

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 85 (1967)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf Festigkeitswerte von Armierungsstählen  
**Autor:** Lampert, P. / Wegmüller, A. / Thürlimann, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69425>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

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

2. Heisswassererzeugung, 3. Wirkung als Expansionsgefäß, 4. Entgasung des Heisswassersystems. Von den Vorteilen einer wirkungsvollen Speicheranlage seien erwähnt:

1. Im Falle einer Störung in der Feuerung oder an den Armaturen kann während einer bestimmten Zeit weiterhin Wärme geliefert werden.
2. Der meist geringe Wärmebedarf in der Nacht lässt sich durch den Speicher decken, so dass der Dampfkessel abgestellt und Bedienungspersonal eingespart werden kann.
3. Es ist auch möglich, den Dampfkessel im Wirkungsgrad-Bestpunkt arbeiten zu lassen und ihn nach erfolgter Aufladung des Speichers abzustellen, wodurch sich Brennstoff-Einsparungen erzielen lassen.
4. Bei Nutzbarmachung von Überschusswärme (Abfallkessel oder

Elektrokessel) ist es möglich, den Unterschied zwischen Anfall und Bedarf auszugleichen.

Wegen diesen Vorteilen gehen immer mehr Betriebe, die über eine Heisswasserheizung verfügen, dazu über, einen Heisswasserspeicher einzubauen oder bestehende Speicheranlagen zu vergrössern. Die Firma Escher Wyss hat neuerdings Speicher mit Gesamtvolumen je Apparat bis 208 m<sup>3</sup> geliefert. Dass sich dabei interessante Transport- und Montageprobleme ergeben, ist aus den Bildern 6 und 7 zu sehen. Bild 7 zeigt einen Speicher von 208 m<sup>3</sup> und 13 atü Arbeitsdruck bei der Montage. Dieser musste an Ort und Stelle fertig geschweisst werden.

Adresse des Verfassers: Dr. R. Ruegg, Escher Wyss AG, Hardstrasse 319, 8005 Zürich.

## Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf Festigkeitswerte von Armierungsstählen

Von P. Lampert, dipl. Ing., A. Wegmüller, dipl. Ing., und Prof. Dr. B. Thürlimann, Institut für Baustatik, ETH, Zürich DK 620.172:691.873

### 1. Einleitung

Es ist schon lange bekannt, dass die Dehngeschwindigkeit bei Zugversuchen an Stahl-Prüfstäben einen bedeutenden Einfluss auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit hat. Entsprechende systematische Versuche mit qualitativen Angaben für Baustähle sind z.B. in [1] und [2] zu finden. Im besonderen wird dort gezeigt, dass die Resultate aus konventionell durchgeführten Werk- und Laboratoriums-Versuchen im allgemeinen bis 15% über den entsprechenden statischen Werten liegen. Andererseits ist bekannt, dass diese konventionellen Versuchsergebnisse bis zu 25% unter den Festigkeitswerten liegen, die bei explosionsartig aufgebracht Belastung erzielt werden (siehe z.B. [3]).

Bei der Auswertung von statischen Versuchen an Bauteilen aus Stahl, Stahlbeton und Spannbeton stellt sich die Frage, welche Festigkeitswerte für die Stähle zu verwenden sind. Solche Versuche werden im allgemeinen nicht mit einer konstanten Dehngeschwindigkeit durchgeführt. Im elastischen Bereich ist es durchaus angebracht, auf einer gewählten Belastungsstufe die Last konstant zu halten, um die notwendigen Ablesungen vorzunehmen. Hingegen ist es im unelastischen Bereich viel zweckmässiger, auf einer Belastungsstufe eine bestimmte Verformungsgrösse (z.B. die Durchbiegung) konstant zu halten. Es können dann in aller Ruhe die Beobachtungen gemacht werden. Während dieser Zeit sinkt jedoch die Pressenkraft auf einen statischen Wert ab, der sich relativ rasch, d.h. innerhalb von zwei bis fünf Minuten stabilisiert. Selbstverständlich sind dabei langdauernde Kriechvorgänge nicht erfasst. Zur Auswertung der entsprechenden Versuchsergebnisse sind daher die statischen Festigkeitswerte der Materialien, insbesondere der Stähle notwendig.

Schliesslich werden diese Werte auch zur Berechnung der Tragfähigkeit von Bauteilen und Bauwerken benötigt, die durch statische Lasten beansprucht sind.

Aus diesen Gründen wurde vom Institut für Baustatik, Abt. Massivbau, eine Versuchsreihe mit vier in der Schweiz verwendeten Armierungstahlsorten durchgeführt. Erstens galt es, den Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit festzustellen. Zweitens sollte durch Vergleich die ungefähre Abweichung

zwischen den statischen Werten (Dehngeschwindigkeit null) und solchen aus konventionellen Routine-Prüfungen festgestellt werden.

### 2. Definitionen

Es werden die folgenden Begriffe gebraucht:

*Messstrecke*  $l_0$ : Ursprüngliche Länge des Abschnittes eines Prüfstabes, über den die Längenänderung  $\Delta l_0$  gemessen wird.

*Einspannlänge*  $l_e$ : Ursprüngliche Länge des Prüfstabes zwischen den Einspannbacken der Prüfmaschine. Die an den Prüfstäben angebrachten konischen Verbreiterungen oder angeschweissten Schrauben werden zu den Backen gezählt.

*Jochgeschwindigkeit*  $v_j$ : Distanzänderung  $\Delta l_e$  der Einspannbacken pro Zeiteinheit  $dt$ .

$$v_j = \frac{d}{dt} (\Delta l_e)$$

*Dehngeschwindigkeit*  $\dot{\epsilon}_e$ : Durch die Einspannlänge  $l_e$  dividierte Jochgeschwindigkeit  $v_j$ .

$$\dot{\epsilon}_e = \frac{v_j}{l_e} = \frac{1}{l_e} \frac{d}{dt} (\Delta l_e)$$

*Effektive Dehngeschwindigkeit*  $\dot{\epsilon}_0$ : Durch die Messstrecke  $l_0$  dividierte Längenänderung  $\Delta l_0$  der Messstrecke pro Zeiteinheit  $dt$ .

$$\dot{\epsilon}_0 = \frac{1}{l_0} \frac{d}{dt} (\Delta l_0) = \frac{d\epsilon_0}{dt}$$

*Fließspannung*  $\sigma_f$ : Spannung, bei der die Belastung trotz zunehmender Dehnung erstmals konstant bleibt. Diese Grenze tritt nur bei naturharten Stählen auf.

*Streckgrenze*  $\sigma_s$ : Spannung, bei der die bleibende Dehnung  $\epsilon_0 = 0,2\%$  der ursprünglichen Messstrecke  $l_0$  beträgt. Diese Grenze ist die «Ersatz-Fließgrenze» bei kaltverformten Stählen.

*Zugfestigkeit*  $\beta_z$ : Nominelle Spannung, bestimmt aus dem Quotienten aus Höchstlast  $P_{max}$  und Anfangsquerschnitt  $F_0$ .

*Dynamische Fließspannung*  $\sigma_{fa}$ , *dynamische Streckgrenze*  $\sigma_{sa}$ , *dynamische Zugfestigkeit*  $\beta_{za}$ : Fließ-, Streck-, Bruchgrenze bei einer bestimmten, von null verschiedenen Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_0$ .

*Statische Fließspannung*  $\sigma_{fs}$ , *statische Streckgrenze*  $\sigma_{ss}$ , *statische Zugfestigkeit*  $\beta_{zs}$ : Fließ-,

Streck-, Bruchgrenze bei der Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_0 = +0$ .

*Hydraulische Prüfmaschine*: Die Belastung wird durch eine hydraulische Presse erzeugt. Die Kraft kann aus dem hydraulischen Druck oder aus einem speziellen Dynamometer hergeleitet werden. Im allgemeinen eignen sich solche Maschinen nicht, um konstante Dehngeschwindigkeiten über dem gesamten Prüfbereich einhalten zu können.

*Mechanische Prüfmaschine*: Die Bewegung der Einspannjoche erfolgt mechanisch, normalerweise durch gegenläufiges Drehen von zwei Spindeln. Ist die Maschine starr gebaut, so lassen sich durch die Steuerung der Spindeldrehzahl entsprechende Dehngeschwindigkeiten einstellen, die über den ganzen Prüfbereich konstant sind. Die Kraftmessung erfolgt mittels eines Dynamometers.

### 3. Versuchsplanung

Um den Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit von Armierungsstählen schweizerischer Provenienz zu erfassen, wurden Zugversuche auf einer mechanischen Prüfmaschine vorgesehen. Als einziger Parameter wurde die Dehngeschwindigkeit gewählt. Es wurden vier in der Schweiz gebräuchliche Armierungsstähle verwendet, nämlich:

(B) Box-Stahl,  $\varnothing$  12 mm, naturhart

(C) Caron-Stahl, Caron-Abmessung 10,9 mm, kaltverformt

(R) Roto-Stahl,  $\varnothing$  12 mm, kaltverformt

(T) Tor-Stahl 42,  $\varnothing$  12 mm, kaltverformt

(Die Buchstaben in Klammern bedeuten die im folgenden verwendeten Abkürzungen)

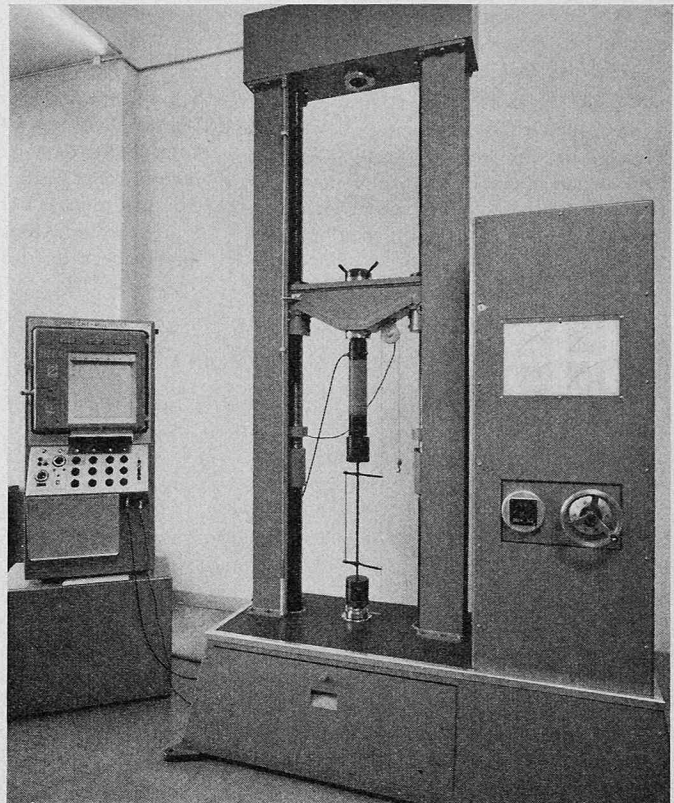
Alle Stähle einer Gruppe weisen die selbe nominelle Querschnittsfläche auf und stammen aus der gleichen Charge. Pro Gruppe wurden 10 Prüfstäbe geprüft, wobei jeweils für zwei die Dehngeschwindigkeit die selbe war. Die geplanten Dehngeschwindigkeiten sowie die dazugehörige Numerierung der Stäbe sind aus Tab. I, Kol. 1 und 2, ersichtlich. Der grösste Wert entspricht der nach amerikanischen Bestimmungen [4] höchstzulässigen Dehngeschwindigkeit für den Fließbereich (bei Prüfung mit mechanischer Maschine). Die Dehngeschwindigkeit wurde je Stab während des ganzen Versuches konstant gehalten. Somit konnte zu jeder Geschwindigkeit ein dazu gehörendes Spannungs-



Tabelle I. Numerierung, Dehn- und Jochgeschwindigkeit, Einspannlänge und Messstrecke der Prüfstäbe der vier Stahlsorten B, C, R und T

1	2	3		4			5	
Stabnummer	Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_e$ %/min	Einspannlänge $l_e$ cm		Messstrecke $l_0$ cm			Jochgeschwindigkeit $v_j = \dot{\epsilon}_e l_e$ cm/min	
		B, C, R	T	B	C, R	T	B, C, R	T
1 und 2	0,3						0,15	0,12
3 und 4	0,6						0,30	0,24
5 und 6	1,2	50	40	20	40	30	0,60	0,48
7 und 8	3,0						1,50	1,20
9 und 10	6,25						3,125	2,50

Bild 1. Prüfmaschine. Rechts Motorenkasten, in der Mitte Zerreissmaschine mit Prüfstab, Lastmesswerk und Potentiometer, links Commandopult und Schreiber



Dehnungs-Diagramm aufgenommen werden. Die daraus abzulesenden Fließ-, resp. Streck- und Bruchgrenzen sind die dieser Dehngeschwindigkeit zugeordneten dynamischen Festigkeitswerte.

Um auch die statischen Werte zu erhalten, wurde während des Versuches die Dehngeschwindigkeit einige Male bis auf null verlangsamt. In wenigen Minuten fiel die Belastung auf die statische Last ab. Durch Vorversuche wurde diese Wartezeit auf 2 Minuten festgesetzt, da nachher kein nennenswerter Abfall mehr festgestellt wurde. Diese statische Last könnte auch dadurch erreicht werden, dass ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm extrem langsam aufgenommen würde. Dies ist jedoch viel zu zeitraubend; Vorversuche und auch amerikanische Untersuchungen [2] zeigten, dass selbst niedrige Geschwindigkeiten eine ansehnliche Erhöhung der Festigkeitswerte bewirken.

In Anbetracht der kleinen Zahl der geprüften Stäbe ist es natürlich klar, dass nur ein Aufzeigen des Sachverhaltes und eine Abschätzung der Grössenordnung möglich war.

#### 4. Versuchsdurchführung

##### 4.1. Prüfmaschine

Diese Zugversuche wurden auf der neuen, in der Metallabteilung der EMPA stehenden «Epprecht-Multitest Zerreissmaschine ZM 50 A mit Tri-Plot Kompensationsschreiber» ausgeführt (Bild 1). Die beiden vertikalen Spindeln werden mechanisch gedreht. Dadurch verschiebt sich das in diesen Spindeln gelagerte Joch. Seine Geschwindigkeit kann in einem grossen Bereich lastunabhängig eingestellt werden. Die Lastmessung erfolgt mit einem zwischen Prüfstab und Joch in der Stabachse angeordneten induktiven Geber (Bild 1).

Die Verformung kann auf verschiedene Arten gemessen werden. Für diese Versuchs-

serie ist ein Verfahren interessant, das erlaubt, das ganze Spannungs-Dehnungs-Diagramm bis zum Bruch in vernünftigen Massstab in einem Zuge aufs Papier zu bringen. Zu diesem Zweck eignet sich das Mess-Potentiometer, das unter dem Joch befestigt ist (Bild 1) und die Längenänderung der Messstrecke registriert.

Nach Angabe der Lieferfirma Contraves AG, Zürich, betragen die Messtoleranzen bei der Last  $\pm 0,5\%$  und die Reproduzierbarkeit  $\pm 0,05\%$  vom Skalenendwert (hier 10 t). Bei der Verformung betragen die entsprechenden Werte  $\pm 1\%$  und  $\pm 0,2\%$  vom Endwert (hier 250 mm).

##### 4.2. Prüfstab

Die Einspannlängen und Messstrecken der Prüfstäbe sind aus Tab. I, Kol. 3 und 4, ersichtlich.

Wie aus dieser Tabelle erkennbar ist, wurden für die verschiedenen Stahlsorten unterschiedliche Messstrecken verwendet. Sie ergaben sich aus dem Umstand, dass die Verformungsmessung (Klemmfedern) der unterschiedlichen Bruchdehnung der Stahlsorten angepasst werden musste. Diese beiden Klemmfedern (Bild 1) sind auf der einen Seite durch einen allseitig drehbar gelagerten Stab zusammengehalten und am Prüfstab selbst durch zwei gegenüberliegende Schrauben fixiert. Die Fäden sind am Klemmenarm befestigt, dessen Länge so gewählt wurde, dass die effektive Dehnung verdreifacht wird. Zusammen mit der doppelten Übersetzung des Schreibers wurde die effektive Verlängerung der Messstrecke in sechsfacher Vergrößerung aufs Papier gebracht.

Auf beiden Seiten des Prüfstabes wurden Schraubengewinde  $\varnothing 16$  mm angeschweisst, die sich in die vorhandenen Muffen der Prüfmaschine einschrauben liessen. Die durch ungewollte Exzentrizität der Schrauben bedingten Biegespannungen erklären ein Ab-

weichen von der elastischen Geraden. Sobald jedoch die äussersten Stabfasern zu fließen beginnen, verschwinden diese Momente und beeinflussen das Spannungs-Dehnungs-Diagramm nicht mehr.

Der Prüfstab wurde auf die übliche Weise geritzt und damit nachträglich die Stahldehnungen über den Einschnürungsbereich  $\lambda_5$ , resp.  $\lambda_{10}$  bezüglich des fünf-, resp. zehnfachen Stabdurchmessers bestimmt. Die Gleichmassdehnung  $\lambda_{GI}$  wurde einerseits nach der Formel  $\lambda_{GI} = 2\lambda_{10} - \lambda_5$  berechnet, andererseits auch in einem Abstand von 5 d von der Einschnürung entfernt gemessen.

Die effektive Fläche des Stabes wurde mit der Beziehung  $F_{eff} = G/\gamma \cdot l$  und  $\gamma = 7,85 \text{ t/m}^3$  gewichtsmässig berechnet.

##### 4.3. Dehngeschwindigkeit

Eine über den ganzen Bereich konstante effektive Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_0$  zu erhalten, ist auch bei einer mechanischen Prüfmaschine schwierig.

Hingegen ist die Jochgeschwindigkeit  $v_j$  konstant einstellbar und lastunabhängig. Es ist deshalb bequem, die durch die Einspannlänge  $l_e$  dividierte Jochgeschwindigkeit als Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_e$  einzuführen. In Tab. I, Kol. 5, sind die gewählten Jochgeschwindigkeiten zusammengestellt.

Setzt man  $\epsilon_e = \epsilon_0 + \epsilon_M$ , wobei  $\epsilon_M$  die Elastizität der Maschine und die Nachgiebigkeit der Einspannung erfasst, so ist  $\epsilon_0$  immer kleiner als  $\epsilon_e$ . Da  $\epsilon_M$  positiv ist, ist auch  $\dot{\epsilon}_0$  stets kleiner als  $\dot{\epsilon}_e$ . Diese Differenz ist am grössten im elastischen Bereich, in welchem die Spannung nicht von  $\dot{\epsilon}_0$  abhängt. In Bereichen, in welchen die Belastung konstant bleibt, ändert sich  $\epsilon_M$  nicht, so dass sowohl über das Fließplateau wie auch beim Bruch  $\dot{\epsilon}_0$  mit  $\dot{\epsilon}_e$  übereinstimmt. Bei der Streckgrenze ist jedoch  $\dot{\epsilon}_0$  etwas kleiner als  $\dot{\epsilon}_e$ . Bei der verwendeten Verankerung liegt die Differenz



bei 10%. Es ist deshalb begründet, den interessierenden Fließ-, Streck- und Bruchgrenzen die Dehngeschwindigkeiten  $\dot{\epsilon}_e$  zuzuordnen.

Für die Dehnungshalte  $\dot{\epsilon}_e = 0$  wurde die Drehung der Spindeln abgestellt, womit das Joch stehen blieb. Es galt zu kontrollieren, dass bei diesem Anhalten keine Dehnungsabnahme auftrat. Dies wäre möglich durch die Elastizität der Maschine und einen even-

tuellen Schlupf in der Einspannung des Prüfstabes. Zur Verhinderung dieses Schlupfes wurden die unter 4.2. beschriebenen Schraubenverankerungen verwendet. Die Wirksamkeit dieser Methode wurde dadurch kontrolliert, dass bei Halten im elastischen Bereich kein Lastabfall auftrat. Die Rückfederung der Maschine wurde durch Anbringen einer Messuhr zwischen den Einspannbacken überprüft.

Tabelle II. Zusammenstellung der Resultate für Box-Stahl

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Stab- nummer	$F_{eff}$	$\sigma_{fd}$	$\sigma_{fs}$	$\beta_{zd}$	$\beta_{zs}$	$\frac{\sigma_{fd}}{\sigma_{fs}}$	$\frac{\beta_{zd}}{\beta_{zs}}$	$\lambda_5$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{Gl}^{1)}$ gemessen	$\lambda_{Gl} =$ $2\lambda_{10} - \lambda_5$	$\psi$
	cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>			%	%	%	%	%
B1	1,148	4,11	3,88	5,88	5,66	1,059	1,039	30,3	26,8	21,7	23,3	58,4
B2	1,146	4,15	3,93	5,86	5,62	1,056	1,043	32,8	26,2	17,0	19,6	56,3
B3	1,155	4,25	3,98	5,97	5,68	1,068	1,051	29,3	26,6	20,3	23,9	55,4
B4	1,152	4,24	3,96	5,97	5,66	1,071	1,055	31,5	26,6	21,0	21,7	58,6
B5	1,153	4,28	3,99	5,95	5,63	1,073	1,057	30,2 <sup>2)</sup>	26,8 <sup>2)</sup>	18,0	23,4	39,4 <sup>2)</sup>
B6	1,148	4,19	3,92	5,87	5,55	1,069	1,058	33,3	27,5	20,0	21,7	57,3
B7	1,153	4,25	3,94	5,87	5,53	1,079	1,062	31,3	25,3	19,2	19,3	56,4
B8	1,150	4,07	3,76	5,70	5,35	1,082	1,065	30,9	26,2	18,0	21,5	52,9
B9	1,151	4,25	3,90	5,91	5,52	1,090	1,071	28,7 <sup>2)</sup>	25,2 <sup>2)</sup>	22,0	21,7	49,6 <sup>2)</sup>
B10	1,153	4,27	3,94	5,91	5,51	1,084	1,073	34,9	27,9	19,2	20,9	55,4

<sup>1)</sup> Erläuterung im Text unter 5.1.

<sup>2)</sup> Bruch ausgehend von der Befestigungsstelle einer Klemmfeder

Tabelle III. Zusammenstellung der Resultate für Caron-Stahl

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Stab- nummer	$F_{eff}$	$\sigma_{sd}$	$\sigma_{ss}$	$\beta_{zd}$	$\beta_{zs}$	$\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{ss}}$	$\frac{\beta_{zd}}{\beta_{zs}}$	$\lambda_5$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{Gl}^{1)}$ gemessen	$\lambda_{Gl} =$ $2\lambda_{10} - \lambda_5$	$\psi$
	cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>			%	%	%	%	%
C1	1,110	4,96	4,83	5,58	5,37	1,027	1,039	— <sup>2)</sup>	—	3,5	—	58,3
C2	1,111	4,93	4,78	5,58	5,38	1,031	1,037	19,2	12,2	4,4	5,2	63,1
C3	1,110	4,86	4,70	5,57	5,32	1,034	1,047	19,2	12,6	6,1	6,0	71,0
C4	1,110	4,89	4,72	5,66	5,41	1,036	1,046	18,9	12,4	5,0	5,9	63,1
C5	1,106	4,89	4,73	5,64	5,37	1,034	1,050	18,2	12,1	4,9	6,0	61,9
C6	1,111	4,85	4,68	5,62	5,34	1,036	1,052	19,6	12,9	5,1	6,2	64,2
C7	1,106	4,97	4,78	5,69	5,37	1,040	1,060	— <sup>2)</sup>	—	4,5	—	59,4
C8	1,108	4,99	4,77	5,70	5,37	1,046	1,061	— <sup>2)</sup>	—	3,9	—	61,7
C9	1,108	4,97	4,73	5,66	5,32	1,051	1,064	18,5	12,7	5,1	6,9	61,7
C10	1,109	4,87	4,68	5,64	5,31	1,041	1,062	— <sup>2)</sup>	—	4,1	—	61,7

<sup>1)</sup> Erläuterung im Text unter 5.1.

<sup>2)</sup> Einschnürung nahe der Einspannstelle nach Erreichen der Zugfestigkeit

Tabelle IV. Zusammenstellung der Resultate für Roto-Stahl

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Stab- nummer	$F_{eff}$	$\sigma_{sd}$	$\sigma_{ss}$	$\beta_{zd}$	$\beta_{zs}$	$\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{ss}}$	$\frac{\beta_{zd}}{\beta_{zs}}$	$\lambda_5$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{Gl}^{1)}$ gemessen	$\lambda_{Gl} =$ $2\lambda_{10} - \lambda_5$	$\psi$
	cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>			%	%	%	%	%
R1	1,075	5,27	5,12	5,68	5,47	1,029	1,038	15,2	9,3	1,3	3,4	63,2
R2	1,075	5,28	5,11	5,67	5,43	1,033	1,044	14,8	9,2	4,1	3,6	53,3
R3	1,078	5,27	5,08	5,74	5,49	1,037	1,046	18,5	11,4	3,0	4,3	56,8
R4	1,075	5,27	5,11	5,83	5,57	1,031	1,047	18,5	11,2	3,0	3,9	60,0
R5	1,078	5,37	5,16	5,85	5,52	1,041	1,060	16,7	11,0	3,0	5,3	60,1
R6	1,082	5,39	5,17	5,86	5,56	1,043	1,054	17,2	10,5	3,0	3,8	59,3
R7	1,071	5,35	5,12	5,93	5,55	1,045	1,068	16,5	10,1	3,2	3,7	54,3
R8	1,076	5,41	5,17	5,72	5,39	1,046	1,061	19,6	11,1	2,8	2,6	61,1
R9	1,078	5,39	5,10	5,80	5,42	1,057	1,070	20,0	12,5	1,9	5,0	57,8
R10	1,074	5,39	5,13	5,97	5,57	1,051	1,072	16,5	10,2	3,1	3,9	53,2

<sup>1)</sup> Erläuterung im Text unter 5.1.

## 5. Versuchsergebnisse

### 5.1. Zusammenstellung

In den Tabellen II, III, IV und V sind für jede Stahlsorte die statischen und dynamischen Fließ-, resp. Streck- und Bruchgrenzen, sowie deren Verhältnisse zusammengestellt. Sämtliche Spannungswerte sind dabei auf die gewichtsmässig bestimmten effektiven Flächen bezogen. Informationshalber sind noch die üblichen Dehnwerte  $\lambda_5$ ,  $\lambda_{10}$  und  $\lambda_{Gl}$  sowie die Kontraktion  $\psi$  angegeben. Der Wert für  $\lambda_{Gl}$  in Kol. 11 wurde über 10 cm, ausgehend von einem Abstand 5 d von der Einschnürung, am längeren Bruchstück gemessen.

In Bild 2 wurde für jede Stahlsorte ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm der mittleren Geschwindigkeit schematisch nachgezeichnet. Es ist zu beachten, dass für die verschiedenen Stahlsorten die Dehnung aus Messungen über verschieden lange Messstrecken ermittelt wurde. Deshalb kommt der Einfluss der grösseren Dehnung im Einschnürungsbereich unterschiedlich zur Geltung. Als dynamische Flie遡spannung wurde der Mittelwert über das Flie遡plateau, als dynamische Streckgrenze der Schnittpunkt der Spannungs-Dehnungs-Kurve mit der um 0,2% verschobenen elastischen Geraden ( $E = 2,10 \cdot 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>) angenommen. Speziell an diesen Stellen wurden die Halte der Dehngeschwindigkeit gewählt, so dass die zugehörigen statischen Werte direkt ablesbar sind.

In Bild 3 sind pro Stahlsorte die zehn statischen Fließ-, resp. Streck- und Bruchgrenzen in einem Histogramm aufgetragen. Die Stabnummern sind in das entsprechende Feld eingetragen. Es ist im besonderen ersichtlich, dass der statische Wert nicht von der vorausgehenden Dehngeschwindigkeit abhängig ist.

Zeichnet man die in den Tabellen II, III, IV und V, Kol. 7 und 8, berechneten Quotienten der dynamischen und statischen Festigkeitswerte als Funktion der Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_e$  auf, so ergibt sich Bild 4. Diese Diagramme zeigen die direkte Abhängigkeit der dynamischen Werte von  $\dot{\epsilon}_e$ . Die dynamischen Fließ-, Streck- und Bruchgrenzen sind umso höher, je grösser die Dehngeschwindigkeit ist.

### 5.2. Flie遡spannung naturharter Stähle

Bei der Aufnahme eines Spannungs-Dehnungs-Diagrammes wird auf der Dehnungsaxe der Mittelwert über die Messstrecke aufgezeichnet. Es sind aber lokal ganz andere Dehnungsverhältnisse vorhanden. Ein Beispiel dafür ist das Flie遡plateau eines naturharten Stahles [5, 6]. Werden sehr kurze Stücke innerhalb der Messstrecke beobachtet, so besitzen sie entweder die Flie遡dehnung

$$\epsilon_f = \sigma_f / E,$$

wenn noch keine Gleitung eingetreten ist, oder sie liegen bereits am Beginn des Verfestigungsbereiches, wenn Gleiten bereits stattgefunden hat. Dazwischen existiert keine andere Dehnung; sind wir z.B. im Spannungs-Dehnungs-Diagramm in der Mitte des Flie遡plateaus angelangt, so heisst das, dass die eine Hälfte der Messstrecke am Beginn der Verfestigung steht, während die andere noch gar nicht zu flie遡en begonnen hat. Erst wenn auf die ganze Stablänge Flie遡en eingetreten ist, wird die nun einsetzende Verfestigung im Diagramm sichtbar.

## Dynamische Flie遢pannung

Als dynamische Flie遢pannung einer bestimmten Dehngeschwindigkeit wird der erreichte Mittelwert 黚er das Flie遢plateau eingef黨rt (Bild 2). Dieser Wert ist nur mit der Angabe der Dehngeschwindigkeit definiert.

Auch die «obere Flie遢grenze» ist ein dynamischer Wert, der dadurch bedingt ist, dass mehr Spannung ben鰏tigt wird, um den Gleitprozess einzuleiten, als um ihn aufrecht zu erhalten [5]. Diese Grenze ist weiter abh鋙ngig von der verwendeten Pr黤maschine, der Form des Pr黤lings, usw. Sie kann nicht beobachtet werden, wenn der Flie遢vorgang durch einen ungleichm鋝sigen Stabquerschnitt (Rippen), durch St鰃rungen an den Einspannstellen oder durch Eigenspannungen (z.B. aus Abk黨lung [7]) beeinflusst ist.

## Statische Flie遢spannung

Die statische Flie遢spannung, welche durch kurze Halte in der Dehngeschwindigkeit erreicht wird (Bild 2), ist von der vorausgehenden Geschwindigkeit und der Pr黤maschine unabh鋙ngig. Sie kann auch auf einer hydraulischen Maschine erhalten werden, wenn z.B. durch Beobachtung einer Messuhr das Joch w鋒rend des Flie遢s angehalten wird, indem man die Ölzufuhr drosselt. Dies hat mit Sorgfalt zu geschehen, damit der statische Wert von der positiven Seite her erreicht wird ( $\dot{\epsilon}_e = +0$ ) und kein Dehnungsr點kgang eintritt.

Bei erneutem Dehnen nach dem Halt steigt die Last vom statischen zum dynamischen Niveau empor. Diese Differenz rührt davon her, dass es einerseits einer erneuten Spannungszunahme bedarf, um neue Gleitebenen auszubilden, und dass andererseits die Ausbildung dieser Ebenen relativ langsam vor sich geht, so dass in der Regel die Gleitnichte mit der Dehngeschwindigkeit Schritt zu halten vermag [5]. Wird nun die Dehngeschwindigkeit pl鰓zlich gestoppt, so bilden sich diskrete Gleitebenen in viskoser Weise trotzdem noch fertig aus, was zu einer Entlastung auf die statische Last f黨rt, da die beiden Einspannbacken unbeweglich bleiben. Die m鰃liche Abh鋙ngigkeit dieser Last von anderen Parametern wie Durchmesser, Einspannl鋙nge, usw. wurde im vorliegenden Programm nicht untersucht.

## 5.3. Streckgrenze kaltverformter Stähle

Kaltverformte Stähle sind bereits in den Verfestigungsbereich hineingezogene oder -gedrehte Stähle. Das Flie遢plateau wird bereits bei der Kaltstreckung 黚erwunden. Die Verfestigung ist dadurch bedingt, dass das Gleiten durch immer neue Hindernisse erschwert wird, an denen der Gleitvorgang schliesslich zum Stillstand kommt. Diese Hindernisse nehmen mit zunehmender Deformation an Zahl zu und bestehen vorwiegend aus einer Verspannung der Kristalle an den Korngrenzen. Eingehende Diskussionen 黚er die Verfestigung finden sich in der Literatur ([8, 9], u.a.).

Der Abfall von der dynamischen zur statischen Streckgrenze stellt sich ebenfalls beim Halt in der Dehngeschwindigkeit ein. Es bilden sich auch hier die in Bewegung befindlichen Gleitebenen noch fertig aus, was bei unbeweglichen Einspannbacken zu einer Entlastung auf die statische Last f黨rt. Da sich bei der Streckgrenze die Gleitungen noch nicht gleichm鋝sig 黚er den ganzen Stab

erstrecken, ist der Abfall bei der Streckgrenze durchwegs kleiner als bei der Zugfestigkeit (Bild 4). Bei Wiederbelastung ist eine erneute dynamische Spannungszunahme notwendig, um den Gleitprozess in Gang zu bringen (Bild 2).

## 5.4. Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Wird ein Stab gen黡gend weit in den Verfestigungsbereich gezogen, so bilden sich die neuen behinderten Gleitungen gleichm鋝sig

auf die ganze Stabl鋙nge aus. Wie erwartet, unterscheiden sich im Lastabfall bei der Zugfestigkeit die kaltverformten nicht mehr wesentlich von den naturharten Stählen. Offensichtlich ist jedoch der Abfall bei der Zugfestigkeit kleiner als derjenige bei der Flie遢spannung (Bild 4), was auf einen Unterschied zwischen den plastischen Verformungen im Flie遢- und Verfestigungsbereich hinweist.

Tabelle V. Zusammenstellung der Resultate f黡r Tor-Stahl

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Stabnummer	$F_{eff}$	$\sigma_{sd}$	$\sigma_{ss}$	$\beta_{zd}$	$\beta_{zs}$	$\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{ss}}$	$\frac{\beta_{zd}}{\beta_{zs}}$	$\lambda_s$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{GI}^1$ gemessen	$\lambda_{GI} = 2\lambda_{10} - \lambda_s$	$\psi$
	cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>			%	%	%	%	%
T1	1,148	4,76	4,63	5,72	5,53	1,028	1,034	18,3	11,8	4,2	5,3	61,5
T2	1,148	4,93	4,80	5,83	5,62	1,027	1,037	18,3	12,0	4,2	5,7	60,4
T3	1,149	4,84	4,70	5,78	5,54	1,030	1,043	18,3	11,9	4,7	5,5	58,4
T4	1,148	4,61	4,46	5,48	5,23	1,034	1,048	18,5	12,5	6,0	6,5	59,4
T5	1,149	5,04	4,87	5,93	5,63	1,035	1,053	19,8	12,7	4,4	5,6	61,5
T6	1,148	4,88	4,72	5,74	5,47	1,034	1,049	20,4	13,3	4,7	6,2	58,4
T7	1,147	4,73	4,53	5,65	5,34	1,044	1,058	19,7	12,9	4,6	6,1	58,4
T8	1,149	4,87	4,68	5,81	5,46	1,041	1,064	— <sup>2)</sup>	—	4,8	—	—
T9	1,148	4,94	4,72	5,88	5,51	1,047	1,067	20,0	13,3	4,8	6,6	60,5
T10	1,149	4,74	4,49	5,69	5,31	1,056	1,072	20,0	13,3	5,0	6,6	59,4

<sup>1)</sup> Erl鋙uterung im Text unter 5.1.

<sup>2)</sup> Einschn黡rung nahe der Einspannstelle nach Erreichen der Zugfestigkeit

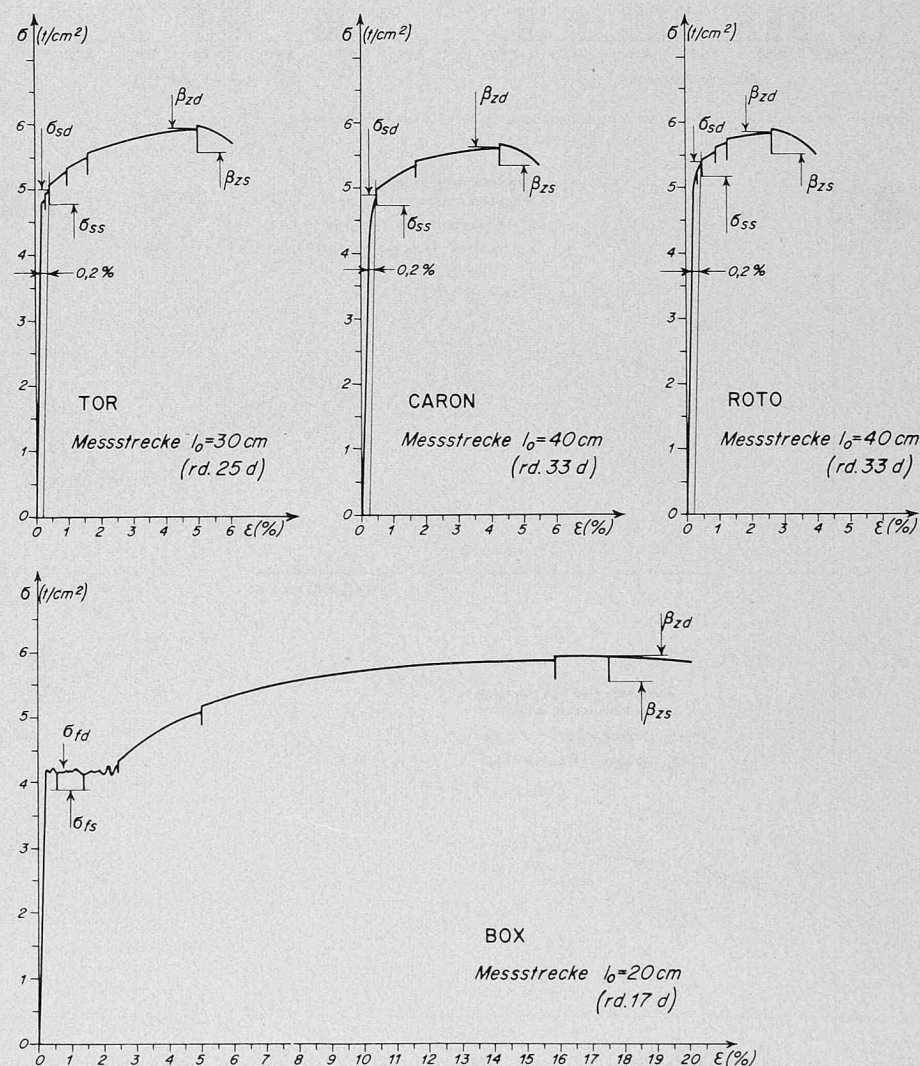


Bild 2. Schematische Spannungs-Dehnungs-Diagramme f黡r die vier Stahlsorten bei  $\dot{\epsilon}_e = 1,20\%/min$



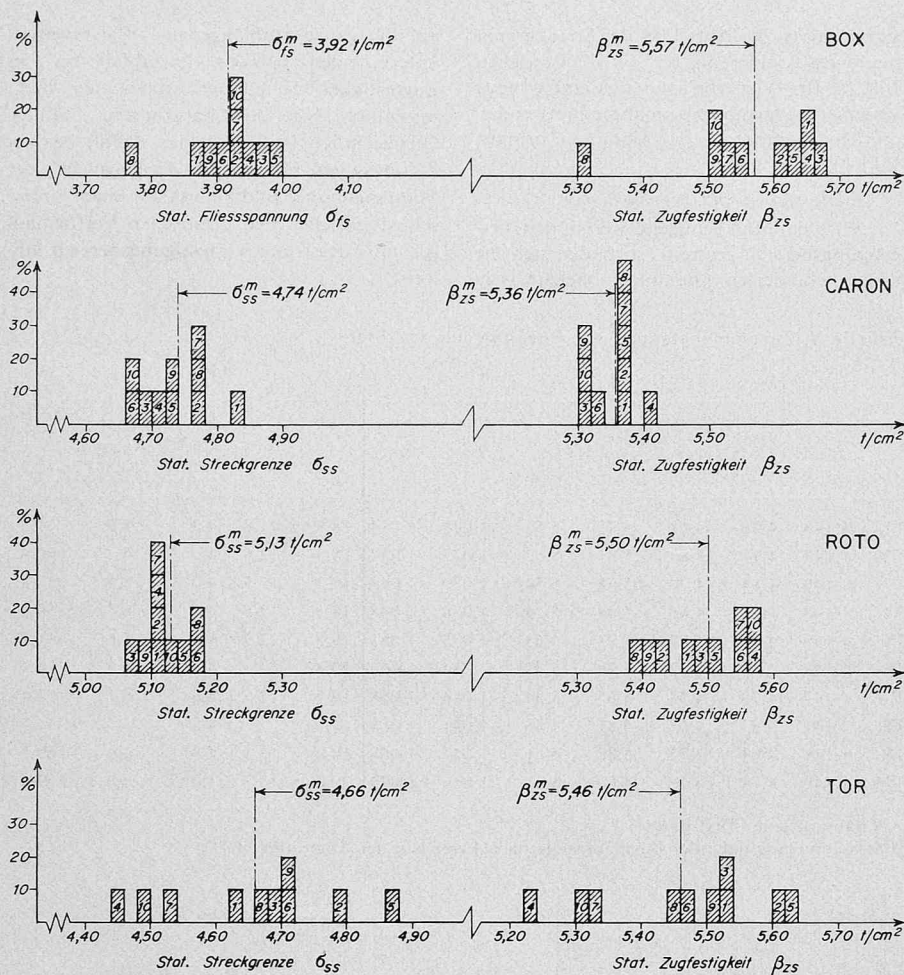


Bild 3. Histogramme der statischen Festigkeitswerte (zehn Prüfstäbe)

Für die gebräuchlichen Bruchdehnungen  $\lambda_s$ ,  $\lambda_{10}$  und  $\lambda_{GI}$  wurde in dieser Versuchsserie keine Abhängigkeit von der Dehngeschwindigkeit festgestellt. Ein für die unelastische Verformbarkeit von Stahlbetonbauteilen massgebender Wert ist die Gleichmassdehnung [10], also derjenige Dehnungswert, der bei Erreichen der Zugfestigkeit vor dem Beginn des Einschnürens auftritt. Aus den Tabellen II, III, IV und V ist ersichtlich, dass dieser Wert für die verschiedenen Stahlsorten sehr unterschiedlich ist.

## 6. Konventionelle Durchführung der Zugversuche

Schliesslich sollte noch der Unterschied zwischen den statischen Festigkeitswerten und den Resultaten aus laufenden Prüfungen abgeschätzt werden, wie sie die Stahlproduzenten oder Prüflaboratorien durchführen. Dazu wurden pro Stahlsorte Werkatteste verlangt und zudem konventionelle Zugversuche durchgeführt.

Die Fließ-, Streck- und Bruchgrenzen nach Werkattest sind in Tab. VI, Kol. 2, zusammengestellt. Diese Prüfungen wurden durchwegs auf hydraulischen Maschinen ausgeführt. Die Resultate wurden auf die effektive Fläche umgerechnet. Wie erwartet, liegen sie deutlich über den mittleren statischen Werten der vorliegenden Versuchsserie, die ebenfalls in Tab. VI, Kol. 4, zusammengefasst sind.

Die konventionellen Zugversuche wurden auf einer hydraulischen Mohr- und Federhaff-Zerreissmaschine ZPD s 10 der EMPA durchgeführt. Je Stahlsorte wurde ein Probestab mit einer Belastungsgeschwindigkeit im elastischen Bereich von 1 kg/mm² pro Sekunde

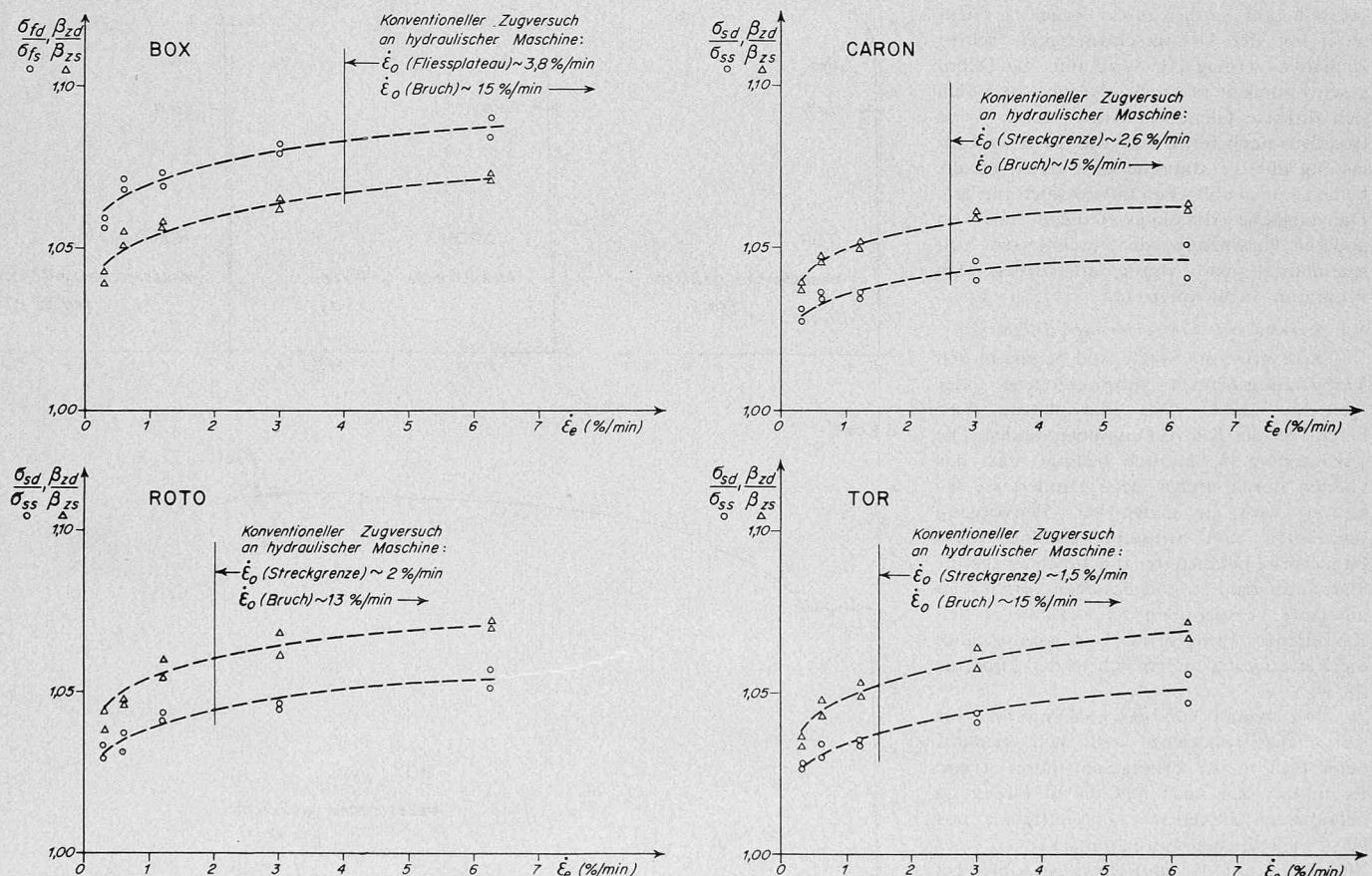


Bild 4. Verhältnisse der dynamischen zu den statischen Festigkeitswerten bei Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit in Funktion der Dehngeschwindigkeit

geprüft. Die Ergebnisse sind in Tab. VI, Kol. 3, eingetragen und weichen z.T. vom Werkattest ab, wie aus den Verhältnissen in Tab. VI, Kol. 5 und 6, ersichtlich ist.

Um die effektive Belastungs- und vor allem die effektive Dehngeschwindigkeit ermitteln zu können, wurden die Zugversuche anhand eines Schreibers gezeitet. Die gemessene Dehngeschwindigkeit ist in Bild 5 als Funktion der Zeit und in Bild 6 als Funktion der Spannung dargestellt. Sie nimmt nach Verlassen des elastischen Bereiches gegen den Bruch hin stark zu. In Bild 5 wurde als

Nullpunkt der Zeitaxe willkürlich das Erreichen der Fließ- resp. Streckgrenze gewählt. Die über das Spannungs-Dehnungs-Diagramm sehr ungleichmässige Dehngeschwindigkeit ist beim Bruch rund 50 mal grösser als diejenige des elastischen Bereiches und etwa 4, resp. 8 mal grösser als diejenige bei Fließ-, resp. Streckgrenze. Zum Vergleich sind die Geschwindigkeiten auch in Bild 4 eingetragen worden. Daraus ist ersichtlich, dass die Festigkeitswerte infolge der relativ hohen Dehngeschwindigkeit des konventionellen Versuches beträchtlich, d.h. bis 10%,

über den statischen Werten liegen müssen. Da die Werkversuche unter ähnlichen Bedingungen durchgeführt werden, liegen auch diese Resultate entsprechend höher.

In Bild 7 ist die effektive Belastungsgeschwindigkeit  $\dot{\sigma}$  als Funktion der Spannung aufgetragen. Wie ersichtlich, ist die Belastungsgeschwindigkeit von  $1 \text{ kg/mm}^2 \cdot \text{s}$  nur im elastischen Bereich vorhanden, wo sie ohne Einfluss auf die Festigkeitswerte bleibt. Nachher fällt sie sehr rasch ab. Somit führt die Vorschrift  $\dot{\sigma} = \text{konstant}$  im elastischen Bereich bei Verwendung einer hydraulischen

Tabelle VI. Mittlere statische Festigkeitswerte im Vergleich mit Werkattest und konventionellem Zugversuch

1	2		3		4		5		6		7
	Werkattest		konv. Zugversuch		stat. Festigkeit <sup>1)</sup>						
Stahlsorte	$\sigma_f^w, \sigma_s^w$	$\beta_z^w$	$\sigma_f^k, \sigma_s^k$	$\beta_z^k$	$\sigma_{fs}^m, \sigma_{ss}^m$	$\beta_{zs}^m$	$\frac{\sigma_f^w}{\sigma_{fs}^m}, \frac{\sigma_s^w}{\sigma_{ss}^m}$	$\frac{\beta_z^w}{\beta_{zs}^m}$	$\frac{\sigma_f^k}{\sigma_{fs}^m}, \frac{\sigma_s^k}{\sigma_{ss}^m}$	$\frac{\beta_z^k}{\beta_{zs}^m}$	$\frac{\sigma_{fs}^m}{\beta_{zs}^m}, \frac{\sigma_{ss}^m}{\beta_{zs}^m}$
	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>	t/cm <sup>2</sup>					
Box	4,24	6,04	4,28	6,00	3,92	5,57	1,082	1,084	1,092	1,077	0,70
Caron	5,11	5,48	4,95	5,76	4,74	5,36	1,078	1,023	1,044	1,075	0,88
Roto	5,19	5,76	5,20	5,98	5,13	5,50	1,012	1,048	1,014	1,088	0,93
Tor	4,82	6,02	4,83	6,00	4,66	5,46	1,034	1,102	1,036	1,098	0,85

<sup>1)</sup> Mittelwerte aus den vorliegenden Versuchsserien zu je 10 Prüfstäben

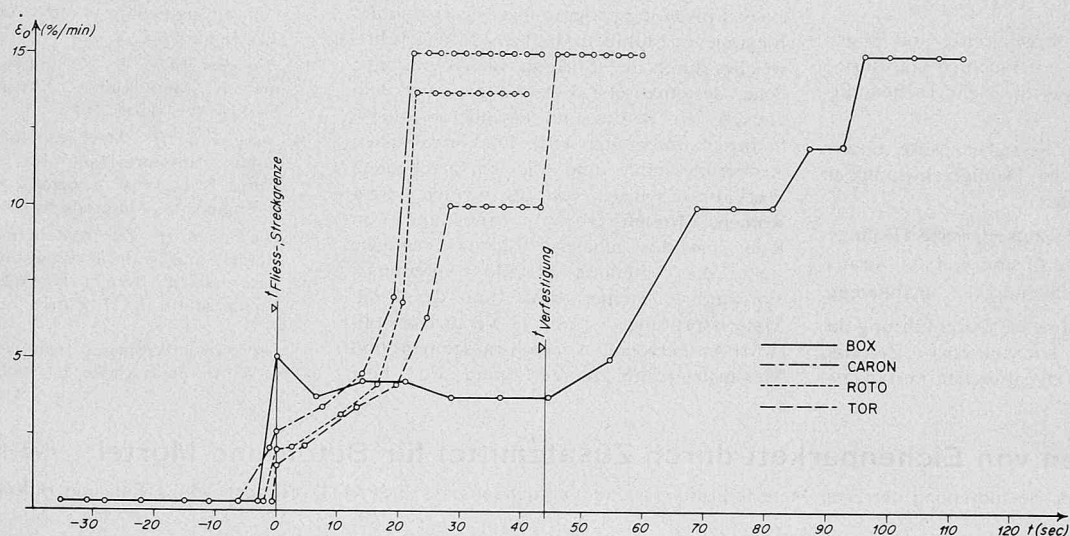


Bild 5. Konventioneller Zugversuch: Dehngeschwindigkeit als Funktion der Zeit

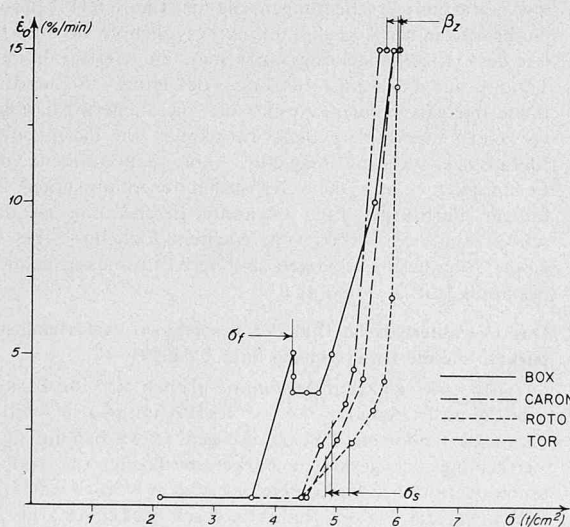


Bild 6. Konventioneller Zugversuch: Dehngeschwindigkeit als Funktion der Spannung

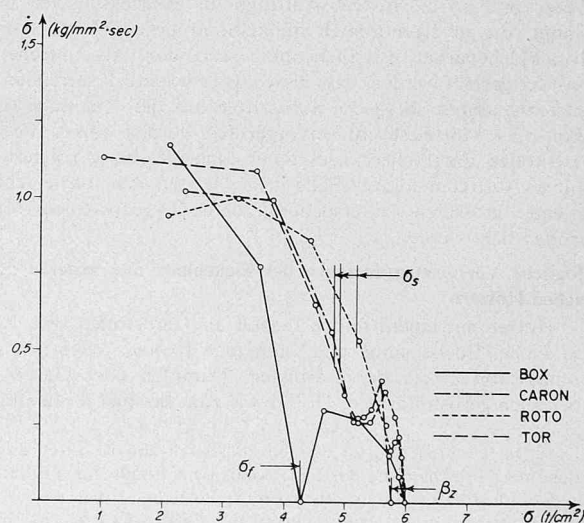


Bild 7. Konventioneller Zugversuch: Spannungsgeschwindigkeit als Funktion der Spannung



Prüfmaschine nur zu vergleichbaren Resultaten für die Fließ- und Streckgrenze, wenn die gleiche oder eine ähnlich gebaute Maschine verwendet wird. Da es üblich ist, nach dem Erreichen der Fließ-, resp. Streckgrenze den Versuch durch Vergrößerung der Ölfuhr zu beschleunigen, hängt die Zugfestigkeit zudem von der Bedienung der Presse ab. Unter diesen Umständen ist es ersichtlich, dass die Resultate verschiedener Prüflaboratorien nicht ohne weiteres vergleichbar sind, wenn keine genauen Angaben über die Dehngeschwindigkeiten vorliegen.

## 7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

An vier in der Schweiz gebräuchlichen Armierungsstählen  $\varnothing$  12 mm wurden Zugversuche durchgeführt. Der Zweck dieser Versuche bestand darin, den Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit für diese Stähle zu bestätigen. Deshalb war neben der Stahlsorte die Dehngeschwindigkeit der einzige Parameter. Die Anzahl der Prüfstäbe war begrenzt, so dass nur ein Aufzeigen des Sachverhaltes und der Grössenordnung, nicht aber eine statistische Auswertung oder ein Qualitätsvergleich der verschiedenen Stahlsorten möglich war.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit sind für alle untersuchten Stahlsorten umso höher, je grösser die Dehngeschwindigkeit ist.
- Die dynamischen Festigkeitswerte müssen durch die Angabe der Dehngeschwindigkeit charakterisiert werden.
- Die statischen Festigkeitswerte (Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon} = +0$ ) sind von der vorausgehenden Dehngeschwindigkeit unabhängig.
- Die bei konventioneller Durchführung der Zugversuche mit hydraulischen Zerreissmaschinen erzielten dynamischen Festigkeits-

werte liegen für die geprüften Stäbe  $\varnothing$  12 mm bis zu 10% über den entsprechenden statischen Werten. Sie hängen u.a. auch vom Typ der hydraulischen Maschine und von der Art der Bedienung ab.

Aus diesen Erkenntnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Nur die statischen Festigkeitswerte (d.h. Fließspannung, Streckgrenze, Zugfestigkeit) verschiedener Stahlsorten sind direkt miteinander vergleichbar.
- Abschätzungsweise liegen die statischen Festigkeitswerte rd. 10% unter den Werten aus konventionell durchgeführten Zugversuchen.
- Bei der Auswertung von Versuchen mit statischer Belastung müssen die statischen Festigkeitswerte verwendet werden.
- Zur Bestimmung der statischen Tragfähigkeit von Bauteilen und Bauwerken aus Stahl, Stahlbeton oder Spannbeton sind die statischen Festigkeitswerte massgebend.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die in diesem Bericht für die vier Stahlsorten gezeigte Tendenz allgemein auch für andere Stähle gilt, so für Baustahl und Vorspanndrähte.

## Verdankungen

Die Arbeit wurde am Institut für Baustatik, Abteilung Massivbau, im Rahmen eines Forschungsprogrammes «Torsion und Biegung von Stahlbetonbalken» durchgeführt, welches durch die «Stiftung für wissenschaftliche, systematische Forschungen auf dem Gebiete des Beton- und Eisenbeton-Baues» finanziell unterstützt wird. Die verwendeten Armierungsstähle und die entsprechenden Werkatteste wurden von den Firmen Ferro-wohl, Monteforno, Von Moos und Von Roll kostenlos geliefert. Für die Versuche stellte die Abteilung Metalle (Abteilungs-Vorstand R. Steiner, dipl. Ing.) der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) Personal, Versuchsmaschinen und Messinstrumente zur Verfügung. Für diese

Unterstützungen möchten die Verfasser ihren herzlichen Dank aussprechen.

## Literatur

- [1] Tall, L. and Ketter, R. L.: On the Yield Properties of Structural Steel Shapes. Fritz Laboratory Report No. 220 A. 33, Lehigh University, November 1958.
- [2] Beedle, L. S. and Tall, L.: Basic Column Strength. «Journal of the Structural Division», ASCE, Vol. 86, No. ST 7, Proc. Paper 2555, July, 1960, p. 139.
- [3] Basler, B.: Die Beanspruchung von Bauwerken durch Nuklearwaffen. «Technische Mitteilungen für Sappeure, Pontoniere und Mineure», 27. Jahrgang, Nr. 2, 3 und 4, 1962/63.
- [4] ASTM Designation: A 370-54T: Mechanical Testing of Steel Products, ASTM-Standards 1958, Part 3.
- [5] Lay, M. G.: Yielding of Uniformly Loaded Steel Members. «Journal of the Structural Division», ASCE, Vol. 91, No. ST 6, Proc. Paper 4580, December, 1965, Part 1, p. 49.
- [6] Thürlimann, B.: New Aspects Concerning Inelastic Instability of Steel Structures. «Journal of the Structural Division», ASCE, Vol. 86, No. ST 1, Proc. Paper 2351, January, 1960, p. 99.
- [7] Nitta, A. and Thürlimann, B.: Ultimate Strength of High Yield Strength Constructional-Alloy Circular Columns – Effect of Thermal Residual Stresses – Effect of Cold-Straightening. IVBH Abhandlungen, 22. Band, 1962, S. 229.
- [8] Brandenberger, E.: Grundriss der Allgemeinen Metallkunde. Ernst Reinhardt Verlag AG, Basel, 1952.
- [9] Shames, J. H.: Mechanics of Deformable Solids. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1964. Appendix X: Properties of Engineering Materials, by F. A. Cozzarelli.
- [10] Bachmann, H.: Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahlbetonbalken. Bericht Nr. 6203-4, Institut für Baustatik, ETH, Zürich, erscheint 1967.

Adresse der Verfasser: Institut für Baustatik, ETH, Winterthurerstrasse 28, 8006 Zürich.

## Verfärbungen von Eichenparkett durch Zusatzmittel für Beton und Mörtel DK 694.631.3.004.64

Mitteilungen aus der Holzabteilung der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Dübendorf, von J. Sell und H. Kühne

Seit einigen Jahren, in den letzten 10 Monaten in zunehmendem Masse, sind an die EMPA Aufträge zur Beurteilung von Mängeln gelangt, die in eigentümlich dunkelbraun-grauen Verfärbungen an Mosaikklebeparkett aus Eichenholz bestanden. Als Ursache konnte meist festgestellt werden, dass diese ausserordentlich störenden Schönheitsfehler durch alkalische Substanzen aus der Unterlage (Deckenbeton oder Mörtelstrich) hervorgerufen worden waren, die mit den Gerbstoffen des Eichenholzes unter Dunkelfärbung reagierten. Das häufige Auftreten solcher Fälle in der letzten Zeit führte schliesslich zu einer grösseren Untersuchung, deren Ergebnisse im folgenden veröffentlicht werden.<sup>1)</sup>

### Mögliche Verfärbungsursachen bei Eichenholz und anderen gerbstoffreichen Hölzern

Hölzer mit einem hohen Gehalt an Gerbstoffen (wie Kernholz von Eiche, Edelkastanie und zahlreiche Exoten) verfärben sich bei Kontakt mit alkalischen Lösungen, Dämpfen oder Gasen dunkel. Aber auch gerbstoffärmere Hölzer wie zum Beispiel Esche und Buche

<sup>1)</sup> Die Untersuchungen wurden zu Lasten von Krediten ausgeführt, welche der Holzabteilung der EMPA aus dem Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, aus einer Spende der Holz- und Waldwirtschaft sowie von einem Unternehmen der Parkettbranche zur Verfügung standen. Für diese Unterstützung sei den Geldgebern an dieser Stelle Dank ausgesprochen.

zeigen – allerdings wesentlich schwächer – diese und andere Reaktionen mit Verfärbungserscheinungen, die meist auf einer Autooxidation der Gerbstoffe, in der Regel komplexer Polyphenole, beruhen [Lit. 2 und 3]. Bei der Möbelherstellung nützt man die Gerbstoffreaktion für die Tönung und Färbung («Beizung») des Holzes. So wird zum Beispiel Eiche mit gasförmigem Ammoniak «geräuchert»; häufiger allerdings verwendet man andere Beiz-Chemikalien wie Paraphenyldiamin und Metallsalze. Letztere reagieren – bei Anwesenheit von genügend Feuchtigkeit – mit den Gerbstoffen ebenfalls unter Bildung vielfältiger Farbstoffe. Eine bekannte Erscheinung ist das «tintige», schwarzblaue Verfärben von feuchtem Eichenholz bei Kontakt mit Eisen. Alle diese Färbungen sind verhältnismässig licht- und wasserbeständig [Lit. 2, 3 und 4].

### Das charakteristische Bild der besonderen Verfärbungen bei Eichenparkett und die Untersuchung ihrer Ursachen

Mit einer einzigen Ausnahme glichen sich die Parkettverfärbungen, die im letzten Jahr von der EMPA untersucht wurden. Die Ausnahme bestand in einer gleichmässigen, schwachen und nicht störenden Verfärbung der gesamten Parkettoberfläche, die von einem stark ammoniakalischen Parkettleim verursacht worden war. In den übrigen Fällen war das Parkett charakteristisch fleckig verfärbt. Meist an den Rändern und um die Fugen zwischen den einzelnen Lamellen beginnend, färbte sich im Laufe der Zeit zuweilen die gesamte Boden-