

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 16

Artikel: Untersuchungen über das Trennbruchverhalten von Rippenstählen:
Vortrag
Autor: Steiner, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70655>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Untersuchungen über das Trennbruchverhalten von Rippenstählen

DK 691.714.001.4

Von R. Steiner, dipl. Ing., EMPA, Dübendorf

Vortrag, gehalten an der Studentagung der FGBH über aktuelle Ingenieurprobleme vom 18. und 19. Oktober 1968 in Zürich

Nach Erörterung einiger allgemeiner Gegebenheiten spröden Verhaltens zäher Baustähle werden insbesondere die Ergebnisse von Biege-Rückbiegeversuchen besprochen, die in der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt im Hinblick auf die Festlegung von Prüfbedingungen der neuen SIA-Norm Nr. 162 (Beton, Stahl- und Spannbeton) durchgeführt wurden.

*

Die Erkenntnis, dass die Kennwerte aus dem einachsigen Zugversuch einen Stahl hinsichtlich seines Verformungsvermögens nur ungenügend zu charakterisieren vermögen, hat schon früh Anlass zur Erforschung der *Ursachen spröden Verhaltens*, insbesondere im Bereich des Druckleitungs- und Stahlbaues, gegeben. Die vermehrte Anwendung des Schweißens hat diese Bemühungen stark gefördert und deutlich gemacht, dass dem erhöhten Risiko des verformungslosen Bruches mit der Wahl zäherer Stähle (neben der Berücksichtigung anderer Einflussgrößen) begegnet werden kann. Die Verwendung höherfester Stähle setzt meistens auch eine höhere Zähigkeit voraus, da u. a. als Folge der erhöhten Spannung die Speicherung elastischer Energie (Formänderungsenergie) stark zunimmt. Ausser den Faktoren Energieinhalt und Bruchzähigkeit treten als trennbruchbeeinflussend u. a. noch in Erscheinung:

- Mehrachsigkeit, zum Beispiel Kerben, Verformungsbehinderung, Trennungen, mehrachsige Zugbeanspruchung
- Temperatur
- Beanspruchungsgeschwindigkeit
- Eigenspannung
- Kaltverformung / Alterung
- Art und Höhe der Beanspruchung

Die zur Kennzeichnung der Sprödbrechneigung bei Stahlbaugütern allgemein verwendete *Kerbschlagprüfung* eignet sich für Armierungsstähle, im besonderen für Rippenstähle III nicht.

Ausgehend von der Inanspruchnahme des Verformungsvermögens der Armierungsstähle beim Biegen und in Anlehnung an die Faltbiegeprüfung bei allgemeinen Baustählen wird in vielen Normen und Richtlinien diese Falt- bzw. technologische Biegeprüfung gefordert. In der SIA-Norm Nr. 162 von 1956 wurden für die früheren Gütegruppen I und II hohe Verformungskennwerte verlangt, entsprechend einer Randfaser-Dehnung von 80 % bzw. einer Randfaser-Stauchung von 40 % (Bild 2). Die Feststellung des Grenzzustandes (Anriss auf der Druckseite) erfolgte durch visuelle Beobachtung während ein- oder mehrmaligem Entlasten der U-förmig gebogenen Probe.

Lange vor Inkrafttreten der neuen SIA-Norm waren verschiedene Rippenstahltypen der inzwischen in bezug auf Zugfestigkeit und Streckgrenze höheren Anforderungen entsprechenden Gruppe III nicht mehr in der Lage, die erwähnten Minimalwerte der Randfaserdehnung oder Biegezahl zu gewährleisten. In Annäherung an die Beanspruchungsbedingungen beim Kaltbiegen wurde, ausgehend von deutschen Vorschlägen aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg, der sog. *Alterungs-Rückbiegeversuch* eingeführt. Er lässt einem Vorbiegen um 135—180 ° eine künstliche Alterung bei zirka 100 ° C folgen mit anschliessendem teilweisem Rückbiegen. Zur Eliminierung des ungünstigen Druckstempel einflusses werden die Prüfungen auf Armierungsstahlbiegemaschinen durchgeführt. Gegen die Eingliederung dieses Versuchstyps in die Neufassung der SIA-Norm bestanden an sich keine Bedenken; umstritten waren die zu erfüllenden Anforderungen, d. h. insbesondere die Randfaser-Verformung beim Vorbiegen, sowie die Höhe der Temperatur der künstlichen Alterung.

Leider vermochten die Untersuchungen an einer grossen Zahl von *Sprödbriichen an Rippenstählen* keine zuverlässigen Unterlagen über die *Ursache* zu liefern, mit Ausnahme einiger Fälle, die eindeutig zum Beispiel *übermässige Kaltverformung, örtliche*

hohe Wärmeeinwirkung (Zündstellen, Schweißpunkte) oder *Materialverwechslung* erkennen liessen. Bevorzugt lagen die Brüche im Bereich von Abbiegungen, zeigten ihre Ausgangsstelle an Rippen auf der konkaven Seite, verliefen praktisch eben und rechtwinklig zur Stabachse mit glänzend-kristallinen Trennflächen; jahreszeitlich schien sich eine verstärkte Bruchneigung bei niedrigen Aussentemperaturen anzudeuten.

Ziel der sich aufdrängenden Untersuchungen war es, einerseits einen geeignet erscheinenden *Prüfablauf* vorzuschlagen und zu erproben, der das Verformungsvermögen zuverlässig, reproduzierbar und vergleichbar mit den Beanspruchungsbedingungen zu kennzeichnen hat, andererseits weitergehende Informationen über die *eigentlichen Vorgänge der Verformungsererschöpfung* zu erhalten. Aus Untersuchungen verschiedener Forscher war hervorgegangen, dass spröde Brüche nach erheblicher Kaltverformung unter niedriger Spannung auftreten können. Ausgehend von der Hypothese der Verringerung oder Erschöpfung des Verformungsvermögens wurde nachgewiesen, dass nach Vorbiegen von unbearbeiteten 20 mm Flachstahlproben verschiedener Güten spontane Brüche im Bereich von 58—62 % Randfaserverformung auftreten. Eine zwischengeschaltete Alterung (150 ° C, 1 1/2 h) verringert die kritische Ausgangsverformung auf 50—55 %, eine Senkung der Raumtemperatur auf etwa -10 ° C bewirkt für ungealterte Stähle einen Abfall auf 50—55 % Randfaserverformung, für gealterte Stähle auf 40—44 %. Bearbeitung der Oberfläche ergab im günstigsten Fall eine Erhöhung um rund 8 Absolutprozente. Aus weiteren Untersuchungen ist bekannt, dass die Eigenspannungen, die bei inhomogen durch Biegen verformten Querschnitten etwa zwei Drittel der Streckgrenze betragen, zur Auslösung von Rissen führen können. Im Vergleich zum nicht gebogenen Ausgangszustand sind Streckgrenze und Zugfestigkeit der Randzonen deutlich erhöht. Für die EMPA-Versuche wurden naturharte und kaltverwundene Rippenstähle schweizerischer Provenienz der Gruppe III in den Durchmessern 16, 18, 24 und 32 mm verwendet. Die Erschöpfungsgrenze (Riss oder Bruch bei Rückbiegen) wurde an je fünf Proben in der Weise ermittelt, dass erste Brüche oder klaffende Risse als Kriterium des Versagens galten. Das Rückbiegen erfolgte entweder sofort nach dem Vorbiegen oder vier Wochen nach dem Vorbiegen oder nach unmittelbar an das Vorbiegen anschliessender Alterung (durch Lagern bei 100 ° oder 250 ° C).

Eine erste Übersicht der Ergebnisse lässt folgende Tendenzen erkennen:

- Ein Vorverformungsbetrag von 50 % Randfaserstauchung wird von keinem Stahl überschritten.
- Grössere Stabdurchmesser führen zur Erschöpfung bei geringerer Vorverformung.

Tabelle 1.

Stab \varnothing d	Dorn \varnothing	Randfaserverform.
< 20	4 d	20 %
20—30	6 d	14 %
> 30	8 d	11 %

Tabelle 2.

Stab \varnothing d	Dorn \varnothing	Randfaserverform.
< 20	5 d	16,6 %
20—30	7 d	12,5 %
> 30	9 d	10,0 %

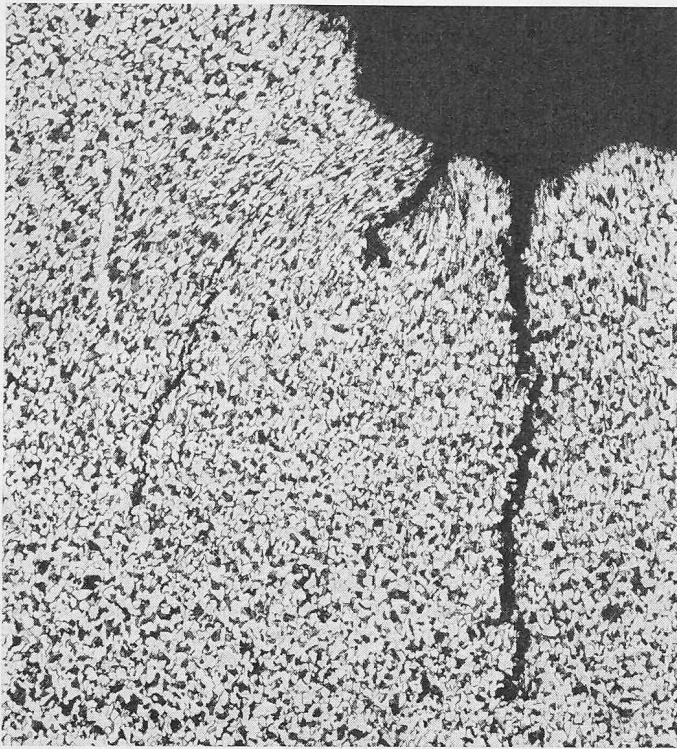


Bild 1. Mikrobild. Längsschnitt (100fach vergrössert) durch einen spröd gebrochenen Rippenstahl mit 30 mm Durchmesser. Risse ausgehend von konkaver, mit Rippen versehener Oberfläche; örtlich starke Kaltverformung bei Kerben oder Rissen

- Die 100 °C Alterung bewirkt eine ähnliche Verringerung der Erschöpfungsgrenze wie die vierwöchige Auslagerung; die 250 °C Alterung liefert keine generelle Verschärfung.
- Die kaltverformten Rippenstähle zeigen im allgemeinen bei den gewählten Versuchsbedingungen etwas günstigeres Verhalten.

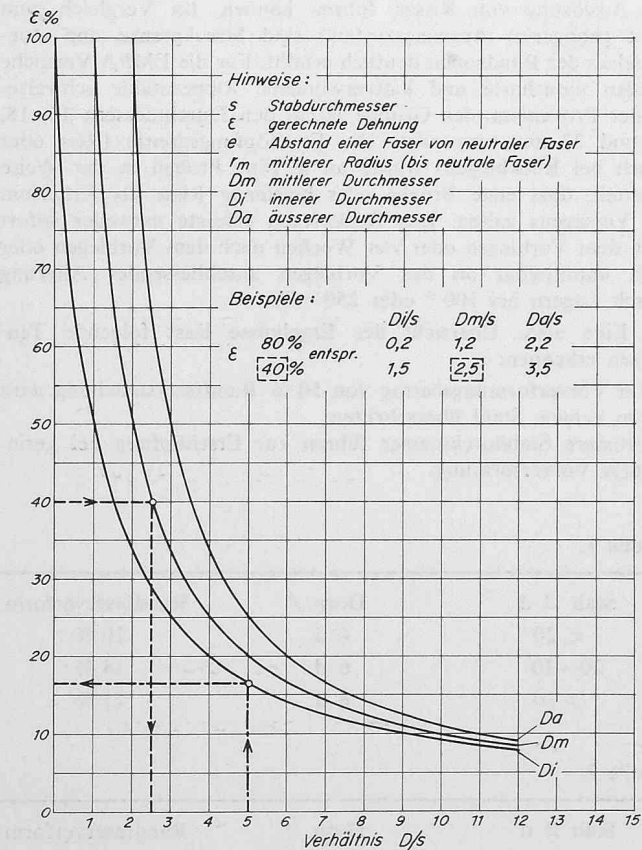


Bild 2. Dehnung in der Randzone von Faltbiegeproben (aussen bzw. innen)

$$\text{gerechnet aus } \varepsilon = \frac{e}{r_m} = \frac{s}{D_m} = \frac{s}{r_m} \times 50 (\%)$$

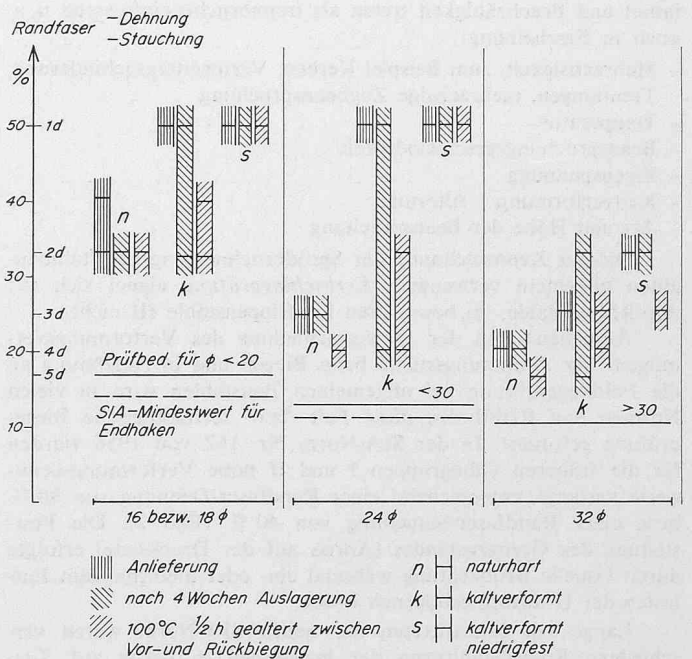
- Die Grenzwerte der Erschöpfung zeigen bei gleichen Rippenstahltypen (zum Beispiel bei unterschiedlicher Herkunft) ausgeprägte Unterschiede.

Auf Grund der Versuche wurden der SIA-Kommission Vorschläge für die Prüfbedingungen unterbreitet, die vorsahen: Vorbiegen um 135—180 ° auf einer Biegemaschine, entsprechend Tabelle 1, anschliessend künstliches Altern und Rückbiegen.

Nach zähen Verhandlungen wurden die Prüfdorn-Durchmesser um je 1 d vergrössert.

Da die kleinsten nach SIA-Norm zulässigen Abbiegungen Randfaserverformungen von 14 bzw. 11 % für die entsprechenden Stabdurchmesser ergeben, liegen Prüfbedingungen und nominelle Abbiegeverformung relativ nahe beieinander. Für kleine Stabdurchmesser besteht damit im Vergleich zur Erschöpfungsgrenze eine hohe Reserve, bei mittleren bis grossen Stabdurchmessern eine sich progressiv verringende Reserve.

Die bisher beschriebenen Versuche zeigen wohl ein deutliches Bild bezüglich der Grenzen des Biege-Verformungsvermögens und lassen den erheblichen Einfluss der Oberflächenbildung bei Rippenstählen klar in Erscheinung treten. Die eigentliche Ursache des spröden Verhaltens wird aber mit der Formulierung «Verformungsererschöpfung» nicht voll erfasst (Bild 1). Als Hypothese wäre in Anlehnung an die heutige Betrachtungsweise der Entstehung spröder Brüche die Annahme naheliegend, dass feine Risse in verformungsmässig erschöpften Randzonen bei der Entlastung am Ende des Vorbiegens auftreten. Die Entstehung dieser Risse wird unter Umständen begünstigt durch



Erläuterungen zum Diagramm:

Ordinate: — Dehnung in Prozenten
Randfaser bzw. — Stauung Längenänderung bzw. Biegedorn-Durchmesser D als Vielfaches des Stabdurchmessers d

Abszisse: drei Stabdurchmesserbereiche (Durchmesser in mm)

Darstellung: Jeder vertikale Bereich (Balken) kennzeichnet das Gebiet, in welchem praktisch immer Brüche auftreten (Erschöpfung). (Biegeverformungen über 50 % Randfaserdehnung liefern selbstverständlich in allen Fällen Brüche beim Rückbiegen.)

Prüfbedingung bedeutet die nach SIA-Norm Nr. 162 vorgeschriebene Prüfbedingung beim sog. Alterungs-Rückbiegeversuch (z. B. Dorndurchmesser D bei Stäben unter 20 mm φ : D = 5 d)

SIA-Mindestwert stellt den nach SIA-Norm Nr. 162 verlangten Mindestwert für Endhaken Dorndurchmesser beim Biegen von Endhaken dar.

Bild 3. Biege- Rückbiegeversuche an Rippenstählen III zur Ermittlung der Erschöpfungsgrenze

- die raue Oberfläche der Walzstäbe, die örtliche Kerben in erheblicher Zahl aufweist
- die Makrogeometrie der Oberfläche (Rippen), die im Zusammenwirken eine wesentlich höhere örtliche Stauchung als dem rechnerischen Mittel entsprechend zur Folge haben.

Konsequenzen

In der Folge berichten wir über die Konsequenzen, die sich nun nach getroffener Festlegung der Anforderungen an das Verformungsvermögen bzw. die Trennbruchempfindlichkeit der Rippenstähle für Hersteller und Verbraucher ergeben.

Der *Ingenieur* wird zu beachten haben, dass eine weitere Steigerung der Festigkeits- und Streckgrenzenkennwerte nur dann sinnvoll ist, wenn auch die Sprödbruchempfindlichkeit voll gewährleistet bleibt. Er wird sich an die Feststellung erinnern, dass Stäbe kleineren Durchmessers günstigeres Verhalten zeigen und dass gewisse Stahlsorten eine stärkere Tendenz zu verformungslosem Bruch nach dem Biegen zeigen. Im Falle vorgesehener örtlicher Wärmeinwirkung oder Schweissung wird er bedenken, dass kaltverformte Stäbe bei hoher Wärmezufuhr eine Entfestigung erfahren, während bei naturharten Güten eine Aufhärtung eintreten kann.

Die *Hersteller* werden ihrerseits alle Anstrengungen unternehmen, um die Trennbruchempfindlichkeit unter Beachtung der vielen Einflüsse aus Erzeugung, Verarbeitung, Transport und Verlegen zu gewährleisten und auch um mögliche Tendenzen, etwa zur vermehrten Anwendung grösserer Stabdurchmesser oder Einsatz von Schweissverbindungen bzw. -verfahren nicht von vorneherein zu behindern. Sie werden auch berücksichtigen, dass generell für Stähle mit erhöhter Zugfestigkeit und Streckgrenze progressiv höhere Zähigkeit notwendig ist, um der gesteigerten Energiespeicherung Rechnung zu tragen. Der Materialprüfer und Schweisstechologe wird sich bemühen, vertiefte Erkenntnisse über das Verhalten im Grenzzustand zu gewinnen und versuchen, daraus Konsequenzen für die Bewertung der Rippenstähle hinsichtlich ihrer technologischen Eignung zu erarbeiten.

Die kurze Darlegung erhebt in keiner Weise Anspruch auf eine erschöpfende Aussage über das Trennbruchverhalten von Rippenstählen; sie wollte den heutigen Stand der Dinge erörtern und die Diskussion im Hinblick auf die weitere Entwicklung der Stähle und die Vertiefung der Erkenntnisse anregen helfen.

Adresse des Verfassers: R. Steiner, dipl. Ing., EMPA, 8600 Dübendorf, Überlandstrasse 129.

Vorschub-Freivorbau bei hohen Talbrücken

DK 624.21.002.2

Von Dr.-Ing. **Tihamér Koncz**, SIA, Zürich

Vortrag, gehalten an der Studientagung der FGBH über aktuelle Ingenieurprobleme vom 18. und 19. Oktober 1968 in Zürich

1. Allgemeines über rationalisierte Baumethoden im Brückenbau

Die Möglichkeiten eines rationalisierten Brückenbaues mit Betonkonstruktionen können durch folgende Bauverfahren charakterisiert werden (Bild 1):

- Vorfabrizierte Brücken, welche in der Längsrichtung aufgeteilt werden; die Fertigteile überbrücken dann jeweils eine ganze *Spannweite*,
- Brücken, aufgeteilt auf Fertigteile in der Querrichtung, bei welchen der ganze Querschnitt über die ganze *Breite* zusammengebaut wird, und

- Brücken, welche in grösseren zusammenhängenden Teilen *vorgeschoben* werden, wobei sie im Querschnitt längs- oder queraufgeteilt sein können.

Bei den längsgeteilten Brücken unterscheiden wir die Ausführungsarten mit Kranmontage und mit Vorbau. Die queraufgeteilten Brücken sind entweder so konstruiert, dass die einzelnen Abschnitte auf einem Gerüst verlegt und zusammengebaut werden, oder sie werden im Freivorbauverfahren jeweils zu dem bestehenden Teil angefügt.

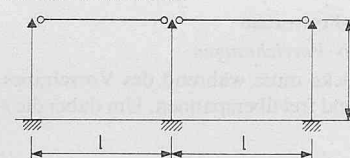
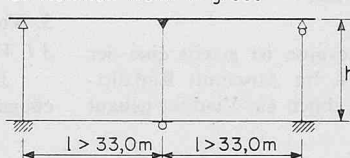
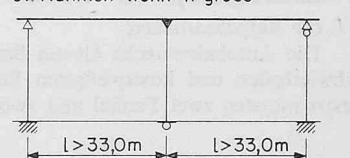
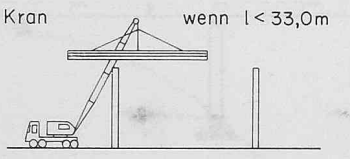
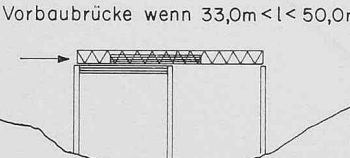
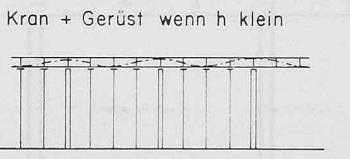
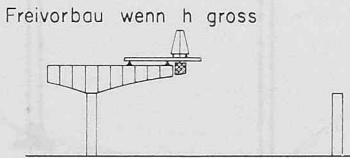
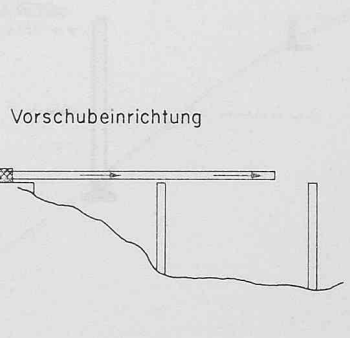
Konstruktionsart	Längsgeteilte Brücke	Quergeteilte Brücke	Vorgeschobene Brücke
Statisches System	Freigelagerter Balken ev. Durchlaufbalken 	Durchlaufbalken ev. Rahmen wenn h gross 	Durchlaufbalken ev. Rahmen wenn h gross 
Ausführungsart	Kran wenn $l < 33,0m$  Vorbaubrücke wenn $33,0m < l < 50,0m$ 	Kran + Gerüst wenn h klein  Freivorbau wenn h gross 	Vorschubeinrichtung 

Bild 1. Systeme im rationalisierten Brückenbau