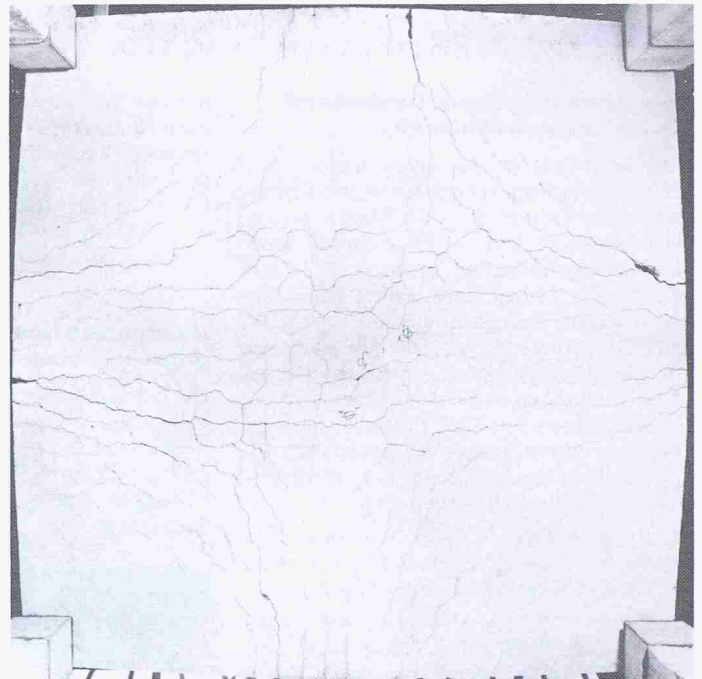


Bild 4. Vierpunktgelagerte Stahlbetonplatte

werden, dass die beiden Grenzwertsätze zu identischen Lösungen führen.

Weitere Arbeiten befassten sich mit der Anwendung der Plastizitätstheorie auch auf Bauteile, deren Widerstand nicht vom Widerstand der Bewehrung sondern von demjenigen des Betons abhängig ist. Dafür ist der untere Grenzwertsatz nützlich. Es können statisch zulässige Spannungsfelder z.B. im Steg eines Balkens entwickelt werden. Oder es können statisch zulässige Momentenfelder zur Ermittlung des Durchstanzwiderstandes von Stützen in Flachdecken hergeleitet werden. Und auch bei Tragwänden mit Aussparungen führt die Plastizitätstheorie zu zweckmässigen Lösungen.

### Einführung in die Praxis

Diese und weitere Dissertationen und Forschungsarbeiten entwickelten wesentliche Grundlagen zur Anwendung der Plastizitätstheorie bei der praktischen Bemessung von Stahlbetontragwerken. Diese Grundlagen wurden durch Bruno Thürlimann sukzessive in die Praxis getragen. Nach dem Plastizitätskurs von 1963 fanden weitere Fortbildungskurse für Bauingenieure in den Jahren 1975 und 1983 statt. Der Kurs von 1983 bereitete auch international den Boden vor für das IVBH-Kolloquium in Delft 1987, das gewissermassen den Durchbruch der Plastizitätstheorie im Stahlbeton in Europa brachte. Zudem fanden wichtige Teilbereiche der neuen Erkenntnisse sukzessive Eingang in die SIA-Norm 162. Sie regelte einerseits die Querschnittsbemessung für die Beanspruchungsfälle Torsion und Kombinationen aus Biegung, Normal-

kraft, Querkraft und Torsion; andererseits gab sie die Grundlagen für die Bemessung statisch unbestimmter Tragwerke, beides nach der Plastizitätstheorie. Und natürlich enthält nun die 1989 in Kraft getretene neue Betonnorm SIA 162 die Prinzipien der Plastizitätstheorie in umfassender Weise. Sie ist damit die erste sozusagen «vollplastische» Norm der Welt für Stahlbeton und Spannbeton. Und nicht unerwähnt bleiben soll in diesem Zusammenhang, dass auch die Stahlbaunorm SIA 161 schon seit längerer Zeit von der Plastizitätstheorie erheblich beeinflusst worden ist.

### Würdigung

Lieber Bruno, Du hast während der 30 Jahre Deines Wirkens hier an der ETH mit der Einführung plastischer Berechnungsmethoden eine neue Dimension in die Tragwerkslehre eingeführt. Diese Dimension hat das Instrumentarium des konstruktiv tätigen Bauingenieurs entscheidend erweitert. Sie hat zu einer grösseren Souveränität in der Behandlung von Fragen der Tragsicherheit und auch zu einer erheblich vergrösserten konstruktiven Freiheit geführt. Lieber Bruno, Deine ehemaligen Studenten und Doktoranden sowie unzählige Bauingenieure danken Dir herzlich für Dein hervorragendes Wirken und für alle die befruchtenden Impulse, die Du dem Bauingenieurwesen insgesamt vermittelt hast.

Hugo Bachmann

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Hugo Bachmann, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.