betrug im Mittel $E = 2140$ t/qcm. Dabei war eine Abweichung von $+ 12\%$ nach oben und $- 8\%$ nach unten festzustellen und ferner eine leichte Krümmung der früher geradlinig verlaufenden Linie, also der HOOKEschen Geraden, im ersten Bereich. Bemerkt sei noch, daß diese Abweichungen in der Größe von E nach dem vierten Versuch nur noch $+ 0\%$ und $- 8\%$ waren, also im Mittel $- 4\%$, was einem Elastizitätsmaß von etwa 2060 t/qcm entspricht.

Folgerungen: Überschreitet man bei Zug- oder Druckstäben die Streckgrenze, so tritt eine Verdichtung, also eine Umlagerung der Kristallite ein, der Baustoff härtet sich; seine Grenzen, also die Fließgrenze und damit auch die P-Grenze oder Elastizitätsgrenze erhöhen sich. Nach wiederholten derartigen Belastungen nimmt das Elastizitätsmaß nach anfänglich stärkeren Schwankungen nahezu den gleichen Wert wie im ursprünglichen Zustand wieder an. Es stellt sich somit allmählich wiederum ein elastisches Arbeiten, jedoch mit einer erhöhten Elastizitätsgrenze und Streckgrenze ein. Der einzige Nachteil besteht darin, daß diese fortschreitende Verdichtung eine *Selbsthärtung* erzeugt und daß dabei die Reserve, die im Verdichtungsbereiche liegt, mehr und mehr aufgezehrt wird.

Zusammenfassend ergibt sich heute folgendes Bild. Die *P-Grenze oder Elastizitätsgrenze* und die *Streckgrenze* sind zwei Schwellen, deren Überschreitung eine besondere Bedeutung hat. Ist das *System statisch bestimmt,* so *muß* die *Streckgrenze* eingehalten werden. Ist es dagegen *statisch unbestimmt* oder ein *Kontinuum,* so bringt *selbst eine Überschreitung der Streckgrenze keine Gefahr,* sondern nur eine *Gefügeänderung,* eine Verdichtung im Aufbau der Kristallite und eine selbsttätige Erhöhung dieser Grenzen. Je stärker diese Überschreitung der Streckgrenze aber ist, um so mehr wird die *Verdichtungsreserve,* die in den plastischen Stoffen liegt, erschöpft.

VII. Die Arbeitsleistungslinie

Die Berücksichtigung des Einflusses der Zeit erhöht die Mannigfaltigkeit der Versuchsergebnisse so stark, daß versucht werden muß, gewisse einfache Darstellungsmittel zu finden, um für die Technik klare Folgerungen ziehen zu können. Nach Vorschlag des Verfassers kann hiefür eine Arbeits-Leistungs-Linie dienen.

Vergleicht man z. B. die gesamte Arbeit eines Spaziergängers und eines Schnellläufers, die beide dieselbe Wegstrecke zurücklegen, jedoch in wesentlich verschiedenen Zeiten, so kann der Vorgang durch folgende Grundbegriffe beschrieben werden.

a) Zunächst muß ein *Energieumwandlungsgesetz* bekannt sein, z. B. durch Messung des Sauerstoffverbrauches in beiden Fällen.

b) Als erste Grundgröße ist die *Arbeit* während jedes Zeitabschnittes maßgebend (z. B. bei einem rollenden Wagen das Produkt aus Wagengewicht, Reibungsbeiwert und Wegstrecke).

c) Außerdem aber ist die *Leistung* kennzeichnend, d. i. die Arbeit geteilt durch die Zeit, also

$$L = \frac{A}{T} \text{ in } \left(\text{kg } \frac{m}{\text{sek}}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (24)$$

In unserem Fall des Zerreißversuches ist das Energieumwandlungsgesetz durch die Spannungsdehnungslinie dargestellt, weil die von ihr begrenzten Flächen die in der Raumeinheit aufgespeicherte Energiemenge oder die bezogene Formänderungsarbeit A angeben. (Z. B. A_{I} von 0 bis zur P-Grenze, A_{II} von 0 bis zur Streckgrenze und A_{III} von 0 bis zur Bruchspannung. Abb. 1).

Trägt man nunmehr diese Werte A_{I}, A_{II} und A_{III} als Ordinaten in Abb. 11 a auf und die Zeitdauer, die bis zur Ladung mit diesen Energiemengen verstreicht, als Winkel ϑ_{I}, ϑ_{II}, ϑ_{III} mit den Fahrstrahlen o-I, o-II und o-III, so ist z. B.

$$\operatorname{tg}\vartheta_{\text{II}} = \frac{y_{\text{II}}}{x_{\text{II}}} \text{ oder } x_{\text{II}} = \frac{y_{\text{II}}}{\operatorname{tg}\vartheta_{\text{II}}}.$$

Trägt man somit als Ordinaten y_{II} die Größe der Arbeit A_{II} auf und als tg $\vartheta_{\text{II}} = T_{\text{II}}$ die Zeitdauer, so muß nach Gleichung (24)

$$x_{\text{II}} = L_2$$

die Leistung darstellen. Man kann somit aus jedem Energieumwandlungsgesetz, z. B. der Spannungs-Dehnungs-Linie für verschiedene Abschnitte diese Größen A und L

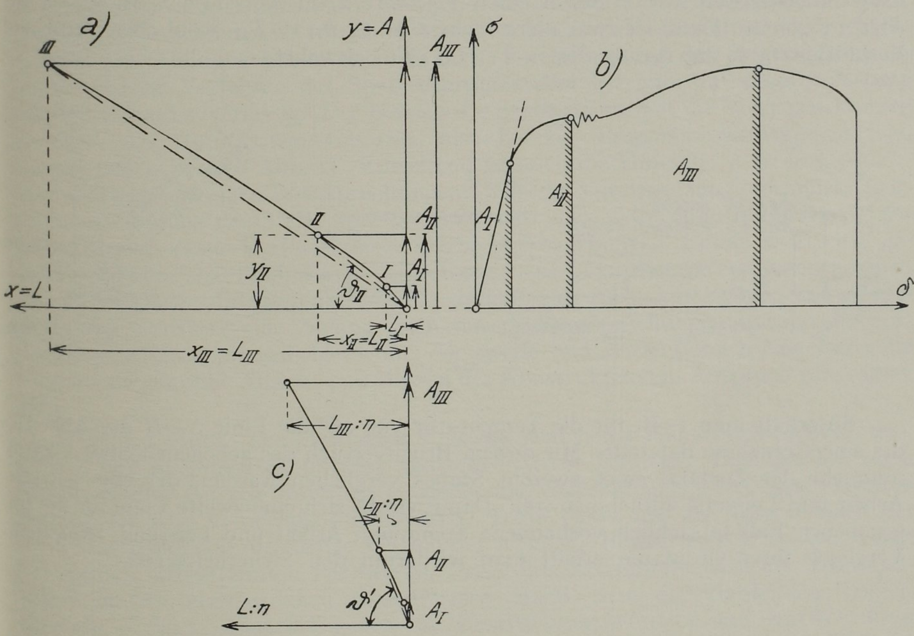

Abb. 11

bestimmen und die zugehörigen Punkte im Arbeitsleistungsdiagramm auftragen. So erhält man eine Arbeitsleistungslinie, z. B. hier des Probestabes beim Zerreißversuch, und zwar eine bestimmte Linie beim Gleichgewichtsversuch und eine andere Linie beim Stoßversuch.

Bemerkt sei noch, daß die Winkel $(90^0 - \vartheta)$ jeweils der Geschwindigkeit verhältnisgleich sind, weil $\operatorname{tg}(90^0 - \vartheta) = \frac{1}{\operatorname{tg}\vartheta}$ ist und sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Zeiten verhalten. Den einen Grenzfall bildet $\operatorname{tg}\vartheta = 0$, bei dem die Geschwindigkeit unendlich groß und die Zeitdauer äußerst klein ist. Der andere Grenzfall ergibt sich zu $\operatorname{tg}\vartheta = 1$, also für $\vartheta = 45^0$, bei dem die Zeit vollständig ausscheidet.

Der Grundgedanke des Verfahrens besteht nun darin, daß einmal die Arbeitsleistungslinie aufgetragen wird, die sich für den Probekörper durch Versuche ergibt.

Sie stellt eine Grenzlinie dar. Sodann ist eine zweite Linie für die tatsächlich wirkenden Lasten aufzutragen unter Berücksichtigung der Spannungen oder Dehnungen und der Zeitdauer des Arbeitsvorganges. Das Verhältnis der Ordinaten beider Linien gibt dann den Sicherheitsgrad ν.

2. Als *Beispiel* mögen die Ergebnisse der *Versuche von* SCHWINNING-*Dresden* (siehe oben unter III, 6) aufgezeichnet werden. In Abb. 12 sind die aus den Lastdurchbiegungslinien (Abb. 6) zunächst berechneten Werte A als Ordinaten aufgetragen. Da bei diesem Versuch auch die Zeiten und Geschwindigkeiten gemessen wurden, und zwar $v_1 = 1$ mm/Min., $v_2 = 10$ mm/Min. und $v_3 = 200\,000$ mm/Min., konnten hier auch die Leistungsgrößen berechnet und als Abszissen eingetragen werden. Falls die sehr großen Werte $x = L$ für den Stoßversuch bei der Auftragung unerwünscht sind, kann man eine Maßstabsveränderung dadurch vornehmen, daß man die Abszissen $x = L$ durch einen Festwert n, in Abb. 11 c z. B. $n = 3$ (in Abb. 11 c) teilt. Dann ist zwar nicht mehr z. B. $\operatorname{tg} \vartheta_{\mathrm{II}} = T_{\mathrm{II}}$, wohl aber bleibt das Verhältnis $\operatorname{tg} \vartheta_{\mathrm{I}} : \operatorname{tg} \vartheta_{\mathrm{II}} : \operatorname{tg} \vartheta_{\mathrm{III}} = T_{\mathrm{I}} : T_{\mathrm{II}} : T_{\mathrm{III}}$ gewahrt.

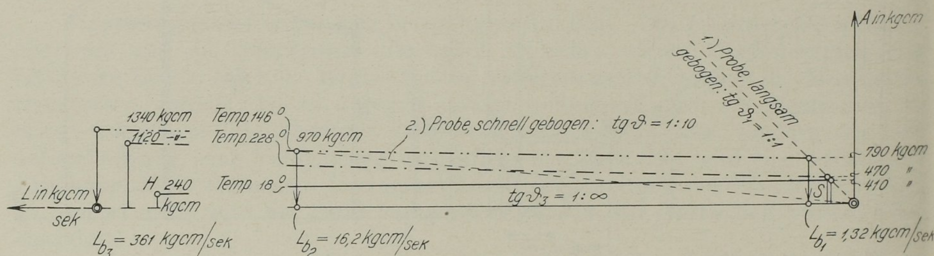

Abb. 12

So erhält man z. B. für die Temperatur von 18° die Linie S—H der Abb. 12, die eine Grenzlinie darstellt. Mit diesem Bruchversuch des gebogenen Stabes kann nunmehr der Zustand eines zweiten Stabes verglichen werden, der eine gewisse Arbeit und Leistung aufnehmen soll. Damit ergibt sich eine zweite Linie für die im gegebenen Fall tatsächlich vorhandene Spannung, Arbeit und Leistung. Aus dem Vergleich ihrer Ordinaten erhält man wiederum den Sicherheitsgrad.

Diskussion

Prof. GEHLER *leitet die Diskussion wie folgt ein:*
Prof. GEHLER *introduces the discussion with the following statements:*
La discussion s'ouvre par la communication suivante de M. le Prof. GEHLER:

Als Berichterstatter möchte ich noch folgende drei Leitsätze anfügen.

1. *Bei rein statischer Belastung und bei normaler Querschnittsausbildung der Stäbe* (ohne Behinderung der Querdehnung, also ohne Kerbwirkung) ist unser übliches Verfahren des *Spannungsmaßstabes* zur Bemessung des Sicherheitsgrades ausreichend, ebenso auch *die Höhe der heute zulässigen Beanspruchung,* z. B. bei Siliziumstahl im Eisenbrückenbau $\sigma_{zul} = 2100$ kg/qcm bei 3600 kg/qcm Mindest-Streckgrenze.

2. *Bei statisch unbestimmten Systemen* besteht die Hoffnung, später einmal auch den plastischen Bereich (zwischen P-Grenze und Streckgrenze) auszunutzen.