

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 95/96 (1930)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Festigkeitsuntersuchung im Luftfahrzeugbau  
**Autor:** Huggenberger, U.A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-43931>

#### 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:** 11.02.2026

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

INHALT : Festigkeitsuntersuchung im Luftfahrzeugbau. — Die Erweiterung des Hauptbahnhofs Zürich. — Gewerbeschule und Kunstgewerbemuseum Zürich. — Zum Kapitel „Berufsmoral“. — Tag des Deutschen Stahlbau-Verbandes. — Mitteilungen : Betonbogenbrücke von 130 m Spannweite über die Ammerschlucht (Bayern). Nordlichtstrahlen durchdringen 5,7 m Blei. Elektrische Zugheizung. Rheinkorrektion und Wildbachverbauung. Betriebswirtschaftliche Studienreise nach Nordamerika.

## Band 95

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

## Nr. 3

## Festigkeitsuntersuchung im Luftfahrzeugbau.

Von Dr. sc. techn. U. A. HUGGENBERGER, konsult. Ing., Zürich.

## I. ÜBER DIE BEDEUTUNG DER FESTIGKEITS-UNTERSUCHUNG.

Betrachtet man die Bedeutung der Frage der Festigkeit in einzelnen Gebieten der Technik, so erkennt man, dass ihr eine ganz besonders hervorragende Stellung im Luftfahrzeug zukommt. Die wichtigsten Aufgaben des modernen Flugzeugbaus, wie Erhöhung der Flugsicherheit, Erweiterung des Flugbereiches, Verbesserung der Wirtschaftlichkeit hängen aufs engste mit der erfolgreichen Lösung der verschiedenen Festigkeitsfragen zusammen. Auf keinem andern Gebiete der Technik spielt die *Verringerung des Baugewichtes* eine derart bedeutsame Rolle wie im Luftfahrzeugbau. Das noch häufig geübte Verfahren, die Abmessungen auf Grund des Gefühles, das durch lange Erfahrungen erworben wurde, festzulegen, schliesst naturgemäß eine gewisse Unsicherheit in sich, die den Konstrukteur veranlasst, die Bauteile eher stärker zu bemessen. Die dringende Forderung auf Verminderung des Baugewichtes zieht der gefühlsmässigen rein empirischen Konstruktionsweise enge Grenzen. Der Konstrukteur des Luftfahrzeugbaus sieht sich in ausgesprochener Weise veranlasst, sich bei der Festlegung der Abmessungen und der Formgebung der Bauteile von den wirklich auftretenden Beanspruchungen leiten zu lassen. Nur dann, wenn er beim Entwerfen auf die unter gegebenen Umständen unter gegebenen Lasten hervorgerufenen Spannungen abstellt, wird er in einwandfreier Weise in der Lage sein, bei *geringstem Aufwand an Baustoff* die geforderte Sicherheit zu erfüllen. Zur Erreichung dieses Ziels stehen ihm zwei Wege offen. Der Spannungszustand kann auf dem Versuchsweg an ausgeführten Konstruktionsteilen erforscht, oder an Hand festigkeitstheoretischer Betrachtungen zum voraus berechnet werden.

Infolge des verwickelten Verlaufes der Beanspruchungen wird das *analytische Verfahren* nur in wenigen Fällen von Erfolg begleitet sein. Um die Aufgabe zu lösen, müssen sehr oft vereinfachende Annahmen getroffen werden, die das Endergebnis der analytischen Lösung beeinflussen, wodurch mehr oder weniger grössere Abweichungen gegenüber dem tatsächlichen Zustand bewirkt werden. Besteht die Möglichkeit einer strengen analytischen Untersuchung, so muss in der Praxis häufig auf die restlose Durchführung mit Rücksicht auf langwierige und zeitraubende Rechnungsarbeit verzichtet werden. Angesichts dieser Tatsachen erscheint die messtechnische Erforschung der Beanspruchung an ausgeführten Bauteilen für den praktischen Flugzeugbau als der zweckmässigste Weg. Der Konstrukteur gewinnt durch seine systematisch ausgeführten Versuche einen äusserst wertvollen Einblick in den tatsächlichen Spannungsmechanismus. Er verschafft sich auf diese Weise einwandfreie und sichere Grundlagen, die ihm ermöglichen, Folgerungs- und Konstruktionsleitsätze aufzustellen, nach denen neu zu entwerfende Bauteile zu gestalten sind.

Der durch Messung erforschte Spannungsverlauf wirkt andererseits auch befriedigend auf die analytische Betrachtung der Festigkeitsaufgaben. Die folgerichtige Auslegung planmäßig erlangter Messergebnisse deutet oft auf zweckmässige Vereinfachungen an sich strenger Lösungsverfahren hin, die zu einfachen Näherungslösungen führen können.

## 2. DIE GRUNDGLEICHUNGEN. BEZIEHUNG ZWISCHEN FORMÄNDERUNG UND NORMALSPANNUNG.

Die Ermittlung der Spannungen führen wir zweckmässigerweise auf das Messen der Formänderung zurück. Wir wollen, soweit dies das Verständnis des Wesens der

Hochdruckspeicher-Gasanlage Champ-Bougin der Stadt Neuenburg. Näherungsformeln zur Berechnung von Hänge- und Sprengwerken für Brücken. Internation. Kongress für Gesundheitstechnik und Städtehygiene in Prag. — Nekrolog : Eduard Ruprecht, J. E. Meier-Braun. — Wettbewerbe : Neues Aufnahmegeräte für den Bahnhof Neuenburg. Bebauungsplan für die Gemeinde Lutry. Verwaltungsgebäude der Kantonalbank Solothurn. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Messmethode erleichtert, auf die Formänderung<sup>1)</sup> eintreten und betrachten zunächst den *linearen Spannungszustand*. Auf der Oberfläche eines prismatischen Stabes von der Querschnittsfläche  $F$ , an dessen Enden die Zugkraft  $P_1$  angreift, grenzen wir in Richtung der Stabaxe „1“ eine Strecke  $l$  ab, die gleichbedeutend ist mit der Messlänge des Tensometers. Unter der Einwirkung der Kraft  $P_1$  bezw. der Spannung  $\sigma_1$

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{F} \quad \dots \quad (1)$$

erfährt die Strecke  $l$  eine Längenänderung  $\Delta l_1$  nach der Gleichung

$$\Delta l_1 = \frac{P_1 l}{F E} = \frac{\sigma_1}{E} l \quad \dots \quad (2)$$

Man bezeichnet als spezifische Dehnung das Verhältnis

$$\varepsilon_{11} = \frac{\Delta l_1}{l} \quad . \quad (3)$$

sodass die Gleichung (2) in der bekannten Form

$$\varepsilon_{11} = \frac{\sigma_1}{E} \quad . \quad (4)$$

des Hooke'schen Elastizitäts-Gesetzes geschrieben werden kann, wo  $E$  der

Elastizitätsmodul des Baustoffes ist. Diese Gleichung gilt nur innerhalb der Proportionalitätsgrenze des Baustoffes. In der oben ersichtlichen Bezeichnungsweise gibt die erste Fussnote die Richtung an, in der die Kraft wirkt, während die zweite Fussnote die Richtung der ins Auge gefassten Formänderung bedeutet.

Während sich der Stab in der Richtung „1“ streckt, zieht er sich quer zu ihr, also in der Richtung „2“ und „3“ elastisch zusammen. Messungen haben gezeigt, dass diese Verkürzungen proportional der Zugkraft  $P_1$  und daher proportional der durch  $P_1$  verursachten Dehnung sind. Der Proportionalitätsfaktor ist  $\nu$ , der reziproke Wert der Poisson'schen Materialkonstanten. Die Formänderung in der Richtung „2“ bzw. „3“ folgt somit die bekannte Gleichung

$$\varepsilon_{12} = -\nu \varepsilon_{11} \quad . \quad (5)$$

$$\varepsilon_{13} = -\nu \varepsilon_{11} \quad . \quad (6)$$

Nehmen wir nun an, die Zugkraft wirke nicht in der Richtung „1“, sondern z. B. in der Richtung „2“ bzw. „3“, so gelten, homogenes Material vorausgesetzt, entsprechende Gleichungen. Diese gehen aus Gleichungen (4), (5) und (6) hervor, indem man an Stelle des Index „1“ den Index „2“ bzw. „3“ setzt.

Beim ebenen Spannungszustand wirken die Kräfte in zwei Richtungen, z. B. in der Richtung „1“ und „2“. Wir betrachten den Formänderungszustand, der durch die Belastung in der Richtung „1“ bzw. „2“ entsprechend den Gleichungen (1), (2), (3), (4), (5) und (6) hervorgerufen wird, für sich allein. Durch Überlagerung der beiden Formänderungen, die durch die beiden linearen Spannungszustände ausgelöst werden, erhält man den resultierenden Formänderungszustand.

Der dreiaxige oder räumliche Spannungszustand, bei dem die Kräfte in allen drei Richtungen gleichzeitig wirken,

<sup>1)</sup> Eingehende Betrachtungen über die Formänderung und ihre Ermittlung siehe u. a.: Contribution à l'étude de la déformation en un point d'un milieu matériel. Formules et procédés graphiques. Extensomètre Huggenberger. Description et emploi, par Louis Baes, Professeur à l'Université de Bruxelles, et Lucien Vandeperre, Assistant à l'Université de Bruxelles. Bulletin de la Société belge des Ingénieurs et des Industriels. Tome IX, No. 3 et 10, 1929.

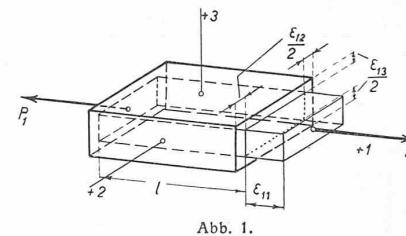


Abb. 1.

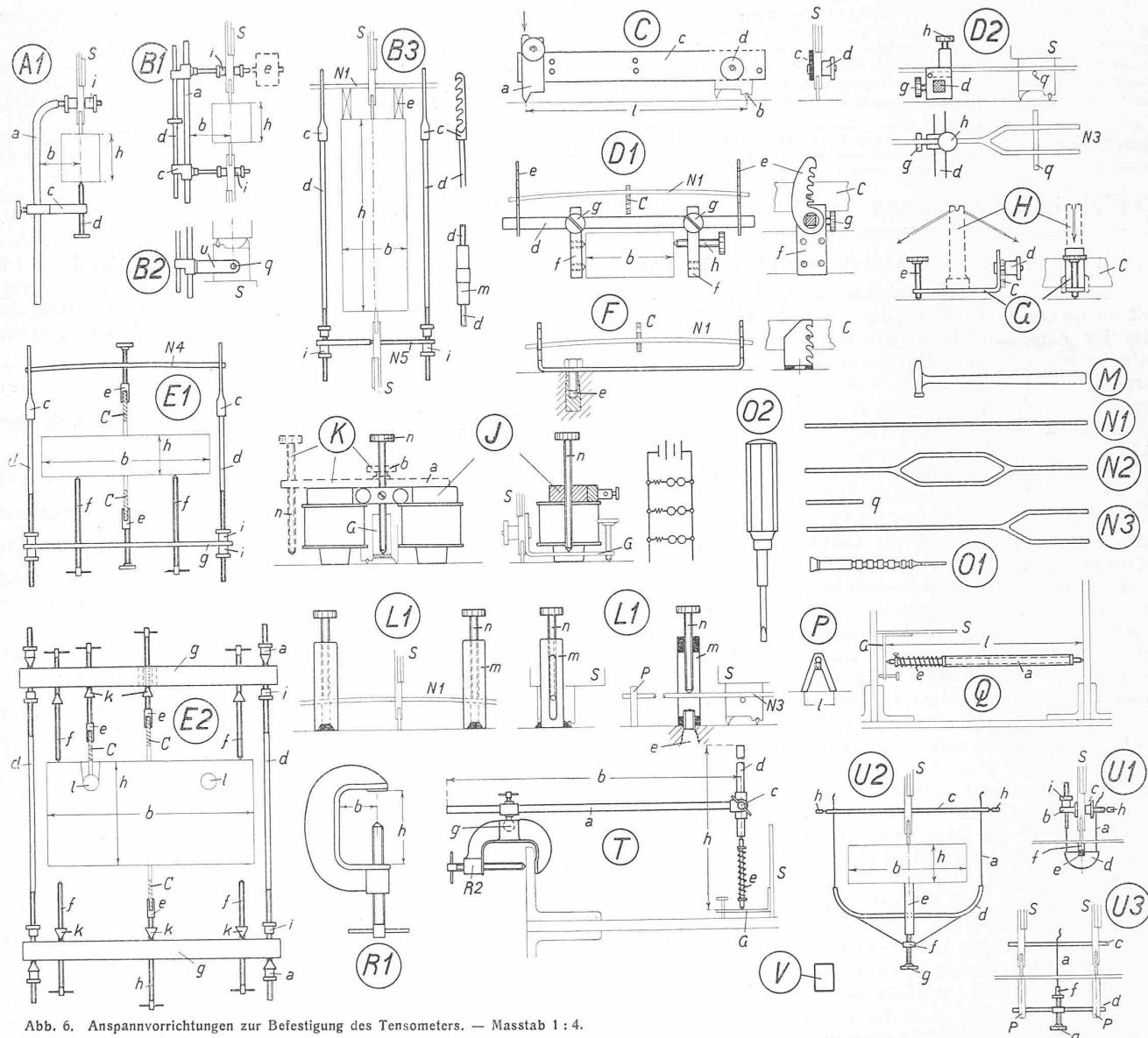


Abb. 6. Anspannvorrichtungen zur Befestigung des Tensometers. — Masstab 1 : 4.

entsteht durch Uebereinanderlagerung der drei einaxigen Spannungszustände. Diese Betrachtungsweise ist bekannt unter dem Namen Superpositionsge setz.

Die Gleichungen, die den verschiedenen Belastungsarten entsprechen, sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt. Die Normalspannungen  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  sind Hauptspannungen.

$P$	1	2	3	
$P_1$	$\varepsilon_{11} = \frac{\sigma_1}{E}$	$\varepsilon_{12} = -\nu \frac{\sigma_1}{E}$	$\varepsilon_{13} = -\nu \frac{\sigma_1}{E}$	$P_1$
$P_2$	$\varepsilon_{21} = -\nu \frac{\sigma_2}{E}$	$\varepsilon_{22} = \frac{\sigma_2}{E}$	$\varepsilon_{23} = -\nu \frac{\sigma_2}{E}$	$P_2$
$P_3$	$\varepsilon_{31} = -\nu \frac{\sigma_3}{E}$	$\varepsilon_{32} = -\nu \frac{\sigma_3}{E}$	$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E}$	$P_3$
$P_1, P_2$	$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)}{E}$	$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)}{E}$	$\varepsilon_3 = -\frac{\nu(\sigma_1 + \sigma_2)}{E}$	$P_1, P_2$
$P_1, P_2, P_3$	$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)}{E}$	$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)}{E}$	$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)}{E}$	$P_1, P_2, P_3$

### 3. FRAGE DER GRÖSSEN BEANSPRUCHUNG.

Die Zerstörungsgefahr eines Konstruktionsteiles hängt sowohl von der Art und Grösse der Beanspruchung ab, als auch von den Baustoffeigenschaften. Die Zerstörung des Materialgefüges kann auf zwei grundsätzlich verschie-

dene Arten eintreten, nämlich indirekt als sogenannte *Fliessgefahr*, die sich durch grosse örtlich bleibende Formänderungen kennzeichnet, ohne dass eine Trennung am Baustoff eintritt, und als eigentliche *Bruchgefahr*, indem die Kohäsion der einzelnen Baustoffteilchen überwunden wird. Als Beanspruchungsgrenze wird noch häufig die *statische Bruchlast* angesehen. Die im Betrieb des Konstruktions teiles auftretende Beanspruehung wird mit einer Zahl, der Sicherheitszahl, vervielfacht. Es wird die Forderung auf gestellt, dass die mit der Sicherheitzahl vervielfachte Betriebslast die *Bruchlast* nicht überschreiten darf. Zu beachten ist aber, dass sich schon weit unterhalb der Bruchlast Formänderungen von solcher Grösse einstellen, dass sie jeden weiteren Betrieb ausschliessen. Die neuesten Bestrebungen gehen deshalb dahin, die untere *Fliess- oder Streckgrenze* des Baustoffes als Beanspruchungsgrenze anzunehmen.

Die Fliessgefahr schliesst die Frage in sich, unter welchen Umständen die Fliessgrenze des Baustoffes erreicht wird. Nach den Versuchsergebnissen der neueren Forschungen scheint ein Fliessen dann aufzutreten, wenn die Schubspannung in den Gleitflächen der Stoffteilchen einen bestimmten, dem Baustoff eigentümlichen kritischen Wert erreicht. Demnach scheint der Schubwiderstand für die Fliessgefahr massgebend zu sein, eine Vorstellung, die mit der *Schubspannungstheorie von Guest-Mohr* im Zusammenhang steht. Diese Festigkeitshypothese besagt, dass das Fliessen dann zu erwarten ist, wenn die grösste Schub-

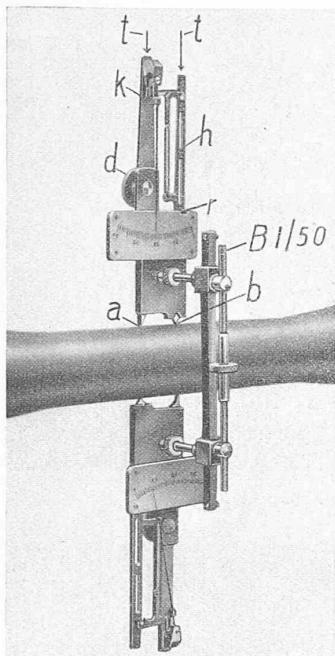


Abb. 5. Tensometer Typ C.

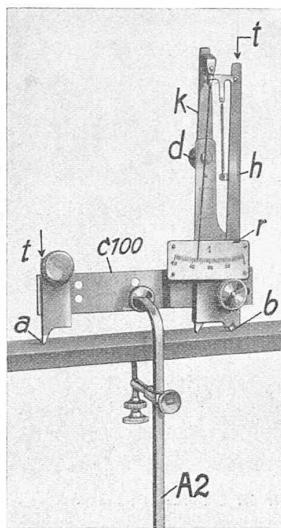


Abb. 4. Tensometer Typ B.

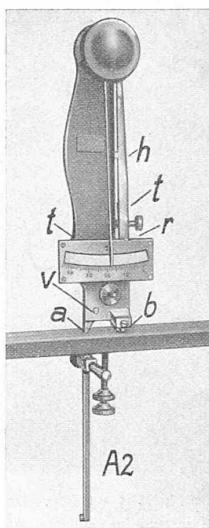


Abb. 3. Tensometer A.

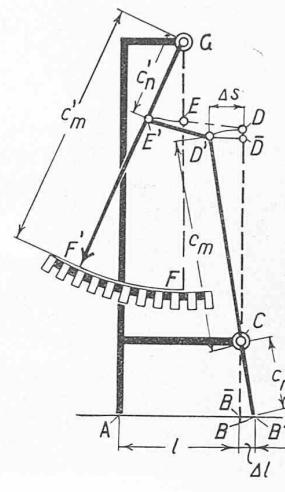


Abb. 2. Schema des Tensometers.

spannung überschritten wird. Die grösste Schubspannung ist andererseits gleich dem halben Unterschied der algebraisch grössten und kleinsten Hauptspannung. Dort, wo im Baustoff der Unterschied seinen grössten Wert erreicht, ist das Fließen zu befürchten. Beim allgemeinen Spannungszustand treten, wie wir gesehen haben, drei Hauptspannungen ins Spiel. Nach Mohr ist die mittlere Hauptspannung, die wir mit  $\sigma_3$  bezeichnen wollen, ohne Einfluss auf die Fließgefahr. Hinsichtlich der beiden in Frage kommenden Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  ist auseinander zu halten, ob beide gleiches oder verschiedenes Vorzeichen aufweisen. Bei gleichem Vorzeichen ist nur der absolut grösste Wert von beiden ausschlaggebend und die grösste Schubspannung ist gleich

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \leq \frac{\sigma_f}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

Weisen dagegen die beiden Hauptspannungen verschiedene Vorzeichen auf, so ist die grösste Schubspannung gleich der halben Summe ihrer Absolutwerte

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \leq \frac{\sigma_f}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

wo  $\sigma_f$  die beim Zugversuch erhaltene untere Fließgrenze ist. Nach den neueren Forschungsergebnissen<sup>1)</sup> zu schliessen, erweist sich die Hypothese nach Mohr als eine für den Konstruktionstisch gut brauchbare Fließbedingung.

Auf Grund der Messungen mit dem nachfolgend beschriebenen Tensometer sind die Hauptspannungen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  bekannt, sodass der Konstrukteur die Last ermitteln kann, bei der das Erreichen der Fließgrenze zu befürchten ist.

#### 4. KONSTRUKTION DES TENSOMETERS.

Die Grössenordnung der zu bestimmenden Längenänderung geht in die Bruchteile von  $1/1000$  mm. Ein Messapparat, der derart kleine Längenänderungen einwandfrei misst und sowohl für Untersuchungen im Laboratorium als auch in der Werkstätte sich eignet, muss die mannigfältigsten Bedingungen erfüllen.

Die Bauart des Messgerätes muss derart einfach sein, dass sie jedem Konstrukteur die rasche und zuverlässige Durchführung der Untersuchungen ermöglicht. Die direkte Ablesung der Messergebnisse am Apparat, ohne Zuhilfenahme von Hilfsapparaten, wie Fernrohr usw. ist unerlässlich. Der Apparat muss eine handliche und bequeme Gestalt aufweisen, darf nur äusserst wenig Raum einnehmen

<sup>1)</sup> Siehe z. B. M. Roš und A. Eichinger. Versuche zur Klärung der Bruchgefahr. I. Flusstahl. Berichte Nr. 14, 28 und 34 der Eigen. Materialprüfungsanstalt Zürich.

und muss ein geringes Gewicht haben. Er soll leicht und rasch ohne zeitraubende Vorbereitungen an jedem Objekt von jeder beliebigen Gestalt und Grösse befestigt werden können. Es dürfen zwischen dem eigentlichen Messgerät und der sich deformierenden Materialfaser keine weiteren Mechanismen eingeschaltet werden, da diese die einwandfreie Uebertragung der wahren Längenänderung unter Umständen erheblich falschen. Die zu ermittelnde Längenänderung muss daher vom Messgerät direkt von der zu untersuchenden Materialfaser aufgenommen werden. Der Umstand, dass z. B. die Spannungswerte gegen den Lochrand einer Bohrung rasch, in steil verlaufender Kurve zum Höchstwert ansteigen, bei einem auf Zug beanspruchten Stab dagegen auf der ganzen Stablänge den gleichen unveränderlichen Wert aufweisen, bedingt die Veränderungsmöglichkeit der Messlänge des Apparates in weiten Grenzen. Im ersten Falle müssen wir eine kleine Messlänge anwenden, während es für den zweiten Fall zweckmässig ist, die Messlänge möglichst gross zu nehmen. Um eine genaue Messung insbesondere bei kleiner Messlänge und kleinen Spannungen zu ermöglichen, muss der Messapparat auf die geringste Längenänderung selbsttätig ansprechen, also eine hohe Empfindlichkeit aufweisen. Da das zu prüfende Konstruktionsglied durch die Untersuchung in keiner Weise Schaden erleiden darf und wir über den Verlauf der Spannungen vorerst keine Anhaltspunkte besitzen, muss die Belastung vorsichtshalber klein angenommen werden. Es entstehen dementsprechend sehr kleine Formänderungen, die eine grosse Uebersetzung des Apparates bedingen. Für die Zuverlässigkeit der Messungsergebnisse insbesondere bei grösseren Untersuchungen empfiehlt es sich, gleichzeitig mit einer grösseren Anzahl Messapparaten zu arbeiten, wodurch auch die zeitliche Durchführung bedeutend abgekürzt werden kann. Man benötigt daher eine grössere Anzahl Apparate, deren Beschaffung von der Höhe des Preises bedingt ist. Auch von diesem Gesichtspunkte aus muss auf eine möglichst einfache Art der Konstruktion geachtet werden. Wir sehen, dass die Anforderungen, die ein solches Präzisionsmessgerät für die Praxis zu erfüllen hat, mannigfacher Art sind.

Ausgehend von diesen Erwägungen wurde das nachfolgend beschriebene Messgerät, das als *Tensometer* bezeichnet wird, in Zusammenarbeit mit der *Materialprüfungsanstalt an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich* entwickelt. Die Bauart lehnt sich an die Konstruktion des Dehnungsmessers von Okhuizen und Mesnager an. Durch einen Hebelmechanismus, Abb. 2, wird die zu messende Längenänderung  $\Delta l$  auf das  $n$ -fache vergrössert. Dies wird durch zwei Hebelübersetzungen erreicht. Die Längenänderung  $\Delta l$  wird vorerst durch den Hebel BCD mit dem Drehpunkt C auf  $\Delta l'$

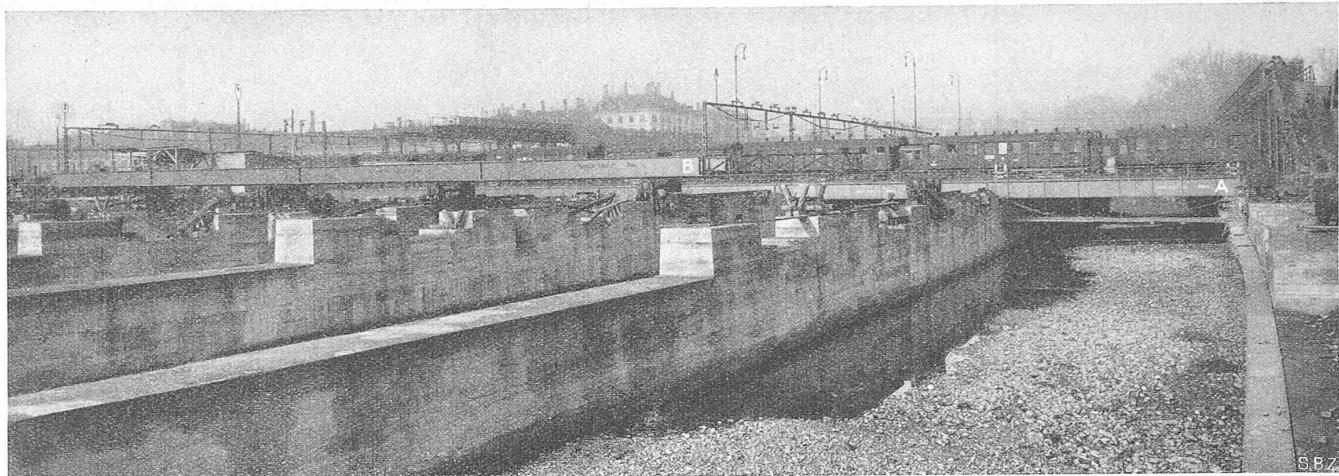


Abb. 11. Längseinschieben eines neuen Brückenträgers B auf die verlängerten Pfeiler der Sihlbrücken; Träger A bereits eingebaut. (Sommer 1929.)

im Verhältnis der Hebellängen  $c_m$  und  $c_n$  vergrössert. Die Bewegung des Punktes D wird mittelst der Kupplung, die die beiden Punkte

$$\frac{\Delta s}{\Delta l} = \frac{c_m}{c_n} = n_1 \quad . \quad (9)$$

E und D verbindet, auf den Zeiger GF mit dem Drehpunkt G übertragen, wobei das Verhältnis der Zeigerabschnitte  $c_m'/c_n'$  die Auslenkung  $\Delta s$  um das  $n_2$ -fache vergrössert

$$\frac{\Delta l'}{\Delta s} = \frac{c_m'}{c_n'} = n_2 \quad (10)$$

wo  $\Delta l'$  die Länge des Bogens, den die Zeigerspitze über der Skala bestreicht, bezw. die Anzahl der Teilstriche bedeutet. Die totale Vergrösserung der zu messenden Längenänderung beträgt somit

$$\Delta l' = n_1 n_2 \Delta l = n \Delta l \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

wo  $n = n_1 n_2$ . Ist  $l$  die Messlänge des Tensometers, so folgt aus Gleichung (3) und (11)

$$\varepsilon_{11} = \frac{\Delta l_1'}{n l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

wenn wir gemäss Gleichung (11) für  $\Delta l_1' = n \Delta l_1$  setzen. Aus Gleichung (4) ist hierauf die Spannung zu berechnen.

Das Tensometer wird z. Z. in drei verschiedenen Typen gebaut. Der Typ A (Abb. 3) ist speziell für Untersuchungen im Laboratorium geeignet, wie für Messungen, bei denen eine hohe Genauigkeit gefordert wird. Die Lagerstellen C, D und E (Abb. 2) sind als Schneiden ausgebildet, wodurch jeder tote Gang sowie die Reibung praktisch ausgeschaltet wird. Durch die Schneidenlagerung wird sowohl grösste Empfindlichkeit als auch höchste Genauigkeit erreicht. Die Hebelübersetzung beträgt  $n \approx 1200$ , sodass eine Längenänderung von 0,000835 mm an der Skala einen Zeigerausschlag von 0,1 mm ergibt. Diese Grösse kann bei einiger Uebung noch mit Leichtigkeit abgelesen werden. Die Standard-Messlänge beträgt 2 cm und kann durch Umstellen der festen Schneide a (Abb. 3) auf 1 cm verkürzt werden. Die Skala ist mit einem Spiegel versehen, um Ablesungsfehler durch Parallaxe zu vermeiden. Die Länge der Skala beträgt 50 mm. Das Instrument weist eine Höhe von 165 mm und eine Tiefe von 15 mm auf; es wiegt 70 g.

Der Typ B (Abb. 4) weist eine geringere Empfindlichkeit auf wie Typ A, da die Lagerstellen B, C und E als Zapfen ausgebildet sind, die eine gewisse Reibung bedingen. Er ist ganz aus Stahl hergestellt und vernickelt und stellt an die Sorgfalt der Behandlungsweise weniger hohe Ansprüche wie der hochempfindliche Typ A. Er wird deshalb hauptsächlich für die Durchführung von Messungen in der Werkstatt, im Freien, auf Bauten u. s. w. verwendet. Alle

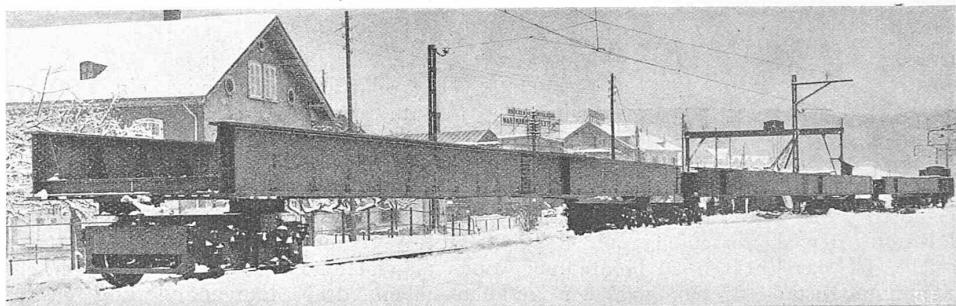


Abb. 12. Anfuhr der Geleisebrücke I auf drei Paar Schemelwagen (Brugg-Zürich, 18./19. Oktober 1928).

beweglichen Teile sind übersichtlich und offen angeordnet und können bei der Messung stets beobachtet werden. Der Apparat kann sehr bequem und rasch in seine Teile zerlegt werden, was besonders dann wichtig ist, wenn beispielsweise die Messungen bei Regen ausgeführt werden müssen und der Apparat nach Gebrauch zu reinigen ist. Die Uebersetzungszahl beträgt  $n \approx 1000$ , sodass eine Längenänderung von 0,0001 mm einen Ausschlag von 0,1 mm an der Skala ergibt, die eine Länge von 48 mm aufweist. Das Gewicht beträgt 65 g, die Höhe 145 mm, die Tiefe 15 mm.

Der Typ C (Abb. 5) wird besonders dann bevorzugt, wenn ein grösserer Messbereich erwünscht ist. Die Bauart ist ähnlich der von Typ B, hingegen beträgt die Uebersetzungszahl  $n \approx 300$ , sodass eine Längenänderung von 0,0003 mm einen Zeigerausschlag von 0,1 mm an der Skala bewirkt. Gewicht 45 g, Höhe 110 mm, Tiefe 15 mm.

Bei jedem der drei Typen kann der Zeiger bequem während des Versuches auf Null oder auf jeden andern Punkt der Skala eingestellt werden. Besondere Verlängerungsstangen, die leicht am Apparat befestigt werden können, ermöglichen, die Messlänge auf jedes gewünschte Mass zu vergrössern (Abb. 4). Als sogenannte Standard-Messlängen für Verlängerungsstangen sind gebräuchlich 50, 100, 200, 500 und 1000 mm. Durch Benützung der verschiedenen Anspannvorrichtungen, wie sie in Abb. 6 auf Seite 32 in übersichtlicher Weise zusammengestellt sind, kann das Tensometer rasch an jedem Gegenstand von beliebiger Gestalt in jeder Lage mit Leichtigkeit befestigt werden. Bei seiner Befestigung ist stets zu beachten, dass eine allfällige auftretende Verschiebung des Stützpunktes der Anspannmittel nicht auf das Tensometer übertragen wird, wodurch das Messergebnis beeinflusst werden könnte. Die Verbindung zwischen Stützstelle der Anspannvorrichtung und Tensometer ist daher nach Möglichkeit elastisch zu gestalten. Es ist empfehlenswert, den Rost und sonstige Unreinigkeiten an den Stellen der zu untersuchenden Konstruktion zu entfernen, wo die Schneiden der Tensometer angebracht werden.

(Schluss folgt).