

# Die Fließgrenze des Eisens

Autor(en): **Nádai, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83/84 (1924)**

Heft 14

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-82768>

## **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.

INHALT: Die Fließgrenze des Eisens. — Einfamilienhaus „De Kemp-Haan“ in Wassenaar, Holland. — Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens. — Zur Frage des Architekten-Doktorgrades. — Eine römische Fussboden-Heizanlage in Chur. — Miscellanea: Elektrifizierung der Berliner Bahnen. Der Ausbau der Wasserkräfte in den Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Ueber den katalytischen Einfluss von Metallen auf Mineralöle. Eidgenössische Technische Hochschule. Winddruck auf Eisenbahnen. Kommission für elektrische Anlagen. Schweizerische Bundesbahnen. — Konkurrenzen: Internationaler Wettbewerb für Linoleummuster. — Nekrologie: Paul Siegwart. Robert Hanauer. — Korrespondenz. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern. Zürcher Ing. u. Arch.-Verein. S. T. S.

Band 83.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 14.

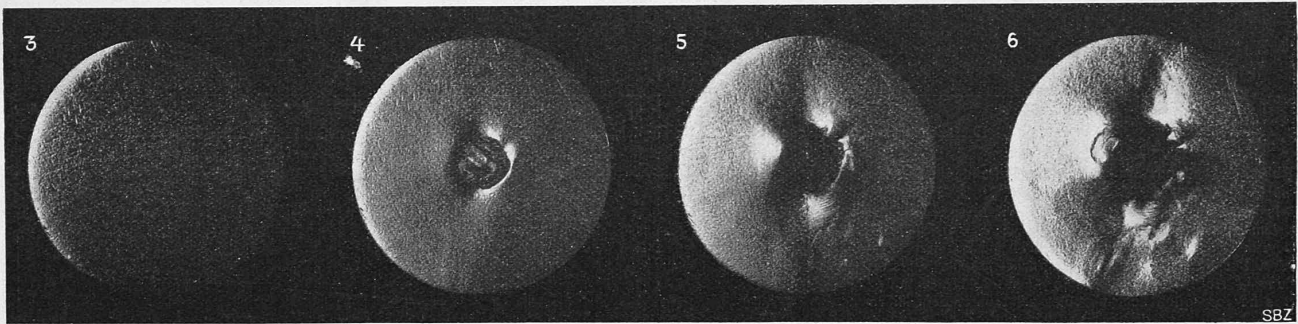


Abb. 3 bis 6. Eindruck eines zylindrischen Stempels in gegossenes Zink, aufgenommen nach der Töplerschen Schlierenmethode.

Abb. 3: Die undeformierte Stirnfläche des zylindrischen Versuchskörpers. — Abb. 4: Eindruck nach einer mittlern Druckspannung von  $\sigma = 1570 \text{ kg/cm}^2$  in der Druckfläche. Abb. 5: Derselbe Probekörper nach Belastung bis  $3140 \text{ kg/cm}^2$ . Die Verzerrung der Oberfläche ist wegen Rissbildung nicht axensymmetrisch. Die Zeichnung der Rillen vom Abdrehen der Stirnfläche entwickelt sich wieder. (Verfestigungseffekt durch das Abdrehen.)

Abb. 6: Derselbe Probekörper nach Belastung bis  $4700 \text{ kg/cm}^2$ . Die Oberfläche ist stark knitterig geworden.

## Die Fließgrenze des Eisens.

Von Dr. Ing. A. Nádaï in Göttingen.

Für die zulässige Grenze, bis zu der die Spannungen in einem beanspruchten eisernen Konstruktionsteil erhöht werden dürfen, nimmt der Ingenieur, wenn lediglich die Gründe für die Festigkeit bestimmend sind und die Belastung zeitlich unveränderlich ist, den Beginn der bleibenden Formänderungen als massgebend an. Als eine solche Grenze wird gewöhnlich die sogenannte *Proportionalitätsgrenze* angesehen, bis zu der die Dehnungen mit den Spannungen geradlinig sich ändern. Von der im Zug-Dehnungs-Diagramm eines unter gewöhnlicher Temperatur gestreckten und von inneren Spannungen freien, weichen Eisens durch einen Knick oder eine Spitze scharf ausgeprägten *Fließgrenze* ab, nehmen die bleibenden Formänderungen stark zu. Die Proportionalitätsgrenze liegt für ein Eisen mit derselben Körnung und mechanischen und thermischen Vorbehandlung umso näher der Fließgrenze, je homogener und spannungsfreier es ist und je störungsfreier der Spannungszustand in ihm erzeugt werden kann.

Während die Plastizität eines feuchten Tones auf der durch die Anwesenheit einer Flüssigkeit erleichterten Verschiebbarkeit seiner Körner beruht, wurzeln die bildsamen Formänderungen der Metalle in im Innern der einzelnen Kristallkörner sich abspielenden Vorgängen, die sich durch die von *Ewing*, *Rosenhain*, *Mugge* und von *Tammann* beschriebenen Gleitlinienzeichnungen äussern, die man auf den Schliften von Metallkörpern nach ihrer bildsamen Formänderung in den Kristallkörnern beobachtet. Die Kristalle der metallischen Elemente sind bereits unter einer Zugbeanspruchung ausser den elastischen, auch sehr beträchtlicher bildsamer Formänderungen fähig, und diese letzteren scheinen im Metallkristall dadurch zustande zu kommen, dass sich in ihm unter einer Kraftwirkung zahlreiche Schichten wie starre Körper über einander hinwegschieben. *Polanyi*<sup>1)</sup> konnte diese Gleitlinienbildung an seinen hochplastischen Einkristalldrähten, die sich in lange Bänder auseinander ziehen liessen, in besonders augenfälliger Weise nachweisen.

Nachdem die sämtlichen Erscheinungen der Plastizität der aus Haufwerken von Kristallkörnern aufgebauten *technischen* Metalle im wesentlichen ihren Ursprung in diesen beiden Deformationsmöglichkeiten des elementaren Gitters

<sup>1)</sup> *G. Masing* und *M. Polanyi*: «Kaltreckung und Verfestigung»; in «Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften», Verlag von J. Springer, Berlin, 1923.

der Atome haben, äussert sich das mechanische Zusammenwirken der durch dünne Zwischensubstanzen von einander getrennten oder in andere Bestandteile der Legierung eingebetteten Körner einheitlicher Beschaffenheit in der Mannigfaltigkeit der technologischen Eigenschaften der Metallegierungen, wobei die Struktur des Gitters und die verschiedene Orientierung der Gleitebenen in den einzelnen Körnern im Verein mit der Festigkeit des Bindemittels die Art der inneren Gleitungsmöglichkeiten im Haufwerk bestimmt.

Eine Grundlage für eine mechanische Behandlung der Fließvorgänge der festen Körper und im besonderen der beginnenden bleibenden Formänderungen eines fließenden Eisenkörpers bieten die fruchtbaren Ansätze und Gedanken *Otto Mohrs*<sup>1)</sup> über die Umstände, die für die Elastizitäts- und für die Bruchgrenze der festen Körper massgebend sind und ihre Weiterführung im Anschluss an die *St. Venant's*chen Ansätze der Dynamik der bildsamen Körper durch die Arbeiten von *P. Ludwik*, *R. v. Mises* und *L. Prandtl*. Eine Stütze für die *Mohr's*che Umhüllende der Hauptspannungskreise der an der Grenze der Plastizität liegenden Spannungszustände bilden die schönen Festigkeitsversuche von *Th. v. Kármán*<sup>2)</sup> mit axialbelasteten und gleichzeitig einem hohen Manteldruck ausgesetzten zylindrischen Körpern aus Marmor und aus Sandstein, in denen die Bildsamkeit dieser unter gewöhnlichen Umständen sich spröde verhaltenden Körper erzwungen wurde. An dehnbaren Metallen hat besonders *J. Guest*<sup>3)</sup> den Nachweis erbracht, dass beim Eintritt der Plastizität die grösste Schubspannung einen unveränderlichen Wert besitzt. Im Gegensatz zu diesen und noch anderen Versuchsergebnissen steht ein Befund aus neuerer Zeit, zu dem Prof. *H. Bonte*<sup>4)</sup> vor drei Jahren auf Grund von Festigkeitsversuchen gelangt ist, die er mit — auf Zug- und auf gleichzeitige Verdrehung — beanspruchten Eisenstäben von kreis- und kreisringförmigem Querschnitt angestellt hat, und die ihn zu der Schlussfolgerung führten, dass die axiale Kraft, unter der ein verdrehter Stab zu fließen beginnt, am besten durch die Dehnungstheorie wiedergegeben wird und aus der „ideellen Hauptspannung“ berechnet werden kann, während die zum Vergleich herangezogene Schubspannungstheorie sich nicht bestätigt hat.

<sup>1)</sup> Z. V. D. I. Jahrgang 1901.

<sup>2)</sup> Mitt. ü. Forschungsarbeiten des V. D. I. Heft 118.

<sup>3)</sup> Phil. Mag. 1900, Vol. 50.

<sup>4)</sup> «Beitrag zum Vergleich der Dehnungs- und der Schubspannungstheorie». Z. V. D. I., 1920, Bd. 64, S. 1071.

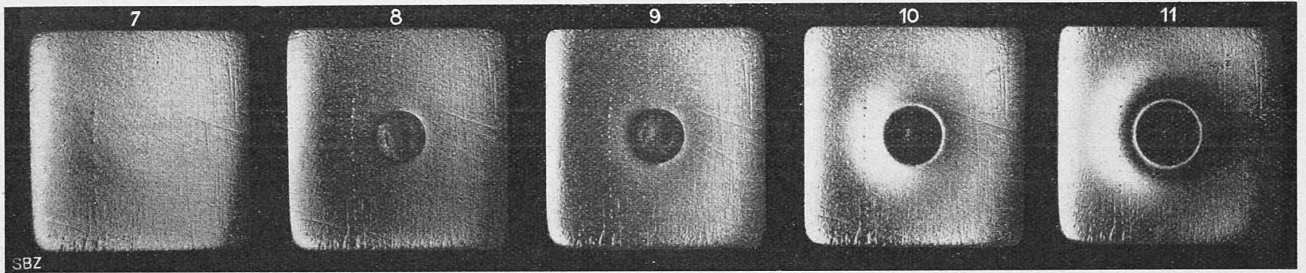
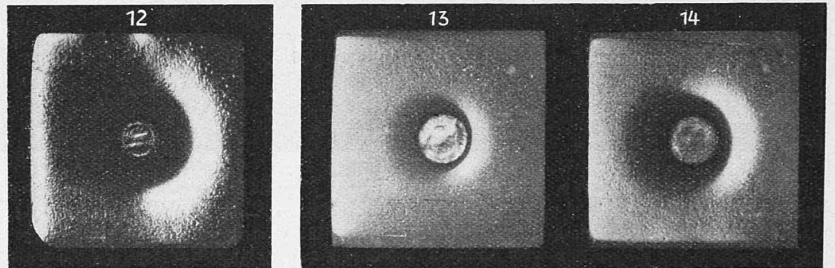


Abb. 7 bis 14. Eindruck eines zylindrischen Stempels in Kupfer, aufgenommen nach der Töplerschen Schlierenmethode.

Abb. 7: Die undeformierte Seitenfläche des würfelförmigen Kupferkörpers. — Abb. 8: Eindruck eines zylindrischen Stempels nach einer Druckspannung von  $\sigma = 2800 \text{ kg/cm}^2$  in der Druckfläche. — Abb. 9:  $\sigma = 4700 \text{ kg/cm}^2$ ; Beginn einer Wulstbildung um den Eindruck herum. — Abb. 10:  $\sigma = 6300 \text{ kg/cm}^2$ ; Fortschreiten der Wulstbildung. — Abb. 11:  $\sigma = 7800 \text{ kg/cm}^2$ ; starke Wulstbildung. Das hervorgequollene Ringgebiet zeigt unter dem Mikroskop dichte Gleitlinienbildung.  
 Abb. 12: Ein anderer Probekörper, der vor dem Versuch weich ausgeglüht war, nach seiner Belastung bis  $\sigma = 4100 \text{ kg/cm}^2$ . Um den Eindruck herum entsteht jetzt in weichen Material ein Trichter.  
 Abb. 13 und 14: Eindrücke mit Trichterbildung in weiches Kupfer nach  $\sigma = 1570 \text{ kg/cm}^2$ , bezw.  $\sigma = 2800 \text{ kg/cm}^2$ .



In Anbetracht der grundsätzlichen Frage, deren Klärung seit einiger Zeit im Zuge ist, dürfte es wohl angebracht sein, den Gründen nachzugehen, die vielleicht eine Erklärung für das vereinzelt abweichende Ergebnis dieser Versuchsreihe bilden könnten.

Bonte liess zuerst auf seine Stäbe ein Torsionsmoment von bekannter Grösse wirken und belastete sie nachher durch eine wachsende Zugkraft in axialer Richtung. Er bestimmte die kritische Zugspannung, unter der der Stab zu fließen beginnt in der Weise, wie dies in den gewöhnlichen Zugversuchen der Einfachheit halber oft gemacht wird, aus der Kraft, unter der der der Waghebel der Festigkeitsmaschine plötzlich abfällt. Während diese Bewegung des Hebels einer Festigkeitsmaschine mit einer Laufgewichtswage oder das selbsttätige Zurückgehen der Last bei einer Maschine, die nach der Art der Briefwagen mit einem Pendel als Gewicht versehen ist, tatsächlich in einem gewöhnlichen Zugversuch den Augenblick anzeigt, in dem der Stab zu fließen beginnt, weil in einem auf reinen Zug beanspruchten Körper überall derselbe Spannungszustand herrscht, ist es fraglich, ob die Ueberschreitung der Fließgrenze in der ausserordentlichen dünnen, äussersten Materialschichte eines gezogenen und verdrehten Rundstabes (oder eines Rohres mit dem Durchmesserverhältnis 3 : 2) eine ebenso starke Störung des Gleichgewichtes der Kräfte am Wagebalken zur Folge hat. Die Versuchstäbe von Bonte mussten unter den kritischen Zugkräften, deren Werte zur Entscheidung der Frage nach der Dehnungs- oder nach der Schubspannungstheorie heranzuziehen waren, mit Ausnahme ihrer Oberflächenschicht noch rein elastisch deformiert sein.

Das abweichende Ergebnis der Bonte'schen Versuche dürfte sich auf Grund der Guest-Mohr'schen Annahmen erklären lassen, wenn man das von Bonte beobachtete Abfallen des Wagebalkens nicht als den Beginn des ersten Fließens, sondern als den Augenblick ansieht, in dem sich der Fließvorgang über den ganzen Stabquerschnitt ausgebreitet hat.

Legt man nämlich einer überschlägigen Betrachtung die vereinfachende Annahme zugrunde, dass während der beginnenden bleibenden Formänderungen des weichen Eisens die grösste Schubspannung an allen Stellen, in denen das Material fließt, noch den nämlichen Wert behält, den sie nach der Schubspannungstheorie bei Beginn des Fließvorganges besass, so handelt es sich in den Bonte'schen Versuchen offenbar um den Fall der Verdrehung eines axial belasteten Rundstabes unter einem gleichbleibenden Drehmoment, der unter einer konstanten grössten Schub-

spannung fließt. Man wird in erster Näherung annehmen dürfen, dass die Schubspannungen

$$\tau = \tau_a \frac{r}{a} \dots \dots \dots (1)$$

( $a$  Halbmesser des Stabes,  $\tau_a$  Randwert der Schubspannung für  $r = a$ ) der elastischen Torsion überall im Stabe und insbesondere in den plastischen Gebieten ihre anfänglichen

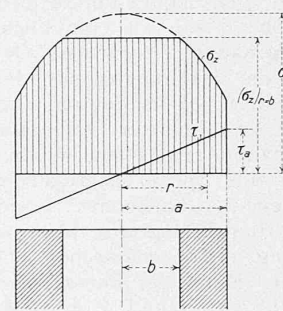


Abb. 1.

Werte behalten, während die axialen Zugspannungen  $\sigma_z$  daselbst der Forderung  $\sigma_z^2 + 4\tau^2 = \sigma^2 = \text{konst.}$  (2) genügen werden, welche Bedingung ausdrückt, dass die grösste Schubspannung an der Fließgrenze einen festen Wert hat. Hier bedeutet  $\sigma$  die Fließgrenze für Zug, es ist überall  $\tau_{\text{max}} = \sigma/2$ . Aus der ersten Gleichung folgt der bekannte Wert des Torsionsmomentes eines Stabes mit kreisförmigem Querschnitt

$$M = \pi \tau_a \frac{1}{2} a^3 \dots \dots \dots (3)$$

Bedeutet ferner  $r = b$  den Halbmesser des Zylinders, bis zu dem die Fließzone eingedrungen ist (Abb. 1), so ist wegen (1) und (2) für  $b \leq r \leq a$  (plastisches Ringgebiet):

$$\sigma_z = \sigma \sqrt{1 - \frac{4\tau_a^2 r^2}{\sigma^2 a^2}} \dots \dots \dots (4)$$

und für  $0 < r \leq b$  (elastischer Kern)

$$\sigma_z = [\sigma_z]_{r=b} = \sigma \sqrt{1 - \frac{4\tau_a^2 b^2}{\sigma^2 a^2}} = \text{konst.} \dots \dots \dots (5)$$

Demgemäss bestimmt sich die axiale Zugkraft  $P$  gleich der Resultierenden der Zugspannungen  $\sigma_z$  über dem Querschnitt:

$$P = \pi b^2 [\sigma_z]_{r=b} + 2\pi \int_b^a r \sigma_z dr \dots \dots \dots (6)$$

oder, wenn abkürzend  $\alpha = 4\tau_a^2 r^2 / \sigma^2 a^2$  gesetzt wird, nach Ausführung der Integration

$$P = \frac{\pi a^2 \sigma^3}{12 \tau_a^2} \left[ 3 a_b \sqrt{1 - \alpha_b} + 2(1 - \alpha_b)^{3/2} - 2(1 - \alpha_a)^{3/2} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Auf Grund dieser Formel lassen sich die Zugkräfte in erster Näherung schätzen, unter denen die Fließzone bis zu einer beliebigen Tiefe  $r = b$  in den Stab eingedrungen ist, wenn das Drehmoment gegeben ist. So ergibt sich, wenn  $b = 0$  angenommen wird, die Kraft  $P$  gleich

$$P = \frac{\pi a^2 \sigma^3}{6 \tau_a^2} \left[ 1 - \sqrt{1 - 4\tau_a^2 / \sigma^2} \right]^3 \dots \dots \dots (8)$$

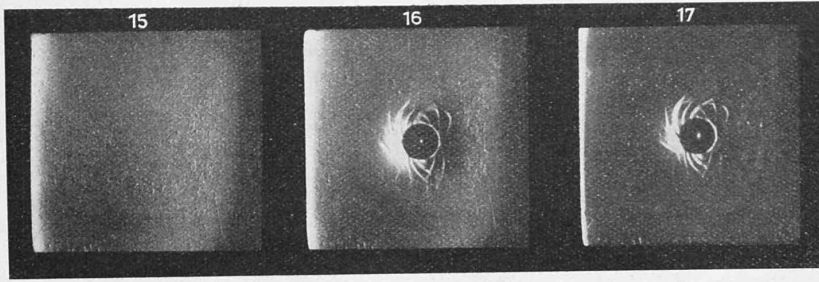


Abb. 15 bis 17. Kugeldruck auf weiches Eisen. — Abb. 15: Die undeformierte Fläche. — Abb. 16: Spiralige Fließfiguren und Wulstbildung nach Belastung von 1950 kg/cm². — Abb. 17: Wie 16, nur anders beleuchtet.

unter der die Fließzone bis zur Stabaxe vorgedrungen ist, und der Stab über den vollen Querschnitt fließt.

Die folgenden Zahlen enthalten für drei verschiedene Werte des Drehmomentes  $M$ , das zu den Randschubspannungen  $\tau_a = \frac{1}{6}, \frac{2}{6}, \frac{3}{6} \sigma$  gehört, die Zugkräfte  $P_1 = \pi a^2 \sigma \sqrt{1 - \frac{4 \tau_a^2}{\sigma^2}}$ , unter denen der Stab in der äussersten Schicht  $r = a$  zu fließen beginnt, die Zugkräfte  $P$ , gemäss Formel (8), unter denen das Fließgebiet bis zur Stabaxe vorgedrungen ist, und das Verhältnis von  $P$  zu  $P_0 = \pi a^2 \sigma$ , unter  $P_0$  die Zugkraft verstanden, die das Fließen ohne Torsionsmoment bewirkt.

	$\frac{\sigma}{6}$	$\frac{2\sigma}{6}$	$\frac{3\sigma}{6}$	
$\tau_a =$	0			
$P_1 =$	3,14	2,96	2,34	$\times \sigma a^2$
$P =$	3,14	3,05	2,76	$\times \sigma a^2$
(gerechnet) $P: P_0 =$	1	0,972	0,880	0,666
(beobachtet) $P: P_0 =$	1	0,97	0,86	0,67

Das in der letzten Zeile angeführte Verhältnis  $P: P_0$  entstammt dem Versuchsbericht von Bonte, und zwar wurde es aus seiner Abbildung 4 (Z. V. D. I. 1920, S. 1072) aus den Ordinaten der dort mit dem in anderer Bedeutung benutzten Buchstaben  $\sigma$  überschriebenen Kurve zu denselben Drehmomenten nach Abmessen der Ordinaten mit einem Millimeterstab berechnet.

Die über Erwarten gute Uebereinstimmung der beiden letzten Zahlenreihen scheint für die Richtigkeit unserer Vermutung zu sprechen, wonach das Abklappen des Wagebalkens der Festigkeitsmaschine nicht den Beginn des Fließens, sondern den Augenblick angezeigt haben dürfte, in dem sich der Fließvorgang über den vollen Stabquerschnitt ausgebreitet hat — und wie zu ergänzen wäre: in dem sich höchstwahrscheinlich eine den ganzen Stab durchquerende Gleitfläche erst ausbilden konnte. Eine weitere Stütze für sie bilden Beobachtungen über die Bildung der Fließfiguren an Zugstäben, über die weiter unten berichtet wird.<sup>1)</sup>

*Die Beobachtung deformierter Metallflächen mittels der Töplerschen Schlierenmethode.*

Während die Beobachtung polierter und geätzter Metalloberflächen unterm Mikroskop ein viel angewendetes Hilfsmittel zur Verfolgung der thermischen und mechanischen Aenderungen des Kleingefüges der Metalle ist<sup>2)</sup>, scheint man den auch sonst nach einer bleibenden Beanspruchung auf ihrer Oberfläche bemerkbaren Veränderungen bislang

<sup>1)</sup> Es braucht kaum bemerkt zu werden, dass die vorstehenden Ansätze natürlich nicht als ausreichend betrachtet werden können, um mit ihrer Hilfe den beginnenden Fließvorgang in einem gleichzeitig auf Zug und auf Verdrehung beanspruchten Rundestab weiter verfolgen zu können, weil bei dessen Beschreibung auch die Formänderungen heranzuziehen wären. Der vorliegende Spannungszustand bildet ein axensymmetrisches Fließproblem, und man erkennt bei näherem Zusehen, dass in einem derart beanspruchten Stab die in der äusseren Ringzone zuerst entstandene halplastische Schicht durch das Innere des Stabes wandert und von aussen durch eine vollplastische sich ersetzt. Die Formänderungsgesetze und Grenzspannungen des Fließens von dünnwandigen Röhren aus weichem Eisen, unter zusammengesetzter Beanspruchung werden in einer im hiesigen Institut in Angriff genommenen Arbeit von stud. phys. Lode untersucht.

<sup>2)</sup> Vergl. den Bericht von B. Zschokke über neuere Nutzenwendungen der Metallographie im Bd. 76, S. 71 und 88, 1920, dieser Zeitschrift.

weniger Beachtung geschenkt zu haben. Die bereits von Lüders und von Hartmann vor langer Zeit beschriebenen Fließfiguren, die auf den glänzend polierten Flächen von Versuchskörpern aus weichem Eisen nach ihrer Beanspruchung über die Fließgrenze oft in auffallend regelmäßiger Zeichnung beobachtet werden können, und von denen vereinzelt Beispiele unter anderem in den Handbüchern über Elastizität und Festigkeit von Martens und Heyn, von C. v. Bach und R. Baumann zu finden sind, sind nur selten im Zusammenhang mit den mechanischen Bedingungen des Festigkeitsversuches und mit dem Spannungszustand betrachtet worden. Wie v. Kármán bemerkt hat, treten sie besonders dann auf, wenn die Körper unter einer gleichbleibenden oder einer abfallenden Spannung zu fließen beginnen. So konnte v. Kármán sie unter den entsprechenden Spannungszuständen sogar an Sandstein und Marmor-Zylindern nach ihrer plastischen Verformung erzeugen. Das Abspringen der Walzhaut oder des Zunders entblösst an bleibend gezogenen, um verbogenen oder verdrehten Eisenstäben oder in der Umgebung von gestanzten Löchern in Flusseisenblechen übrigens oft eine Zeichnung, die mit den Lüderschen Linien identisch ist.

Für die Beobachtung der Fließfiguren ist von Adolf Fry<sup>1)</sup> im Kruppschen Festigkeitslaboratorium ein bemerkenswertes Aetzverfahren ausgearbeitet worden, mit dem es möglich wird, sie nachträglich auf den Schnittflächen eiserner Körper hervorzurufen. A. Fry und B. Strauss haben mit Hilfe der beiden Aetzmethoden (für die mikroskopische und für die gewöhnliche Beobachtung) bereits sehr wertvolle Einblicke in die tiefgehenden Aenderungen gewinnen können, die das Eisen beim Fließvorgang erfährt.

Ein weiteres Hilfsmittel bietet die unmittelbare Beobachtung der Fließfiguren während ihrer Entstehung und Ausbreitung auf den Seitenflächen beanspruchter Körper, die man vorher poliert hat. Leider bestand bisher eine gewisse Schwierigkeit darin, diese Figuren im Lichtbild festzuhalten. Ich verdanke Herrn L. Prandtl den Vorschlag, diese geringfügigen Aenderungen der Oberfläche mittels der Töplerschen Schlierenmethode sichtbar zu machen, die es ihm vor einigen Jahren ermöglichte<sup>2)</sup>, stehende Dichtewellen in einem mit Uberschallgeschwindigkeit strömenden Gase im Bilde festzuhalten.

Ein weiteres Hilfsmittel bietet die unmittelbare Beobachtung der Fließfiguren während ihrer Entstehung und Ausbreitung auf den Seitenflächen beanspruchter Körper, die man vorher poliert hat. Leider bestand bisher eine gewisse Schwierigkeit darin, diese Figuren im Lichtbild festzuhalten. Ich verdanke Herrn L. Prandtl den Vorschlag, diese geringfügigen Aenderungen der Oberfläche mittels der Töplerschen Schlierenmethode sichtbar zu machen, die es ihm vor einigen Jahren ermöglichte<sup>2)</sup>, stehende Dichtewellen in einem mit Uberschallgeschwindigkeit strömenden Gase im Bilde festzuhalten.

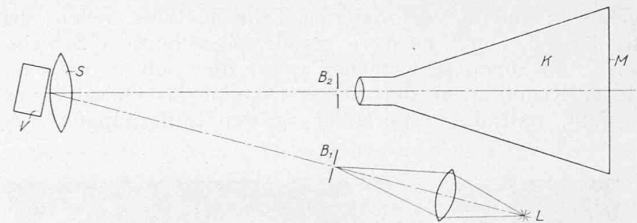


Abb. 2.

Eine Anordnung, die uns gute Dienste leistete, bestand aus einer kleinen Bogenlampe L (Abbildung 2) als Lichtquelle zur Beleuchtung der Versuchskörper V, deren Lichtkegel durch eine Linse S zur Erzeugung eines Lichtflecks in der Ebene einer Blende B<sub>1</sub> verwendet wird. Das auf der Mattscheibe M einer (wegen der kurzen Bildentfernung mit langem Auszug versehenen) photographischen Kamera K erscheinende Bild des Versuchskörpers V kann wesentlich verbessert werden, wenn man den Probekörper mit seiner zu beobachtenden, eben angeschliffenen und polierten Seitenfläche dicht hinter einer guten Sam-

<sup>1)</sup> Kruppsche Monatshefte, Juliheft 1921; Siehe auch «Stahl und Eisen», 1921.

<sup>2)</sup> Vergl. z. B. A. Stodola «Dampf- und Gasturbinen», 5. Aufl., S. 110 oder Prandtl: Phys. Z., 1907, S. 23.

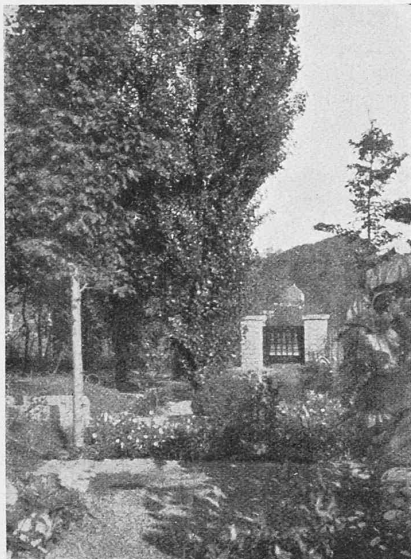


Abb. 7. Blick gegen die Gartentür.

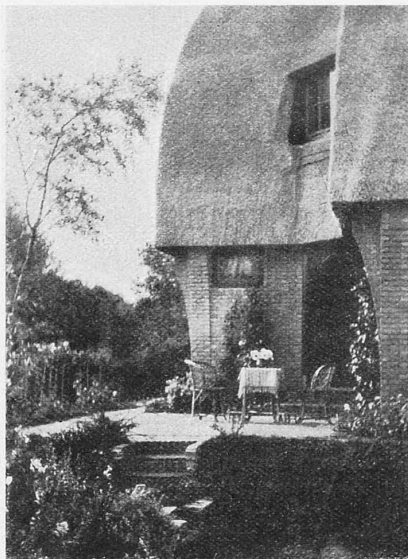


Abb. 8. Süd-Ecke vor dem Esszimmer.

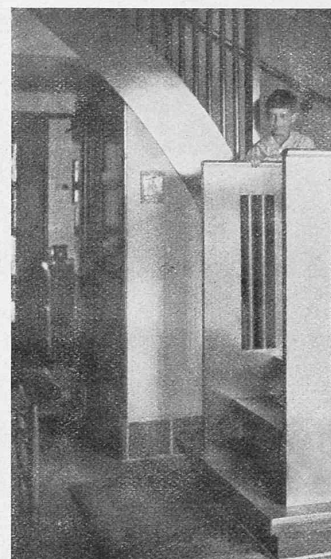


Abb. 9. Durchblick gegen die Küche.

mellinse  $S$  (benutzt wurde eine Fernrohrlinse von etwa 75 cm Brennweite und 70 mm Oeffnung) so aufstellt, dass seine spiegelnde Seitenfläche die Strahlen der Bogenlampe gegen das Objektiv der Kamera reflektiert. Die Schlierenblende  $B_2$  befindet sich vor dem Objektiv in der Brennweite der Linse, wenn auch  $S B_1$  gleich der Brennweite gewählt wird. Wenn die polierte Seitenfläche des Versuchskörpers eben genug ist (Polieren auf einer Tuchscheibe nach der Art der Herstellung der metallographischen Schliffe genügt für die meisten Zwecke bereits), entsteht bei  $B_2$  ein heller Fleck als das Bild der vom Probekörper reflektierten Blendenöffnung  $B_1$ , den man durch Drehen desselben nach Belieben verschieben kann. Gelangt dieser Fleck in die optische Axe der Kamera, so hellt sich das Bild des Versuchskörpers auf der Mattscheibe auf. Wird nun bei  $B_2$  eine scharfe Blendenkante bis zur Axe vorgeschoben, so werden die Strahlen plötzlich abgeblendet und das Bild auf der Mattscheibe verdunkelt sich. Wenn jedoch auf der spiegelnden Fläche von  $V$  Fliessfiguren vorhanden sind, oder wenn sie durch eine plastische Deformation sonst eine Verwölbung erlitten hat, können noch Strahlen um die Blendenkante herum in die Kamera gelangen und die deformierten Teile im Bilde hellen sich wieder auf. Durch mehrere gerade abgeschnittene Schieber aus Blech oder schwarzem Papier, die man in verschiedener Richtung in der Ebene  $B_2$  vor das Objektiv verschiebt, und durch Veränderung der Entfernungen  $S B_1$

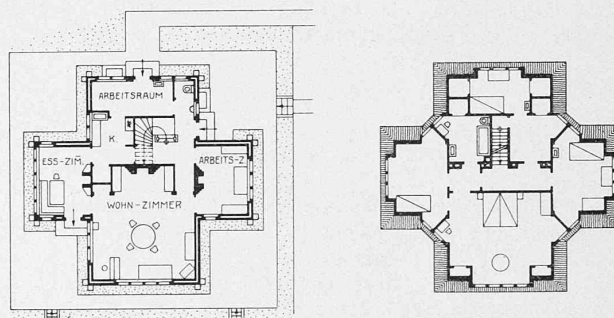


Abb. 6. „De Kemphaan“ in Wassenaar. Grundrisse 1:400.

und  $S B_2$  gelingt es, die verschiedenartigsten Beleuchtungseffekte von einer kontrastreichen Zeichnung bis zu einer sanften Schattierung auf dem Bilde der deformierten Flächen hervorzurufen. An Stelle der Verschiedenheiten im Brechungsexponenten bei der Beobachtung im durchfallenden Licht liefern hier die Unebenheiten des Metallspiegels im reflektierten Licht die sogenannten „Schlieren“.

In den Abbildungen 3 bis 18<sup>1)</sup> sind einige in der angegebenen Weise erhaltene Lichtbilder der Veränderungen der Oberfläche von metallischen Versuchskörpern nach ihrer bildsamen Deformation wiedergegeben. (Schluss folgt.)

1) Abb. 18 folgt in nächster Nummer.

Red.



Abb. 2. Charakteristische Wetter-Föhren-Gruppe.

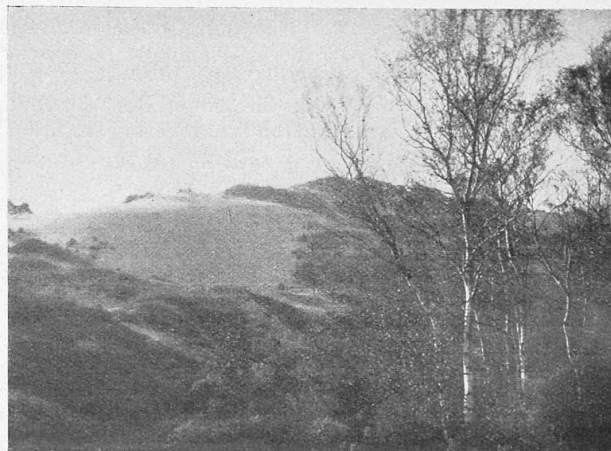


Abb. 1. Dünenlandschaft bei Wassenaar, Holland.