Verhältnis der Spannungen an der Elastizitäts- bzw. Fließgrenze σ_s des Baustoffes zu den tatsächlich auftretenden Spannungen σ_z zu beurteilen. Nun ist die Ermittlung der Elastizitätsgrenze wegen der notwendigen Feinmessungen umständlich und zeitraubend und wird selten ausgeführt. Leichter ist die Fließgrenze an Hand einer während des Versuches aufgenommenen Schaulinie oder bei ausgeprägter oberer Fließgrenze durch Beobachten des Absinkens der Kraft zu bestimmen. Da außerdem beide Grenzen nahe beieinander zu liegen pflegen, kann die erwähnte Sicherheit genügend genau nach der Fließgrenze des Baustoffes, also nach $\mathfrak{S}' = \frac{\sigma_s}{\sigma_z}$ beurteilt werden.

Meist begnügt man sich damit, die Festigkeit der Baustoffe vorzuschreiben und ihr gegenüber die Bruchsicherheit des Konstruktionsteiles, die durch das Verhältnis der Bruchfestigkeit zur auftretenden Spannung gegeben ist, zu berechnen. Im Falle der Beanspruchung auf Zug würde diese Sicherheit gegen Bruch oder die Sicherheit schlechthin

$$\mathfrak{S} = \frac{K_z}{\sigma_z} \tag{2}$$

sein.

Wäre die Stange des Beispiels, Abb. 9, aus weichem Flußstahl der Abb. 10 hergestellt, so würde die Bruchsicherheit

$$\mathfrak{S} = \frac{K_z}{\sigma_z} = \frac{3660}{477} = 7{,}7 \text{ fach}$$

sein. Gegen das Auftreten bleibender Verlängerungen ist aber nur eine 4,2fache Sicherheit vorhanden, wenn man von der unteren Fließgrenze ausgeht. Denn die Schaulinie, Abb. 10, ergibt an dieser Stelle eine Belastung $P_f = 6310$ kg und eine Fließspannung von

$$\sigma_s = \frac{P_f}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{6310}{3{,}14} = 2010 \text{ kg/cm}^2,$$

so daß

$$\mathfrak{S}' = \frac{\sigma_s}{\sigma_z} = \frac{2010}{477} = 4{,}2$$

wird.

Die Beurteilung einer Konstruktion an Hand des Sicherheitsgrades gegen Bruch ist für Baustoffe, die nicht kalt bearbeitet, gehärtet oder vergütet sind, immerhin zulässig, weil dann das Verhältnis der Spannungen an der Bruchgrenze zu denen an der Fließ- bzw. Elastizitätsgrenze bei ein und demselben Baustoffe annähernd unveränderlich zu sein pflegt. Durch Ziehen, Walzen, Hämmern, Pressen usw. im kalten Zustande, ferner durch Härten oder Vergüten kann dagegen das genannte Verhältnis wesentlich beeinflußt werden. Beispielweise wird die Streckgrenze von Flußstahldraht durch Kaltziehen ganz bedeutend gehoben und der Bruchgrenze näher gebracht. Die übliche Sicherheitszahl gegenüber Bruch kann daher niedriger sein, weil die hohe Streckgrenze das Auftreten bleibender Formänderungen verhindert.

Die Sicherheit hoch beanspruchter oder aus Sonderbaustoffen hergestellter Konstruktionsteile sollte deshalb stets an Hand der Fließgrenze und nicht nach der Bruchfestigkeit des Werkstoffes beurteilt werden.

Dagegen ist man bei Stoffen, die so geringe Formänderungen aufweisen, daß sich die Fließgrenze $\sigma_{0,2}$ im Sinne der DIN 1602 nicht ermitteln läßt, wie bei Gußeisen, Beton und Steinen, nach wie vor auf die Benutzung der Sicherheit gegenüber Bruch angewiesen.

C. Dehnung und Einschnürung, Dehnungszahl.

Um die Formänderungen verschieden langer Stäbe miteinander vergleichen zu können, bezieht man die Verlängerung λ auf die Längeneinheit und erhält so die Dehnung

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l}, \tag{3}$$

wenn l die ursprüngliche Meßlänge des Stabes, an welcher λ festgestellt wurde, bedeutet. Bei gewöhnlichen Zugversuchen pflegt nur die Dehnung an der Zerreißgrenze, also nach dem Bruch, bestimmt zu werden. Nach Abb. 10 betrug

$$\lambda_z = 5{,}27 \text{ cm}, \qquad l = 20 \text{ cm},$$

mithin die Bruchdehnung

$$\delta = \frac{\lambda_z}{l} = \frac{5{,}27}{20} = 0{,}263 \quad \text{oder} \quad 26{,}3\%.$$

Da sich die Dehnung, wie Abb. 12 zeigt, über die Stablänge ungleichmäßig verteilt, indem die durch Querstriche gekennzeichneten, am ursprünglichen Stab gleich langen Strecken, Abb. 11, in der Nähe des Bruches am meisten an Länge zugenommen haben, erhält man für die Dehnung je nach Wahl der Meßlänge l verschiedene Zahlen. Um Vergleichswerte zu bekommen, wird l deshalb an Rundstäben gleich $10\,d$ oder bei beliebig geformtem Querschnitt von der Größe F zu $l = 11{,}3\sqrt{F}$ gewählt. Neuerdings benutzt man auch $l = 5\,d = 5{,}65\sqrt{F}$ als normale Meßlänge, erhält dabei aber größere Werte für die Dehnung. Am Probestab, Abb. 12, wäre in dem Falle die Dehnung an den fünf der Bruchstelle nächstliegenden Teilstrecken, die ursprünglich $l' = 100$ mm lang waren, zu ermitteln. Aus ihrer Verlängerung $\lambda' = 36$ mm ergibt sich die Dehnung $\delta_5 = \frac{\lambda'}{l'} = \frac{36}{100} = 0{,}36$ oder 36%. Der Wert ist 1,37mal größer als der an $l = 10\,d = 200$ mm Meßlänge festgestellte. Zur richtigen Beurteilung der Dehnungswerte ist es daher immer notwendig, die benutzte Meßlänge oder ihr Verhältnis zum Stabquerschnitt zu kennen.

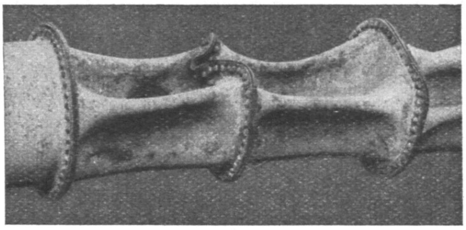

Abb. 13. Eingebeultes Flammrohr.

Die Dehnung gilt als ein Maß der Zähigkeit, einer sowohl bei der weiteren Verarbeitung, wie auch bei der Verwendung der Werkstoffe zu Maschinenteilen sehr wichtigen Eigenschaft. So legt man beispielweise Wert auf große Dehnung bei allen Kesselbaustoffen, obgleich die Beanspruchungen durch den normalen Betrieb weit unter der Fließgrenze liegen, die Ausnutzung der Dehnbarkeit also gar nicht in Frage kommt. Wohl aber wird diese entscheidend im Falle von Überbeanspruchungen, wie sie an Flammrohrkesseln bei zu tiefem Sinken des Wasserspiegels, Steigerung der Temperatur bis zum Glühendwerden und Einbeulen der Flammrohre vorkommen. Nur sehr zähes Flußeisen hält Formänderungen, wie sie Abb. 13 zeigt, aus, ohne zu reißen. Flammrohre aus Stahl von hoher Festigkeit böten die Möglichkeit, mit viel geringerem Konstruktionsgewicht auszukommen und sehr leichte Kessel zu bauen, würden aber bei Inanspruchnahmen, wie eben geschildert, wegen zu geringer Zähigkeit sicher zum Bruch und mindestens zum plötzlichen Ausströmen großer Wasser- und Dampfmengen führen. Ein anderes Beispiel bietet das Einziehen größerer Nieten. Die Bleche werden um die Nieten herum, wie am Abspringen des Zunders zu erkennen ist, über die Fließgrenze hinaus beansprucht. In Baustoffen von geringer Dehnbarkeit entstehen dabei oft äußerlich nicht erkennbare Anrisse, die aber im Betriebe leicht größer und sehr bedenklich werden können.

Sehr wichtig sind zähe Baustoffe im Falle plötzlicher oder stoßweiser Belastung. So sollen die Verbindungsschrauben offener Schubstangenköpfe aus zähem Werkstoffe hergestellt werden, damit sie bei Überlastungen, wie sie gelegentlich eines Wasserschlags vorkommen können, zwar nachgeben und sich längen, aber nicht brechen. Der Bruch einer solchen Schraube kann die völlige Zerstörung der Maschine zur Folge haben. An solchen Teilen ist ferner sorgfältig auf die Vermeidung von Einschnürungen, Kerben und plötzlichen Querschnittverminderungen, die die Ausbildung der Formänderungen beeinträchtigen, zu achten.

In ähnlicher Weise wie die Dehnung dient die Querschnittverminderung oder Einschnürung ψ zur Beurteilung der Zähigkeit. War der ursprüngliche Querschnitt eines Probestabes F cm², der Bruchquerschnitt F_1 cm² so ist die Einschnürung durch

$$\psi = \frac{F - F_1}{F} \cdot 100 \tag{3a}$$

in Hundertteilen ausgedrückt.

Trägt man die bei einem Zugversuch ermittelten Spannungen als Ordinaten, die zugehörigen Dehnungen als Abszissen auf, so wird man in der so erhaltenen Spannungsdehnungslinie unabhängig von dem Querschnitt und der Länge der verwandten Probe. Bei ein und demselben Baustoffe findet man den gleichen Linienzug, gleichgültig, ob er etwa an einem Stabe von 20 mm Durchmesser und 200 mm Meßlänge oder an einem solchen von 10 mm Durchmesser und 100 mm Meßlänge ermittelt wurde, wenn die Proben nur geometrisch ähnlich waren. Dagegen sind die Kräfte im ersten Falle viermal, die Formänderungen doppelt so groß wie im zweiten, so daß bei Anwendung gleicher Maßstäbe für die Kräfte und Formänderungen zwei ganz verschiedene Kurven entstehen. Im folgenden ist aus dem Grunde meist von der Spannungsdehnungslinie Gebrauch gemacht.

Die oben erwähnte Eigenschaft weichen Flußstahls, daß die Verlängerungen bis zum Punkte P, Abb. 10, verhältnisgleich den Belastungen sind, bildet als Hookesches Gesetz die Grundlage für die Berechnung der Formänderungen aus den wirkenden Kräften oder Spannungen oder umgekehrt. Bezeichnet λ die Verlängerung, c einen Festwert, so kann man das Gesetz durch $\lambda = c \cdot P$ ausdrücken. Aus Gleichung (1) folgt $P = F \cdot \sigma_z$ und damit $\lambda = c \cdot F \cdot \sigma_z$ oder da der Querschnitt F an einem prismatischen Stabe innerhalb der Proportionalitätsgrenze als unveränderlich angesehen werden darf, $\lambda = c' \cdot \sigma_z$. Die Verlängerung ist also auch verhältnisgleich der im Stabe vorhandenen Zugspannung. Setzt man nach Gleichung (3) $\lambda = \varepsilon \cdot l$, so wird $\varepsilon \cdot l = c' \cdot \sigma_z$ oder

$$\frac{\varepsilon}{\sigma_z} = \frac{c'}{l} = \text{konst.} = \alpha. \tag{4}$$

α heißt Dehnungs- oder Elastizitätszahl und ist nach der linken Seite der Gleichung die auf die Spannungseinheit bezogene Dehnung. Sie gibt die Verlängerung an, die ein Körper von der Länge 1 und dem Querschnitt 1 durch die Spannungseinheit erfährt. Ihr reziproker Wert ist das Elastizitätsmaß oder der Elastizitätsmodul

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma_z}{\varepsilon}. \tag{5}$$

Mit $\varepsilon = \alpha \cdot \sigma_z$ gibt die Gleichung (4)

$$\lambda = \alpha \cdot l \cdot \sigma_z \tag{6a}$$

und da $\sigma_z = \frac{P}{F}$ ist,

$$\lambda = \frac{\alpha \cdot P \cdot l}{F}. \tag{6b}$$

Bei $\alpha = \frac{1}{2100000}$ kg/cm² errechnet sich z. B. die Verlängerung, die die Meßstrecke $l = 20$ cm des oben erwähnten weichen Flußstahlstabes von 2 cm Durchmesser bei $P = 3000$ kg erfahren hat, zu

$$\lambda = \frac{\alpha \cdot P \cdot l}{F} = \frac{1 \cdot 3000 \cdot 20}{2100000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 2^2} = 0{,}0091 \text{ cm}.$$

Manche Stoffe, wie Gußeisen, Leder, Steine und Beton, zeigen keine Verhältnisgleichheit zwischen den Spannungen und den Formänderungen, so daß auch die zugehörige Dehnungsziffer α von Anfang an veränderlich ist. Für die Zwecke des Maschinenbaues pflegt jedoch die Annahme eines Mittelwertes für α meist genügend genau und daher auch die Benutzung der auf dem Hookeschen Gesetz begründeten Festigkeitsformeln zulässig zu sein.