

Plastisches Verhalten von statisch unbestimmten Stahlbetonbalken

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 41

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68996>

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.

Von **Hugo Bachmann**, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustatik an der ETH, Zürich

Vortrag gehalten am 16. Oktober 1965 an der ETH anlässlich der Studientagung über dynamische Wirkungen auf Bauwerke, durchgeführt von der S. I. A.-Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau¹⁾

Einleitung

Das Bruchverhalten statisch unbestimmter Tragwerke bildete in den letzten 15 Jahren Gegenstand zahlreicher theoretischer und experimenteller Untersuchungen. Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse sind relativ einfache Berechnungsmethoden entwickelt worden. Diese werden zur Bemessung von Tragwerken aus *Stahl* in den Vereinigten Staaten bereits angewendet. Im Gegensatz dazu bietet jedoch die plastische Berechnung und Bemessung statisch unbestimmter Tragwerke aus *Stahlbeton* noch erhebliche Schwierigkeiten, da der Beton nur sehr begrenzt verformbar ist. Vor allem das Problem der Deformationsfähigkeit plastifizierter Bereiche, auch «Rotationsfähigkeit plastischer Stahlbetongelenke» genannt, ist noch ungeklärt. Dabei liegen die Schwierigkeiten auch bei der Frage, wie überhaupt die Rotation in einem plastischen Stahlbeton-Gelenk definiert und berechnet werden soll. Diese Frage ist eng verknüpft mit dem eigentlichen Problem des möglichen Grenzzustandes, d. h. der Rotationsfähigkeit.

¹⁾ Anmerkung: Dieser Kurzvortrag soll auf möglichst einfache Weise einen Einblick geben in das am Institut für Baustatik an der ETH laufende Programm zur Erforschung des plastischen Verhaltens statisch unbestimmter Stahlbetontragwerke. Die genauen Definitionen der verwendeten Begriffe sowie zahlreiche, hier nicht wiedergegebene Resultate, insbesondere über die Schubbeanspruchung, sind in [1], resp. [2], [3] und [4] enthalten, wo auch die theoretischen Aspekte eingehender behandelt werden.

Als Beitrag zur Klärung dieser Fragen sind seit 1963 durch das Institut für Baustatik an der ETH unter der Leitung von Prof. Dr. *B. Thürlimann* entsprechende Versuche durchgeführt worden. Das ganze Forschungsprogramm wurde ermöglicht durch eine namhafte Spende der von Moos'schen Eisenwerke Luzern. Dieser Firma sei für ihre grosszügige Unterstützung auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

Der hauptsächlichliche Zweck der Versuche war das Studium der folgenden zwei Problemkreise:

1. Allgemeines Verhalten: Bruchlasten, plastische Momente, Momentenumlagerungen, Steifigkeiten, Deformationen usw., und
2. Einfluss des Schubes auf die Ausbildung und Rotationsfähigkeit plastischer Gelenke.

Bis heute sind Versuche an 2 Serien (Serie A und Serie B) von je 5 Versuchsbalken durchgeführt worden. Hier soll vor allem über die erste dieser Serien, die Serie A, kurz berichtet werden.

Planung und Durchführung der Versuche

Bild 1 zeigt die Versuchsanordnung. Sämtliche Versuche wurden in der EMPA in Dübendorf durchgeführt. Es handelt sich um Zweifeldbalken, die total symmetrisch ausgebildet und belastet wurden. Die Spannweiten betragen je 3 m. Der Querschnitt war ein Rechteckprofil, 18 cm breit und 38 cm hoch. Die Belastung wurde durch zwei 50-t-Pressen über Lastverteilerbalken aufgebracht. Bei den äusseren Auflagern wurden bei sämtlichen Laststufen die Auflagerreaktionen durch Dynamometer gemessen. Dadurch war es möglich, die Momen-

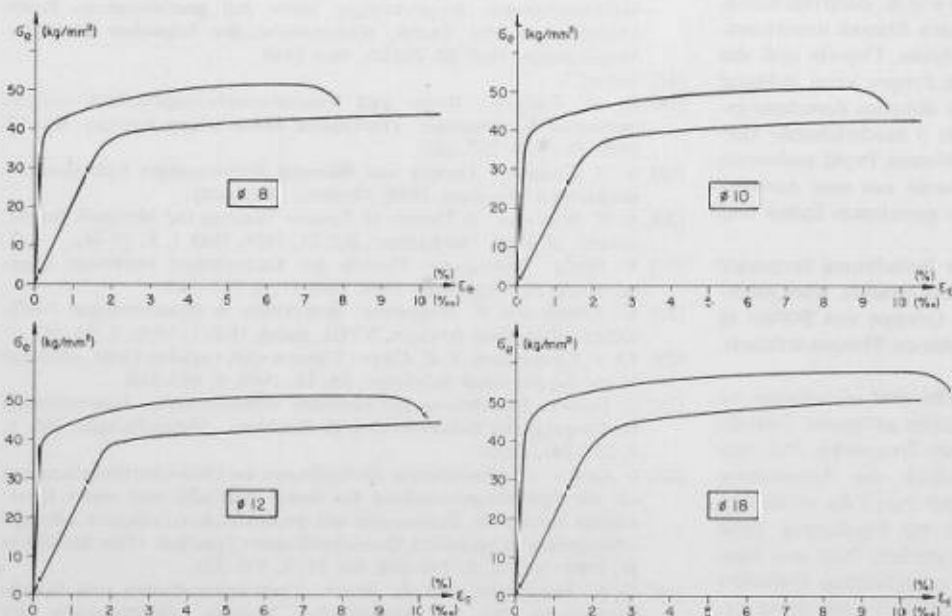


Bild 2. Spannungs-Dehnungs-Diagramme der verwendeten Torstähle Serie A

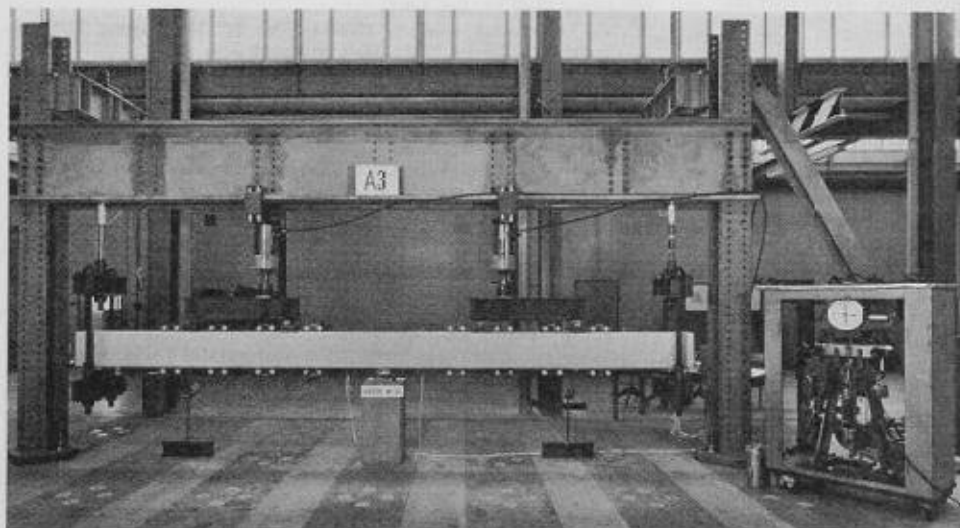


Bild 1. Versuchsanordnung in der EMPA in Dübendorf

tenfläche ohne Deformationsbedingung zu ermitteln; im Gegenteil, es konnte noch eine Gleichgewichtskontrolle durchgeführt werden. Diese Anordnung ist für sämtliche Balken beibehalten worden.

Die Armierung der Versuchsbalken bestand aus Torstahl. Bild 2 zeigt die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für verschiedene Stabdurchmesser. Jeweils oben ist das vollständige Diagramm bis zum Bruch des Stabes aufgetragen. Darunter ist der Anfangsbereich mit 10fach vergrößerter Dehnung dargestellt. Die Streckgrenze betrug im Mittel etwa 42 kg/mm² und die Zugfestigkeit etwa 52 kg/mm². Die Würfelzugfestigkeit des Betons war im Mittel 438 kg/cm².

Bild 3 zeigt die Abmessungen und die Armierungsbilder der fünf Versuchsbalken.

Das Moment, welches in einem Querschnitt in der Zugarmierung erhebliche plastische Deformationen erzeugt, wird *plastisches Moment* genannt. Es ist etwas grösser als das Flieissmoment. In jedem Balkenquerschnitt mit gegebenen Abmessungen und vorgeschriebener Armierung lässt sich ein plastisches Moment berechnen. Bei den Versuchsbalken bezeichnen wir das Verhältnis der plastischen Momente im Feld und über der mittleren Stütze mit λ :

$$\lambda = \frac{M_{pF}}{M_{pS}}$$

Die Werte λ der verschiedenen Balken sind in Bild 3 eingetragen.

Beim Balken A1 war über dem mittleren Auflager eine recht starke Armierung vorhanden, nämlich 5 Stäbe \varnothing 18 mm, wogegen im Feld nur 2 Stäbe \varnothing 12 mm eingelegt waren. Das Verhältnis λ beträgt deshalb nur 0,17. Mit fortlaufender Numerierung der Balken nimmt dann λ zu bis zum Wert 1,0 beim Balken A5. Hier waren sowohl im Feld wie über der Stütze je 3 Stäbe \varnothing 18 mm eingelegt. Die einzigen Unterschiede zwischen den Balken, d. h. die systematisch variierten Grössen waren also:

Primär: das Verhältnis λ der plastischen Momente im Feld und über der Stütze, und

Sekundär: die Schubarmierung, welche entsprechend angepasst werden musste.

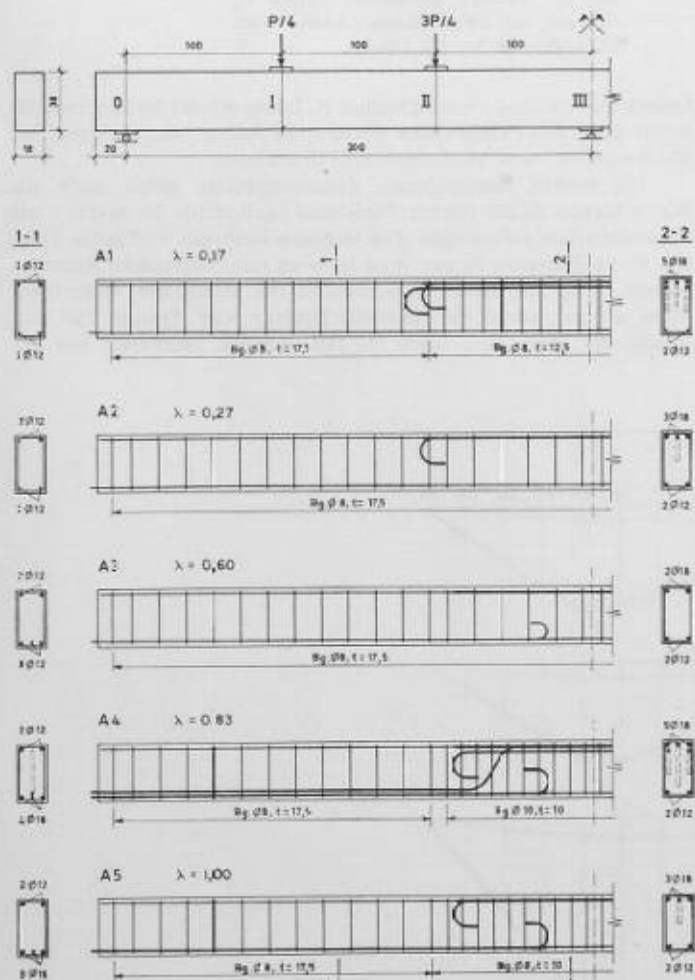


Bild 3. Lastanordnung, Abmessungen und Armierung der Versuchsbalken A1—A5

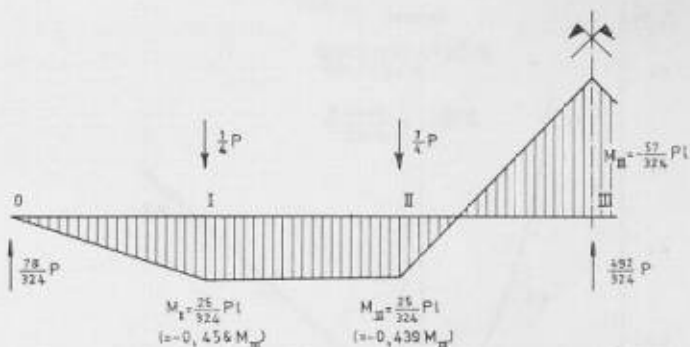


Bild 4. Momentenfläche nach Elastizitätstheorie für konstantes Trägheitsmoment

Die Belastung der Balken betrug in den Drittelpunkten der Felder $P/4$ resp. $3P/4$. In Bild 4 ist die entsprechende Momentenfläche nach Elastizitätstheorie für konstantes Trägheitsmoment dargestellt. Zwischen den Lasten ergibt sich ein Bereich, der fast ausschliesslich auf Biegung beansprucht wird; neben dem mittleren Auflager hingegen ist ausser dem Biegemoment noch eine beträchtliche Querkraft vorhanden.

Bild 5 zeigt die Momentenflächen und die zugehörigen Mechanismen nach der einfachen Plastizitätstheorie. Die obere Figur gilt für den Fall, dass die Feldarmierung relativ schwach ist gegenüber der Stützenarmierung. Dann wird das plastische Moment zuerst im Feld, und zwar im Schnitt I, erreicht. Die zugehörige Last wird Flieisslast genannt. Unter der Flieisslast ist immer noch die elastische Momentenverteilung vorhanden, wie sie gestrichelt eingetragen ist. Bei weiterer Laststeigerung entwickelt sich dann im Schnitt I ein plastisches Gelenk. In diesem plastischen Gelenk bleibt das Moment konstant, während die Krümmung bzw. der Rotationswinkel solange zunehmen muss, bis auch das Stützenmoment gleich dem dortigen plastischen Moment wird. Schliesslich bildet sich über der Stütze, Schnitt III,

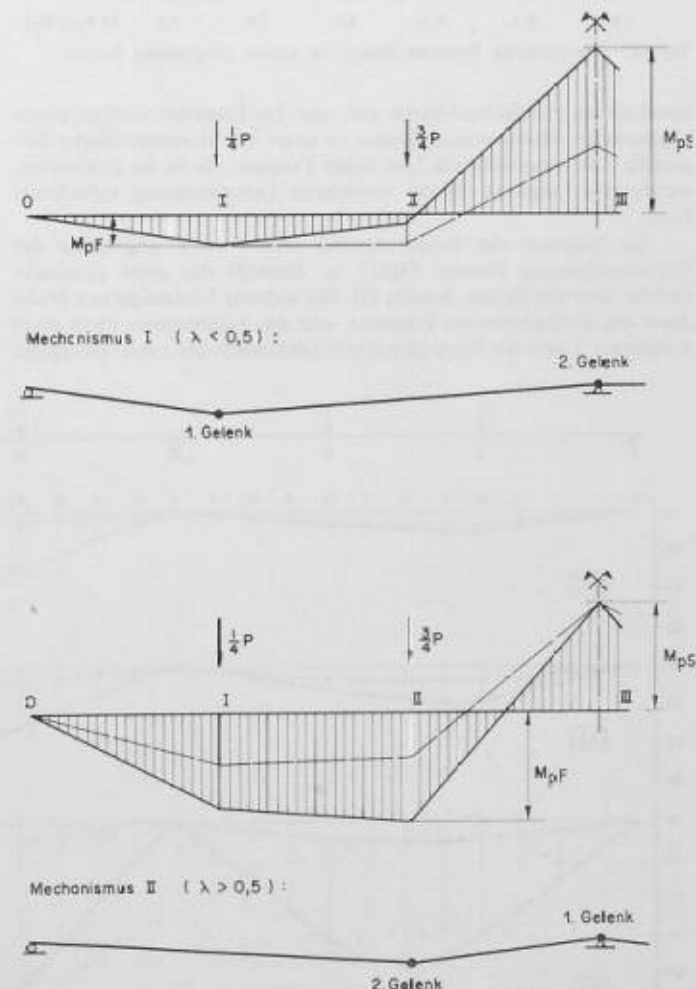


Bild 5. Momentenflächen und Mechanismen unter der Traglast nach Plastizitätstheorie

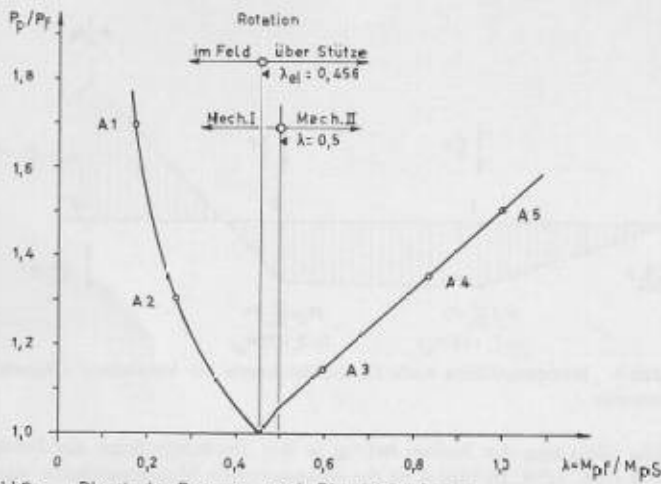


Bild 5a. «Plastische Reserve» nach Plastizitätstheorie

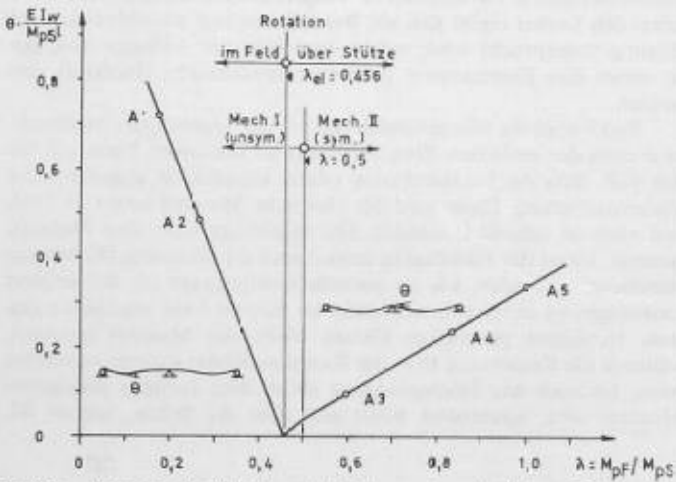


Bild 6b. Theoretische Rotationswinkel im ersten plastischen Gelenk

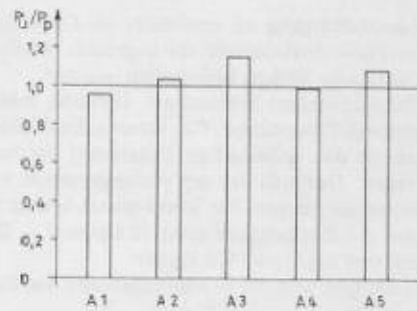


Bild 7a. Höchste gemessene Lasten P_u bezogen auf die theoretischen Traglasten P_y

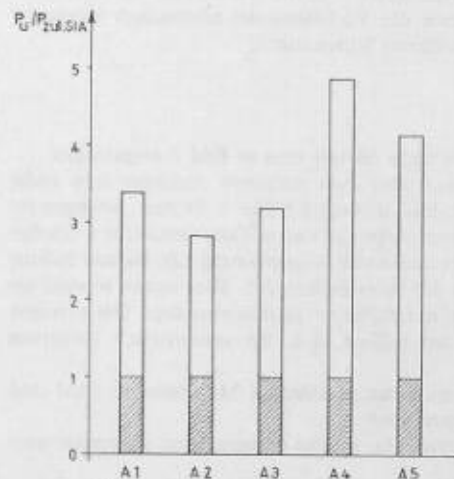


Bild 7b. Höchste gemessene Lasten P_u bezogen auf die zulässigen Lasten nach S.I.A.-Normen Nr. 162 (1956)

ebenfalls ein plastisches Gelenk aus, und das Tragwerk wird zu einem sogenannten Mechanismus. Dieser ist unter der Momenterfläche dargestellt. Die entsprechende Last heisst Traglast. Sie ist die Höchstlast, welche das Tragwerk für die betreffende Lastanordnung aufnehmen kann.

Ist hingegen die Feldarmierung relativ stark gegenüber der Stützenarmierung (untere Figur), so entsteht das erste plastische Gelenk über der Stütze, Schnitt III. Bei weiterer Laststeigerung bleibt dann das Stützenmoment konstant, und das Feldmoment muss noch zunehmen. Unter der Traglast entsteht schliesslich das zweite plastische

Gelenk im Feld, und zwar im Schnitt II. Entsprechend der unterschiedlichen Lage des Feldgelenkes wurden die beiden Mechanismen mit Mechanismus I und Mechanismus II bezeichnet.

Die soeben beschriebenen Zusammenhänge gehen auch aus Bild 5 hervor. In der oberen Figur sind nach rechts die Werte λ der Versuchsbalken aufgetragen. Die Ordinate stellt das Verhältnis Traglast P_y zu Fließlast P_f dar; man kann es auch «Plastische Reserve» nennen. Wird ein Balken entsprechend der elastischen Momentenfläche armiert, so ist die plastische Reserve Null. Diesem Fall entspricht der Wert $\lambda_{el} = 0,456$. λ_{el} fällt beinahe zusammen mit der

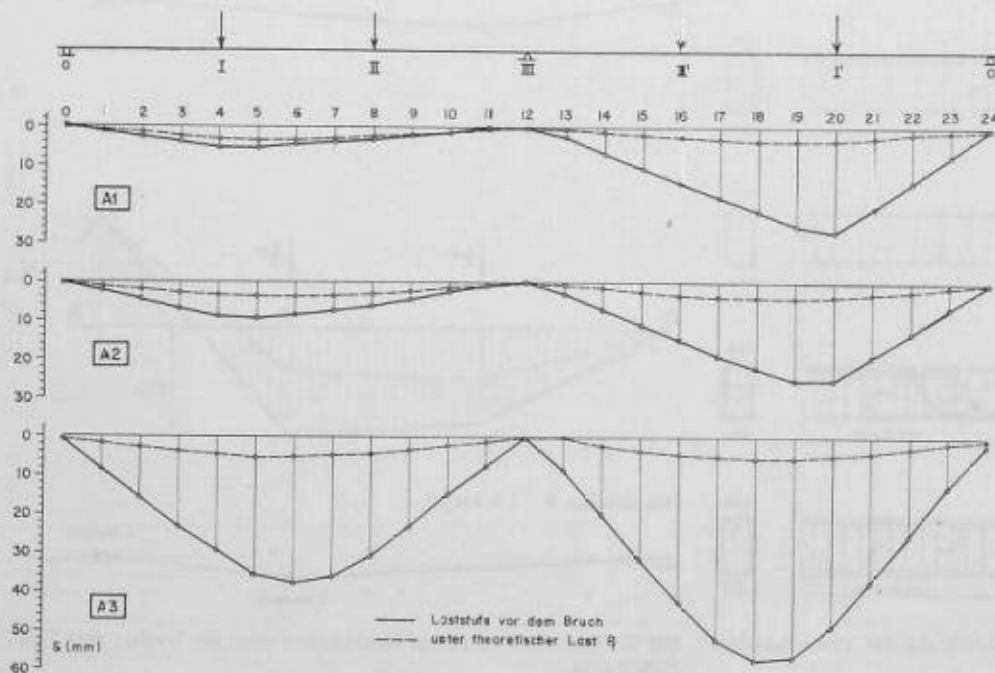


Bild 8. Biegelinien der Balken A1, A2 und A3

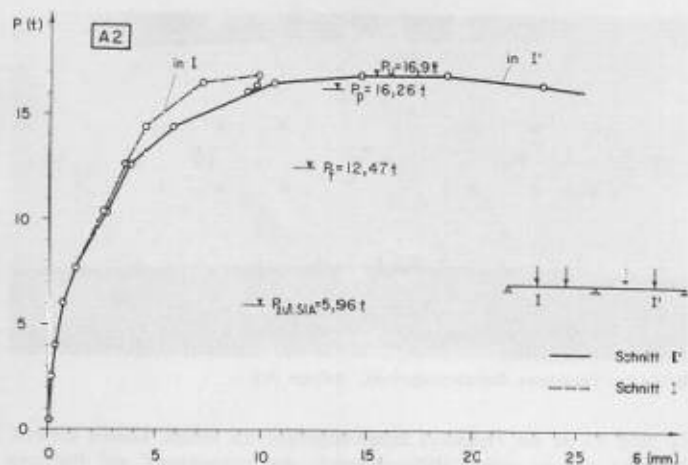


Bild 9. Durchbiegungen des Balkens A2 in den Schnitten I und I'

Gültigkeitsgrenze für die beiden Mechanismen, welche durch $\lambda = 0,50$ charakterisiert wird. Ist $\lambda < \lambda_{el}$, resp. $\lambda < 0,50$, so entsteht der Mechanismus I mit primärer Rotation im Feld. Ist dagegen $\lambda > \lambda_{el}$ resp. $\lambda > 0,50$, so ergibt sich der Mechanismus II mit primärer Rotation über der Stütze. Logischerweise ist die plastische Reserve um so größer, je stärker λ verschieden ist von λ_{el} .

In der unteren Figur ist auf der Abszisse wiederum λ dargestellt. Als Ordinate ist der theoretische Rotationswinkel θ aufgetragen (abgesehen vom Koeffizienten $EI_u/M_{ps} \cdot I$), der jeweils im ersten plastischen Gelenk nötig ist, damit die Traglast erreicht werden kann. Beide Figuren in Bild 6 zeigen die systematische Verteilung der Punkte der Versuchsbalken über einen recht grossen Bereich.

Allgemeine Ergebnisse

Bei sämtlichen Balken der Serie A wurde die theoretische Traglast nach Plastizitätstheorie praktisch erreicht oder überschritten. Dies bedeutet, dass in allen plastischen Gelenken die Rotationsfähigkeit genügend war. Bild 7a zeigt die Maximallast P_u im Versuch im Verhältnis zur Traglast P_p nach Plastizitätstheorie. Die Maximallast betrug 96% bis 116% der theoretischen Traglast. In Bild 7b ist die Maximallast P_u im Verhältnis zu der nach den S.I.A.-Normen zulässigen Last, $P_{zul\ SIA}$, aufgetragen. Die entsprechenden Quotienten liegen zwischen 2,8 und 4,9.

Bei allen Balken entstanden tatsächlich die vorher beschriebenen Mechanismen nach der Plastizitätstheorie. In Bild 8 sind die Biegelinien der Balken A1, A2 und A3 dargestellt. Die Biegelinien unter der Fliesslast sind gestrichelt eingetragen. Diese verlaufen noch schön stetig. Nach weiterer Laststeigerung bildeten sich dann aber die ersten plastischen Gelenke aus, und zwar bei der Balken A1 und A2 im Feld entsprechend Mechanismus I, und beim Balken A3 über der mittleren Stütze entsprechend Mechanismus II. Bei der Laststufe vor dem Bruch sind die dortigen Knicke in den Biegelinien ziemlich ausgeprägt.

Bild 11. Risse- und Bruchbilder der Balken Serie A

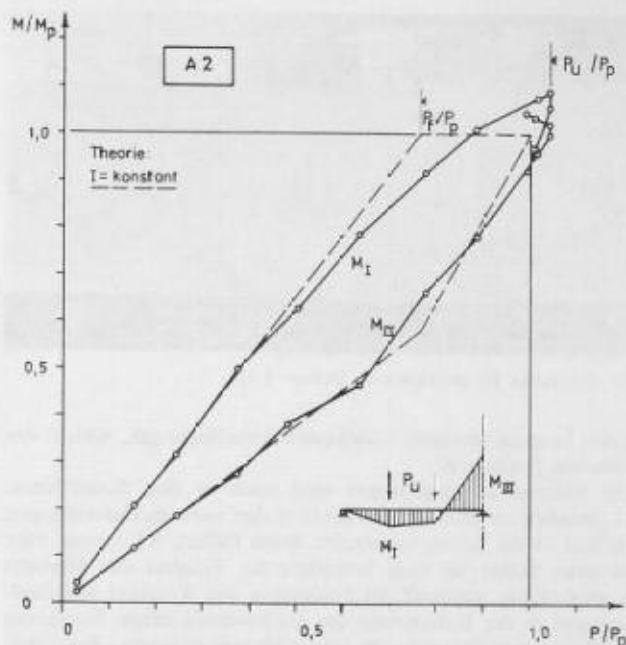
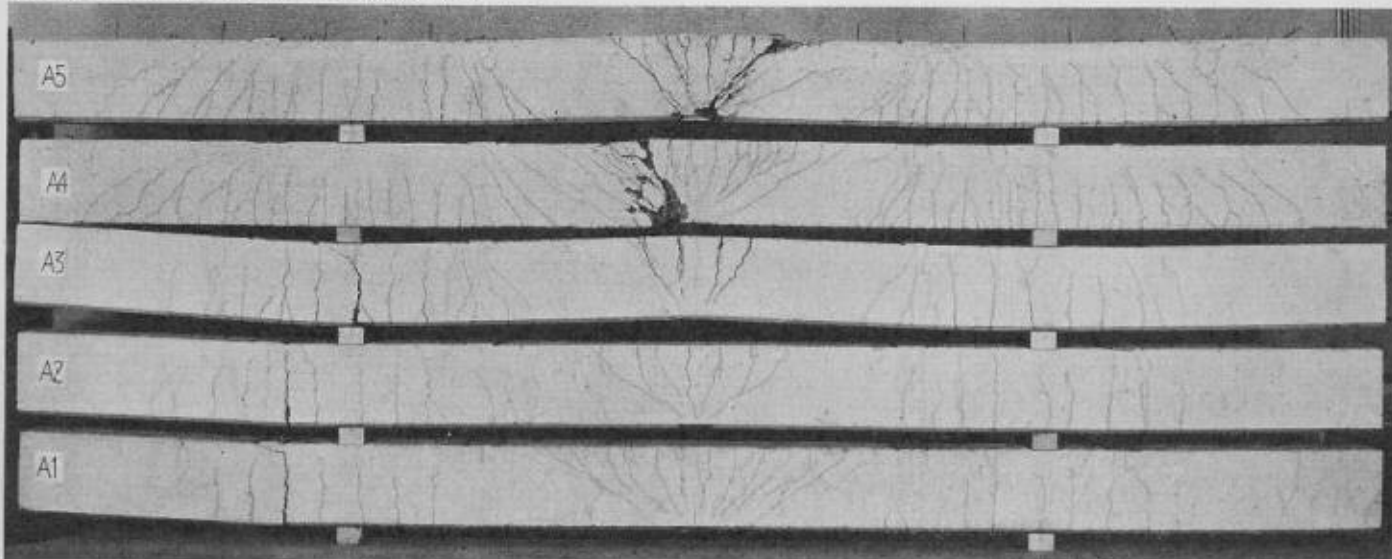


Bild 10. Momentenumlagerungen beim Balken A2

In Bild 9 sind die Durchbiegungen δ in den Schnitten I und I' des Balkens A2 aufgetragen, und zwar mit steigender Last P . Wie theoretisch zu erwarten, blieben die Verformungen in beiden Feldern etwa gleich bis zur Fliesslast P_f . Nachher bildete sich der (unsymmetrische) Mechanismus I aus. An der Stelle des ersten plastischen Gelenkes, d. h. im Schnitt I', nahmen dann die Durchbiegungen noch beträchtlich zu, während sie im andern Feld schliesslich wieder zurückgingen. Zum Vergleich sind noch verschiedene Lasten eingetragen: Die Maximallast P_u im Versuch, die theoretische Traglast P_p , die Fliesslast P_f sowie die nach den S.I.A.-Normen zulässige Last, $P_{zul\ SIA}$.

Bild 10 zeigt für sämtliche Laststufen die Momentenumlagerungen beim Balken A2. Die beiden ausgezogenen Linien stellen den Verlauf der Momente in den Schnitten der beiden plastischen Gelenke dar und zwar mit zunehmender Last. Die Momente M_I und M_{III} sind bezogen auf die jeweiligen plastischen Momente M_p , die Lasten P auf die theoretische Traglast P_p . Die gestrichelten Linien geben den theoretischen Verlauf für konstantes Trägheitsmoment. Bei kleinen Lasten entsprechen die tatsächlichen Momente ungefähr noch den theoretischen. Dann entstehen jedoch deutliche Abweichungen infolge von Steifigkeitsunterschieden im Rissezustand. Diese sind besonders ausgeprägt unter der Fliesslast. Im Bereich der Traglast hingegen wird die Übereinstimmung dann wieder besser. Dies bestätigt die These der Plastizitätstheorie, wonach die Traglast nur von den plastischen Momenten in den Gelenkquerschnitten und nicht von Steifigkeitseinflüssen abhängt. Oder anders ausgedrückt: Zur Bestim-

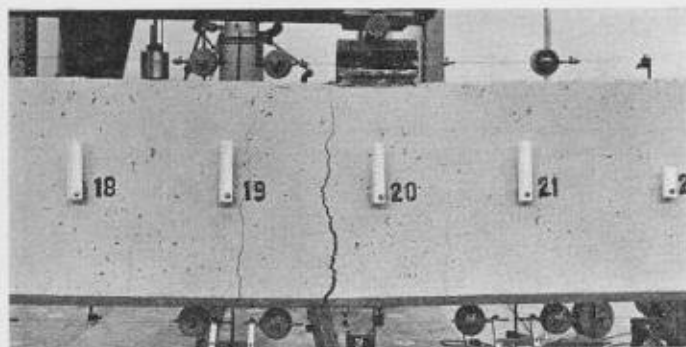


Bild 12. Typisches Biegerissgelenk, Balken A2

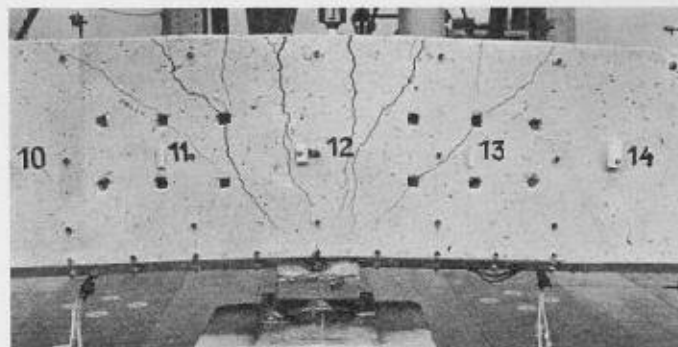


Bild 14. Typisches Schubrissgelenk, Balken A5

mung der Traglast genügen Gleichgewichtsbedingungen, sobald der Mechanismus bekannt ist.

Die Momentenumlagerungen sind auch in den Rissebildern, Bild 11, deutlich zu erkennen. Gegenüber den anderen Darstellungen sind in Bild 11 die Seiten vertauscht. Beim Balken A1 musste über der mittleren Stütze bis zum Erreichen der Traglast das Moment enorm anwachsen, während im Feldgelenk die Rotation stattfand. Man erkennt in der Balkenmitte die entsprechend breite Rissezone, da der Momentennullpunkt sich vom Auflager entfernte. Beim Balken A2 war dies ebenfalls der Fall, jedoch weniger stark. Die Rissezone bei der Stütze erstreckt sich über einen kleineren Bereich als beim Balken A1. Der Balken A3 hingegen musste primär über der Stütze rotieren; die dortige Zugzone wurde also mit zunehmender Belastung schmaler. Dasselbe gilt für die Balken A4 und A5. Diese waren zudem hoch auf Schub beansprucht, was die Rissebilder stark beeinflusste. Im weiteren erkennt man in Bild 11 noch die Bruchstellen:

Bei den Balken A1, A2 und A3 trat im Feld ein *Biegebruch* ein. Die Längsarmierung wurde derart gedehnt, dass sie schliesslich zerriess.

Bei den Balken A4 und A5 ergab sich neben dem mittleren Auflager ein *Biegeschubbruch*. Nach erheblicher Rotation versagten schliesslich die Bügel, wodurch der Beton in der Biegedruckzone sowie im anschliessenden Stegbereich zerstört wurde.

Plastische Gelenke

Grundsätzlich wurden zwei verschiedene Arten von plastischen Gelenken beobachtet. Wir nennen sie:

1. das *Biegerissgelenk*, und
2. das *Schubrissgelenk*.

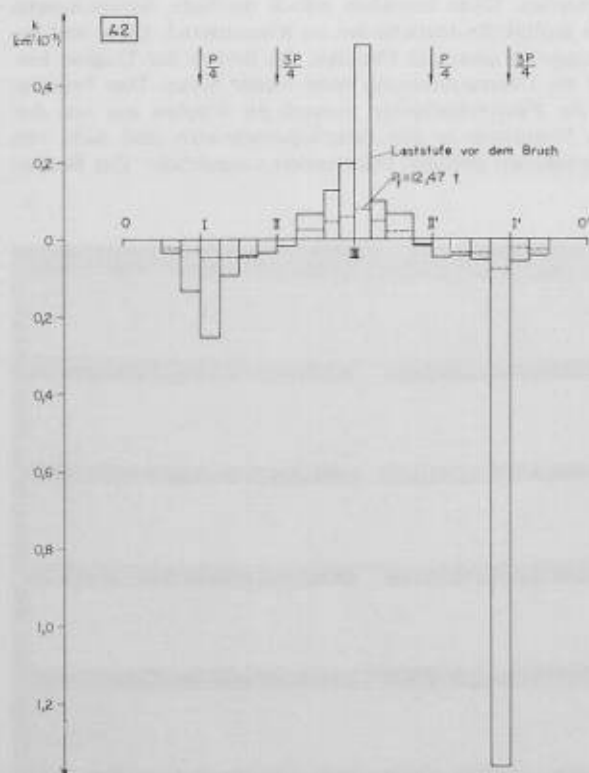


Bild 13. Krümmungen längs des ganzen Balkens A2

In Bild 12 ist ein *typisches Biegerissgelenk* zu sehen. Dieses Gelenk befindet sich in einem Balkenbereich, der vorwiegend auf Biegung beansprucht wird. Die Schubbeanspruchung ist gering, daher die vertikalen Biegerisse. Wie man sieht, fanden plastische Deformationen hauptsächlich in *einem* Riss statt, ein wenig auch in einem zweiten Riss. Oder mit anderen Worten: Die plastische Rotation in einem solchen Biegerissgelenk konzentriert sich auf einen relativ schmalen Bereich.

Die in Bild 12 sichtbaren Messuhren dienen zur Feststellung der Krümmungen resp. der Rotationswinkel. Der Verlauf der Rotation innerhalb der Messstrecke 19/20 mit zunehmendem Biegemoment ist in Bild 16 dargestellt.

In Bild 13 sind die Krümmungen längs des ganzen Balkens A2 aufgetragen. Diese Krümmungen wurden aus den gemessenen Randdehnungen als mittlere Rotationswinkel berechnet. Die gestrichelten Linien bedeuten die Krümmungen unter der Fließlast P_f . Die dick ausgezogenen Linien sind die Krümmungen bei der Laststufe vor dem Bruch. Man erkennt an der Stelle des ersten plastischen Gelenkes (Schnitt I') die erwähnte Konzentration der plastischen Verformungen auf einen relativ schmalen Bereich.

Anders sind die Verhältnisse in einem *typischen Schubrissgelenk*, wie es Bild 14 zeigt. Hier ist neben dem Biegemoment noch eine erhebliche Schubbeanspruchung vorhanden. Diese hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbildung des Gelenkes, indem sogenannte Biegeschubrisse entstehen. Solche entwickeln sich aus Biegeanrissen und laufen dann unter dem Einfluss der Schubbeanspruchung auf die Stelle der Krafteinleitung, hier das Auflager, zu. Es hat sich nun gezeigt, dass sich in einem Schubrissgelenk die plastischen Deformationen über einen weit grösseren Bereich erstrecken als in einem Biegerissgelenk. Dies erkennt man in Bild 15, wo der gemessene Verlauf der Verformungen am Zugrand von Schubrissgelenken dargestellt ist, und zwar für verschiedene Laststufen. Die oberste, dick ausgezogene Linie wurde bei der Laststufe vor dem Bruch des Balkens gemessen. Die Messstrecken sind eingezeichnet. Zum Vergleich ist die Dehnung des Stahles beim Fließbeginn ϵ_f eingetragen. Die Verformungen am Zugrand betragen im ganzen Bereich der Biegeschubrisse ein Mehrfaches der Fließdehnung des Stahles.

In Bild 16 sind die Momenten-Rotationskurven der plastischen Gelenke gemäss Bildern 12 und 14 dargestellt. Links ist die Kurve im

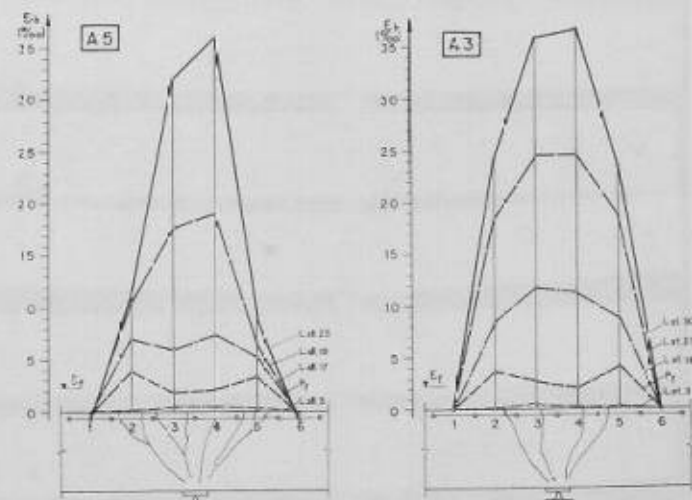


Bild 15. Verformungen am Zugrand von Schubriss-Gelenken

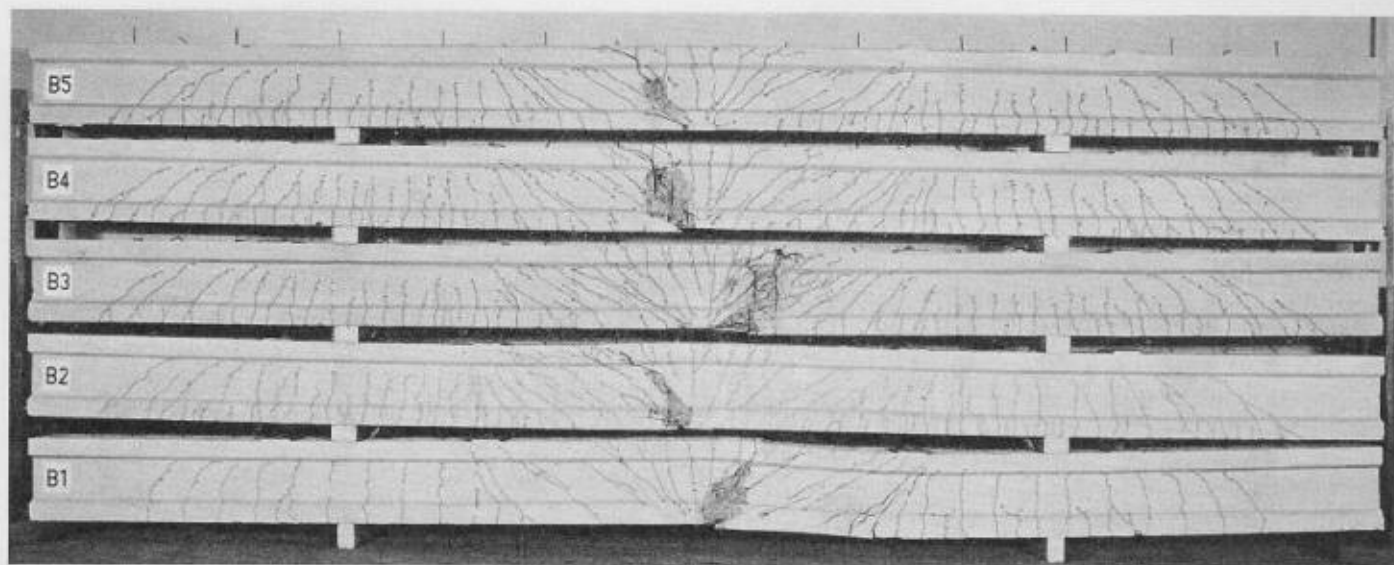


Bild 17. Risse- und Bruchbilder der Balken Serie B

Biegerissgelenk, rechts diejenige im Schubrissgelenk aufgetragen. In beiden Figuren ist der gesamte Rotationswinkel θ im gleichen Massstab dargestellt. Für die Auswertung wurden diejenigen Messstrecken berücksichtigt, innerhalb welchen plastische Deformationen vorhanden waren. Die Länge des plastischen Gelenkes wurde also angenommen, als derjenige Bereich, in dem plastische Deformationen stattfanden. Die Momente M sind wiederum bezogen auf die jeweiligen plastischen Momente M_p . Im Biegeriss-Gelenk wurde das maximale Moment schon nach einem relativ kleinen Rotationswinkel erreicht. Danach begann sich bereits der Bruch abzuzeichnen, was am Absinken der Kurve zu erkennen ist. Im Schubriss-Gelenk trat der Bruch dagegen erst nach erstaunlich grosser Rotation ein. Vor dem Bruch wurde in der Druckzone eine Betonstauchung von über 8‰ gemessen, ohne dass dadurch die Tragfähigkeit der Betondruckzone abgenommen hätte.

Aus der Gegenüberstellung in Bild 16 ist ersichtlich, dass der Rotationswinkel bis zum Beginn des Bruches, d. h. bis zum Erreichen des maximalen Momentes, im Schubrissgelenk erheblich grösser ist als im Biegerissgelenk. Dies ist eine nicht unbedingt erwartete Tatsache.

Es ist nun allerdings nicht einfach so, dass die Rotationsfähigkeit um so besser wird, je grösser die Schubbeanspruchung ist. Die Verhältnisse sind vielmehr sehr kompliziert. Ausser der Schubbeanspruchung spielen verschiedene andere Grössen ebenfalls eine Rolle, z. B.

- das Momenten-Schub-Verhältnis,
- die Schubarmierung,
- die Armierung der Biegedruckzone (längs und quer),
- der Längsarmierungsgehalt.

Trotzdem kann festgehalten werden:

In schubbeanspruchten Zonen mit geneigten Biegeschubbrissen verteilt sich die plastische Rotation über einen bedeutend grösseren Bereich als nach der Biegetheorie zu erwarten wäre. Bei plastischen Gelenken mit geringer Schubbeanspruchung hingegen kann sich die Rotation auf einige wenige oder sogar nur auf einen einzigen Biegeriss konzentrieren.

Um den Einfluss einer hohen Schubbeanspruchung auf die Rotationsfähigkeit plastischer Gelenke zu untersuchen, wurde für die Serie B ein I-Querschnitt gewählt. Bild 17 zeigt die Riss- und Bruchbilder. Bei sämtlichen Balken lag das erste plastische Gelenk über der mittleren Stütze. Dort wäre, zum Erreichen der theoretischen Traglast teilweise ausserordentlich grosse Rotationswinkel bei gleichzeitig hoher Schubbeanspruchung nötig gewesen. Bei zwei Balken ist denn auch die Traglast nicht erreicht worden.

Literaturverzeichnis

- [1] Thürlimann B., Ziegler, H.: Plastische Berechnungsmethoden. Autographie der Vorlesungen vom Fortbildungskurs für Bau- und Maschineningenieure, ETH, Zürich, 1963.
- [2] Bachmann, H., Thürlimann, B.: Versuche über das plastische Verhalten statisch unbestimmter Stahlbetonbalken, Serie A. Bericht Nr. 6203-1, Institut für Baustatik, ETH, Zürich, Juli 1965.
- [3] Bachmann, H., Thürlimann, B.: Versuche über das plastische Verhalten statisch unbestimmter Stahlbetonbalken. Serie B. Bericht Nr. 6203-2, Institut für Baustatik, ETH, Zürich, Dezember 1965.
- [4] Bachmann, H., Thürlimann, B.: Versuche über das plastische Verhalten statisch unbestimmter Stahlbetonbalken. Verlag der Aktiengesellschaft der von Moos'schen Eisenwerke in Luzern. Erscheint 1967.

Adresse des Verfassers: H. Bachmann, dipl. Bau-Ing. ETH, Institut für Baustatik, ETH, Leonhardstrasse 33, 8006 Zürich.

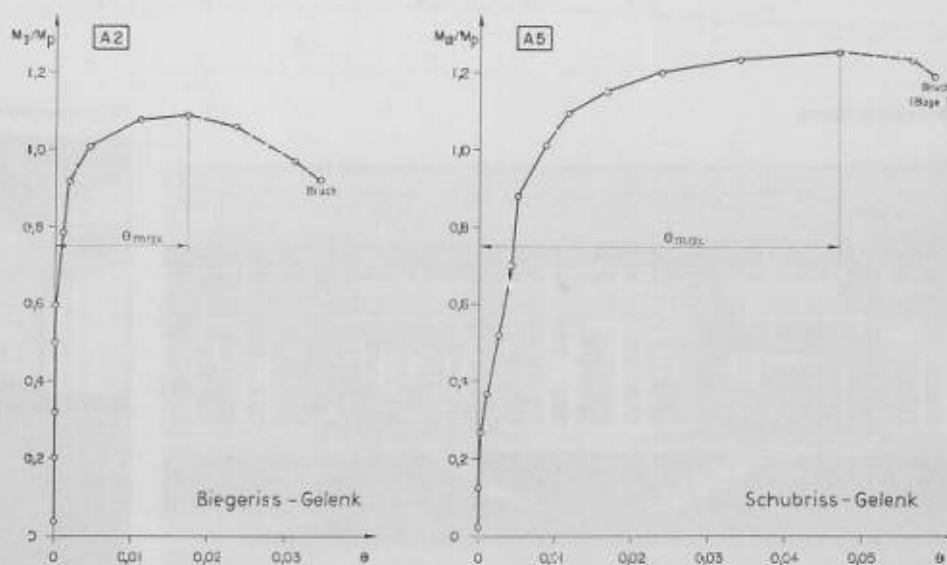


Bild 16. Momenten-Rotations-Kurven in einem Biegeriss- und in einem Schubriss-Gelenk