

METALLKUNDE

Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure

Schriftleitung: Professor Dr. W. Guertler und Dipl.-Ing. H. Groeck
VDI-VERLAG G.M.B.H. — BERLIN SW 19, BEUTHSTRASSE 7

Zur Frage der Elastizität.

Von J. Czochralski, Frankfurt a. M.

Die vorliegende Darstellung des Standes der Frage: „Die Elastizitätsgrenze als Grundlage für die Berechnungen des Konstrukteurs“ bringen wir als willkommene Ergänzung zu dem auf S. 485 dieses Heftes veröffentlichten Meinungsaustausch, der sich auf der diesjährigen Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde in Frankfurt a. M. an die Vorträge von Prof. Ludwik und Dr. Welter angeschlossen hat.

Ueber das Wesen der Elastizität und über ihre zahlenmäßig zu beziffernde Grenze ist viel gestritten worden. Dieser Streit scheint sich von Zeit zu Zeit zu erneuern. Es ist und bleibt aber eine Tatsache, die widerspruchsflos aufgenommen werden muß, daß die bis jetzt bekanntgewordenen Zahlenwerte der Elastizitätsgrenze Streuungen aufweisen können, die jede Auswertungsmöglichkeit für den Konstrukteur von vornherein ausschließen, ganz abgesehen davon, daß die E-Grenze der verschiedenen Stoffe je nach ihrem physikalischen Zustand in großen Grenzen schwankt (bei Fe bei Cu, Pb, Sn, Zn, Al). Es können auch bei ein und demselben Probestab erhebliche Änderungen der E-Grenze festgestellt werden, wenn ein solcher Stab schon ganz geringfügige überelastische Beanspruchung erleidet. Bei Eisen werden Änderungen von 20 auf 2 kg/mm² und noch niedrigere Werte genannt¹⁾. Man hat diese Erscheinungen vielleicht ganz treffend charakterisiert, indem man sagt, daß die E-Grenze „heruntergeworfen“ wird. Die Bedingungen, unter denen dieses „Herunterwerfen“ der E-Grenze regelmäßig eintritt, sind noch nicht ganz sicher festgestellt, im allgemeinen erscheint aber ein Wechsel des Kraftangriffes für das Auftreten der Erscheinung von ausschlaggebender Bedeutung zu sein. Abwechselnde Druck- und Zugbeanspruchung²⁾, natürlich stets über die E-Grenze hinaus, ist fast immer auf die Zahlenwerte von geringerem oder größerem Einfluß. Die Wirkung ist wohl am größten, wenn die Richtungen des ersten und zweiten Kraftangriffes senkrecht aufeinander stehen. Es ist nun die

Frage, inwieweit diese Erscheinungen auch bei den Metallen außer Eisen sich bemerkbar machen.

Von Aluminium kann mit Sicherheit angenommen werden, daß es sich in dieser Hinsicht dem Eisen ganz ähnlich verhält. Wird ein Aluminiumdraht ganz leicht verdreht und darauf zerrissen, so weisen seine mechanischen Konstanten gegenüber dem unverdrehten Draht wesentliche Veränderungen auf. Die Festigkeit kann durch diese Vorbehandlung um 25 vH des ursprünglichen Betrages und mehr sinken. Es liegt außer Zweifel, daß damit auch die elastischen Eigenschaften wesentliche Veränderungen erlitten haben müssen. Es wäre also naheliegend, anzunehmen, daß auch die übrigen Metalle sich ähnlich verhalten. Nun scheinen aber zwischen Eisen und Aluminium sehr nahe Beziehungen zu bestehen. Sie ähneln sich ja auch vielfach in chemischer Hinsicht. Insbesondere ist es auch die Struktur, die auf eine gewisse Verwandtschaft im Verhalten der beiden Metalle schließen läßt. Die Neigung zur Gleitebenenbildung ist bei beiden gleich schwach ausgeprägt, ebenso die Neigung zur Zwillingsbildung, während die meisten übrigen Metalle diese Zeichen der Deformation in charakteristischer Form aufweisen. Da aber ein ausgeprägtes Nachfließen auch bei Zinn insbesondere beim Wechsel des Kraftangriffes beobachtet werden kann (z. B. bei der Härteprüfung von gewalzten Stäben), so ist man wohl zu der Annahme berechtigt, daß mit einer Veränderung der elastischen Eigenschaften bei einem Wechsel des Kraftangriffes auch bei den anderen Metallen im allgemeinen zu rechnen sein dürfte. Nimmt man aber dies als Tatsache hin, mit der gerechnet werden muß, so bedarf die Definition der E-Grenze besonderer Einschränkungen, und man würde nur ganz bedingt von einer solchen sprechen können. Die Betrachtungen

¹⁾ Ludwik: Vortrag auf der Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde 1924; Z. f. Metallk. Bd. 16 (1924) S. 207.

²⁾ Moellendorff u. Czochralski: Z. d. V. d. I. Bd. 57 (1913) S. 931 u. 1014.

wären also nur auf solche Vorgänge zu erstrecken, die im unterelastischen Reiche sich vollziehen. Jede auch vorübergehende überelastische Beanspruchung müßte geflissentlich aus dem Gebiete der Betrachtungen ausgeschieden werden.

Dieser Einschränkung würden vielleicht einige Konstrukteure ohne weiteres zustimmen. Dem steht aber, abgesehen davon, daß die hieraus erwachsenden Forderungen sich m. E. nur in den wenigsten Fällen verwirklichen lassen, ein wichtiges Hindernis entgegen. Es läßt sich nämlich unschwer nachweisen, daß auch bei unterelastischen Beanspruchungen, aber selbst auch bei völlig unbeanspruchten Stäben die E-Grenze durchaus nicht so konstant ist, wie dies vielfach angenommen wird, sondern daß sie recht häufig in gewissen Grenzen Veränderungen erleiden kann. Man bezeichnet diesen Vorgang allgemein als „Altern“. Dieser Vorgang ist zweifellos auf das Auswirken von inneren Spannungen zurückzuführen, die einem allgemeinen Gleichgewicht der Ruhe zustreben. Auch hierbei handelt es sich keineswegs nur um Korrektionsgrößen, sondern es werden von verschiedenen Seiten Zahlen mitgeteilt, die zwischen 2 und 20 kg/mm² liegen können. Da diese Werte an- und absteigen können, so bietet die Bestimmung der E-Grenze in allen diesen Fällen kein eindeutiges Mittel, um sich über die wirkliche Lage der E-Grenze unterrichten zu können. Das als einwandfrei befundene Material kann nach Verlauf von wenigen Tagen eine E-Grenze aufweisen, die nur noch einen Bruchteil der bei der Prüfung ermittelten ausmacht, und umgekehrt. Es kann sogar der Fall eintreten, daß die E-Grenze negativ wird und selbsttätige Stabdeformationen, wie dies häufig beobachtet worden ist, im Gefolge hat. Die E-Grenze ist also gewissermaßen ein mechanisches Chamäleon und somit einem andauernden Wechsel unterworfen. Für die objektive Beurteilung der Sachlage ist es indes besonders wichtig, eindeutig festzustellen, ob allen diesen Erscheinungen nur der Wert gelegentlicher Anomalien zukommt oder ob es sich hierbei um eine allgemein verbreitete Erscheinung handelt. Eindeutiges statistisches Material kann zurzeit anscheinend nicht beigebracht werden. Die meisten Forscher, die sich mit diesen Fragen eingehend befaßt haben, scheinen sich für eine ausgesprochene Anomalität der E-Grenze auszusprechen. Gegen diese Auffassung sind nur sehr wenige.

Ganz neuerdings ist wieder diese alte Streitfrage verstärkt aufgenommen worden. Anlaß hierzu gaben die Veröffentlichungen von G. Welter³⁾. Im wesentlichen führten sie zu dem Endergebnis: Hie E-Grenze, hie Streckgrenze⁴⁾. Wenn nun namhafte Forscher und sorgfältige und ehrliche Experimentatoren zu so entgegengesetzten Standpunkten gelangen, so dürfte hieraus die

Schwierigkeit der Auswertung der Versuchsergebnisse ohne weiteres erhellen. Die Mängel, mit denen die wertende Messung der E-Grenze behaftet ist, machen sich aber auch bei der Bestimmung und Auswertung der Streckgrenze in anderer Weise bemerkbar. Wenn auch in bezug auf die Lage der Streckgrenze nicht so große Unsicherheit besteht, wie dies bei der E-Grenze festgestellt werden kann, so muß dem entgegengehalten werden, daß nur die wenigsten Metalle eine deutlich ausgeprägte Streckgrenze haben, und eigentlich ist es wohl nur das Eisen, bei dem sie der wertenden Mesung zugänglich ist.

Der Technologe, der Materialprüfungsmann, der Maschinenbauer und der Konstrukteur, die in Ermangelung eines Besseren genötigt sind, diese Zahlen auszuwerten, stehen also allem diesen ratlos gegenüber, wenn sie nicht über Erfahrungen verfügen, die ihnen im einzelnen Fall die Entscheidung erleichtern. So viel ist sicher, die E-Grenze allein und ebenso die von den andern Beziehungen material-technischer Art losgelöste Streckgrenze sind und bleiben, wenigstens in der Form, in der sie sich heute darbieten, gewissermaßen leere Begriffe. Wenn dies hier einmal in dieser krassen Form festgestellt worden ist, so geschieht es weniger mit der Absicht, Kritik an den bestehenden Anschauungen zu üben, sondern vielmehr lediglich in der Absicht, vielleicht vorgefaßte Meinungen zur Erörterung zu stellen und dadurch zu Widerspruch und Mitarbeit anzuregen. Wie gesagt, sind die Begriffe E-Grenze und Streckgrenze im wesentlichen nur Schlagworte, die eine demgemäße Bewertung finden sollten. Auf jeden Fall dürfte es zweckmäßig sein, festzustellen, welcher von diesen beiden Begriffen der Wirklichkeit näherkommt. Will der Konstrukteur, der Maschinenbauer, der Materialprüfungsmann und der Technologe seine Baustoffe auf Grund einer einzigen Konstante bewerten, so fällt es sofort auf, daß der Streckgrenze hier der Vorzug zu geben sein dürfte und dies aus dem einfachen Grunde, weil mit dem Begriff „Streckgrenze“ oder „Fließgrenze“ bereits auch ausgesagt wird, daß das Material zum Fließen überhaupt befähigt ist, während dem Begriff „E-Grenzen“ dieser Inhalt fehlt.

Der Begriff Fließgrenze legt die Betonung mehr auf das Formänderungsvermögen, der Begriff E-Grenze mehr auf den Formänderungswiderstand. Nun sind Formänderungsvermögen und Formänderungswiderstand für jeden Fachmann auf dem Gebiete der Metalle zwei so eng aneinander geknüpfte Belange; daß er keinen von beiden entbehren und entraten kann. Liegt die Streckgrenze besonders hoch, so bedeutet dies doch nur, daß eine Konstruktion zwar hohe Belastungen, dabei aber auch außergewöhnliche Verformungen erleiden kann, ohne sogleich zerstört zu werden. Liegt die E-Grenze dagegen sehr hoch, so besagt dies nur, daß die Konstruktion zwar sehr hohe Belastungen aufnehmen kann, ihr Verhalten beim Ueberschreiten der E-Grenze ist aber keineswegs näher definiert, es kann also je nach der Natur des Stoffes

³⁾ Z. d. V. d. I. Bd. 68 (1924) S. 9; Z. f. Metallk. Bd. 16 (1924) S. 6, 213.

⁴⁾ Z. f. Metallk. Bd. 16 (1924) S. 207.

der Bruch sofort nach Ueberschreiten des kritischen Betrages eintreten. Der Begriff „Streckgrenze“ ist also zur Voraussage des Verhaltens eines Materials bei der Beanspruchung geeigneter als der Begriff E-Grenze. Dies ist aber schließlich das Endziel jeglicher Forschung. Damit wird jedoch die Erörterung auf einen grundsätzlichen Punkt hingelenkt.

Es ist den Wissenschaften bis jetzt wohl noch nie gelungen, einen Stoff mit einer einzigen Konstante zu definieren, nur einfache Beziehungen zweier wirkender Faktoren lassen sich in diese einfache Ausdrucksform kleiden. Derart verwickelte Vorgänge, wie sie bei überelastischen Beanspruchungen auftreten, durch eine Konstante erfassen zu wollen, dürfte von vornherein wohl wenig aussichtsvoll sein, vielmehr muß hier eine umfassende Charakteristik die Stelle einer Stoffkonstante ersetzen. In dieser Richtung bewegen sich auch die meisten materialprüfungstechnischen Bestrebungen; sie müssen auch von diesem Gesichtspunkte gewertet werden. Würde man eine Klassifikation der Baustoffe nur nach der E-Grenze vornehmen und würde dem Konstrukteur ein beliebiger Baustoff auf Grund der geförderten Konstante in die Hand gegeben werden, so müßte er mit der Möglichkeit rechnen, gelegentlich auch Gesteine oder Glas als Baustoffe in Empfang nehmen zu müssen, dort wo jedem Fachmann die Verwendung eines zähen Metalls „zur Vorsicht und für alle Fälle“ ratsam erscheinen dürfte. Bei der Verwendung der Streckgrenze als Materialkonstante würde ihm wenigstens eine solche Ueberraschung erspart bleiben. Die Streckgrenze scheint demnach weseneseigneter zu sein und zur Voraussage des Verhaltens eines Stoffes der E-Grenze gegenüber gewisse Vorzüge voraus zu haben. Wird aber die Streckgrenze in ihrer Beziehung zur Zeit betrachtet, so dürfte der Einfluß der Zeit in dieser Konstante weniger als bei der E-Grenze zum Ausdruck kommen. Schlechthin und gewissermaßen unter der „Zeitlupe“ betrachtet, könnte eine Konstruktion, die auf Grund ihrer Streckgrenze berechnet worden ist, eines Tags in sich zusammenfallen, d. h. eine Flußbrücke würde unter dem Einfluß der alles niederbeugenden Zeit durch Senkung zum Anliegen an das Flußbett gelangen können. Beide Beispiele zeigen den Wert der beiden Konstanten in dem Zwang der sich aus ihnen ergebenden letzten Folgerungen.

Wir besitzen also zurzeit keine Konstante, die geeignet wäre, die kritische Charakteristik, mit deren Ausbau sich das Materialprüfungswesen seit seinen frühesten Anfängen abmüht, zu ersetzen; die Bestrebungen erscheinen m. E. auch fruchtlos und der Natur der Dinge nicht entsprechend. Wir sind heute noch von einer exakten Erfassung von Vorgängen molekular-mechanischer Art äußerst weit entfernt. Eine wissenschaftliche Festlegung der Begriffe Kohäsion, Härte, Verfestigung, prismatische Dehnung, Kontraktion, ebenso der E-Grenze und

der Streckgrenze ist noch nicht einmal eingeleitet worden. Höchstwahrscheinlich handelt es sich hierbei um sehr verwickelte Vorgänge, bei denen es zunächst notwendig sein wird, neben den Vorgängen selbst auch die wechselnden Bedingungen, die auf ihre Abwicklung von Einfluß sind, näher aufzudecken. Die letzten Forschungen haben aber in dieser Beziehung eher verschleiern als aufklärend gewirkt. Die Lösung der zweifellos verwickelten und tiefgründigen Fragen ist zunächst wieder einmal den Netzen unseres wissenschaftlichen Denkens ent-schlüpft.

Man kann, wie es ja die klassische Mechanik, nach deren Vorbild es auch G. Welter tut, sich auf die rein elastischen Vorgänge beschränken. Man würde auf diese Weise, und das ist das reizvolle dieser Einstellung, zu einem einfachen eleganten Ansatz gelangen. Nimmt man aber die Dinge, so wie sie sich in Wirklichkeit darbieten, so erweist sich dieser Weg wohl als unbegehrbar und zwar aus mehreren sehr wichtigen Gründen. Es wurde schon oben zu zeigen versucht, daß die E-Grenze mechanisch etwas sehr Labiles ist, sie steht in Abhängigkeit von dem jeweiligen Spannungsfeld des zu betrachtenden Systems; verändert sich dieses Spannungsfeld, und dieses ist wohl bei gereckten Stoffen ausnahmslos der Fall, so verändern sich damit auch selbsttätig die elastischen Konstanten. Also selbst dann, wenn von nachträglichen überelastischen Deformationen im Betriebe abgesehen wird, muß stets mit einer selbsttätigen Veränderung der E-Grenze sämtlicher Konstruktionselemente gerechnet werden. Diese Veränderungen können in gewissen Fällen groß, in anderen vielleicht sehr klein sein. Es ist Sache der statistischen Prüfung, die Häufigkeitskurven zu ermitteln; es wäre ja immerhin möglich, daß sich auf Grund der Häufigkeitszahl verhältnismäßig eng umrissene Werte für die E-Grenze auf diese Weise feststellen ließen; in diesem Falle wird aber der Fachmann offenbar genau so wenig irgend welche Schlußfolgerungen im Hinblick auf die Güte der Konstruktionsmaterialien aus der Lage der E-Grenze ziehen können. Diese Feststellung würde wohl aber umso deutlicher beweisen, daß dem an Hand der Häufigkeitskurven ermittelten Erfahrungswert viel größere Zuverlässigkeit beizumessen ist als dem zu Täuschungen sehr verführenden Singularwert. Jedenfalls wäre diese Erfahrungszahl einer jeden andern wertenden Messung vorzuziehen.

Als zweiter Einwand gegen die Verwendung der E-Grenze als maßgebender Materialkonstante spricht auch der Umstand, daß wir vorläufig wohl nicht in der Lage sind, die Güte der Baustoffe nach der E-Grenze zu bewerten; jedenfalls liegen hierüber so gut wie gar keine Erfahrungen vor. Selbst wenn das Vorhandensein einer realen E-Grenze erwiesen wäre, müßte die Frage noch gesondert geprüft werden, in welcher Weise das Verhalten der Baustoffe bei den mannigfaltigsten Beanspruchungen mit dieser realen E-Grenze in Beziehung stände. Dieser

Beweis ist bis jetzt von keiner Seite erbracht worden. Auch aus den Untersuchungen von G. Welter lassen sich dahingehende Schlußfolgerungen nicht ziehen. Dies ist vielleicht die schwächste Stelle seiner im übrigen sehr beachtenswerten Ausführungen. Ein weiterer sehr wichtiger Umstand, und damit berühren wir wohl eine wundte Stelle im Wesen des Maschinenbaues, ein Punkt, auf den der Maschinenbauer nur ungern eingehen dürfte und der von den Maschinenbauern bis jetzt wohl zu wenig beachtet worden ist, sind Deformationen, die die Maschinen im Betriebe zu erleiden pflegen. Es muß aber noch einmal in aller Schärfe und Bestimmtheit die Frage gestellt werden: Welche Beträge der Verformung können die einzelnen Maschinengattungen bei Dauerbetrieben erleiden?

Vorbildlich sind in dieser Hinsicht die Versuchsämter der Eisenbahn vorgegangen. Es sind zu diesem Zwecke für das Vermessen der Deformationen Präzisionsvorrichtungen für Lokomotiven geschaffen worden, die das Vermessen der Deformationen nach bestimmten Betriebszeiten in einwandfreier Weise ermöglichen. Die Versuche, die sich in ihren Anfängen befinden, haben bereits eine Menge äußerst bemerkenswerter Tatsachen zu Tage gefördert. An wichtigen Konstruktionsteilen konnten so weitgehende Deformationen ermittelt werden, die selbst sehr kühne Erwartungen übertroffen haben dürften. In vielen Fällen konnten die Deformationen bereits mit dem Millimeter-Maßstab nachgewiesen werden. Nun wird der Maschinenbauer die Möglichkeit derartiger Verformungserscheinungen wohl an nicht ortfesten Maschinen mit gewissen Einschränkungen zugestehen, bei ortfesten Maschinen dagegen eine Möglichkeit von plastischen Verformungen im allgemeinen abweisen. Demgegenüber muß aber betont werden, daß es grundsätzlich überhaupt keine Stoffe geben dürfte, die ihre ursprüngliche Form auf die Dauer beizubehalten befähigt sind. Vielleicht sind in dieser Beziehung die unbeanspruchten Einkristalle als die stabilsten Gebilde anzusehen. Bei Anwesenheit von Raumspannungen werden alle Stoffe geringere oder größere plastische Verformungen erleiden können. Dies wird umso mehr der Fall sein, in je ausgiebigerem Maße Raumspannungen in irgend einem Stoff nicht sofort, sondern allmählich zur Auslösung gelangen können. Alle diese Stoffe werden also kleineren oder größeren überelastischen Verformungen unterworfen sein. Besonders deutlich treten diese Erscheinungen bei den organischen Baustoffen zum Vorschein. Die Verformung von Hölzern und Geweben sind in ihren krassen Formen hinreichend bekannt, aber auch selbst Stoffe, bei denen Veränderungen des chemischen oder physikalischen Zustandes nicht festgestellt werden können, sind stärkeren Verformungseinflüssen ausgesetzt. In dieser Beziehung sind die Gläser als besonders typisches Beispiel zu vermerken. Bei den Metal-

len ist die Neigung zu Verformungen außerordentlich stark ausgeprägt.

Bei fast allen Metallen lassen sich unmittelbar nach dem Reckvorgang sehr weitgehende Verformungen nachweisen. Man braucht zu diesem Zwecke nur an frisch gezogene Drähte oder Stäbe das Martens-Spiegelgerät anzulegen, um sich hier von leicht überzeugen zu können. Besonders typisch treten diese Erscheinungen beim Zink oder Zinn auf. Die Veränderungen kann man wochen- ja selbst monatelang beobachten. Es sind hierbei also durchaus Erscheinungen im Spiele, die nicht etwa als Korrektionsgrößen angesehen werden können, sondern vielmehr so einschneidende Vorgänge, die die Betriebsbrauchbarkeit eines Stoffes gänzlich in Frage stellen können. Mit diesen Faktoren wird also auch der Maschinenbauer und Konstrukteur künftighin zu rechnen haben. Plastische Formveränderungen an Maschinenelementen, seien diese noch so sorgfältig hergestellt, sind also als eine durchaus gegebene Tatsache aufzufassen. In besonderen Fällen können diese Spannungen sich natürlich auch so auswirken, daß ihre Einflüsse sich aufheben und wenigstens eine Zeitlang den Messungen entziehen. Mit diesem Fall wird aber wohl nur selten zu rechnen sein.

An die Spitze all dieser Betrachtungen muß also der Satz gestellt werden, daß es Stoffe bzw. Bauelemente, die keine bleibenden Formänderungen erleiden, schlechthin überhaupt nicht gibt. Dies ist natürlich nur eine qualitative Feststellung, mit der man zunächst ja wenig anfangen kann, sie ist auch nicht geeignet, dem Konstrukteur irgendwelche Mittel an Hand zu geben, um die Konstruktionsfragen fördernd zu beeinflussen. Eins ist aber in dieser Aussage enthalten: Der Weg, den der neuzeitliche Konstrukteur künftighin auszubauen haben wird, d. i. das genaue Studium der Formveränderungen seiner Bauelemente, der Nachgiebigkeit von der Zeit und den Arbeitsbedingungen. Nicht nur die einer dauernden Beanspruchung unterworfenen Bauelemente werden auf Grund dieser Erscheinungen überelastischen Verformungen ausgesetzt, sondern auch selbst unbeanspruchte Bauteile sind in ständigen Verformungen begriffen. Mit dieser Tatsache muß sich der Konstrukteur und Maschinenbauer zunächst einmal abfinden. Er wird weitgehende Vermessungsarbeiten an seinen Bauelementen vorzunehmen haben, um sich über die Tragweite dieser Erscheinungen ein einwandfreies Bild verschaffen zu können.

Bevor er an das Aufgreifen dieser Aufgaben herantreten wird, wird er aber noch eine schwierige Pionierarbeit leisten müssen, d. i. im Hinblick auf den Ausbau der hierfür erforderlichen Meßmethodik. Diese Aufgabe dürfte zweifellos zu den schwierigsten der technischen Physik und des Ingenieurwesens gehören, da gerade die physikalischen Meßverfahren geeignet sind, die Unzulänglichkeit unserer Sinneswahrnehmungen darzutun. Wenn das zahlenmäßige Studium dieser Vorgänge soweit gediehen ist, daß wir von einer Wissenschaft der Verformungserscheinun-

gen von Bauelementen sprechen können, wird man einen tieferen Einblick in die Welt dieser Erscheinungen gewinnen, um auch den Unterschied, der zwischen dem Materialprüfungswesen und dem Konstruktionswesen besteht, hinreichend würdigen zu können. Wenn der Konstrukteur dem Materialprüfungsmann die Unzweckmäßigkeit seiner Prüfverfahren zum Vorwurf macht, so muß anderseits auch der Materialprüfungsmann den Konstrukteur an seine eigentlichen Aufgaben erinnern; die wichtigste dieser Aufgaben ist eben das Studium der Formveränderung der von ihm verfertigten Bauelemente. Der Konstrukteur und Maschinenbauer muß eine wissenschaftliche Durchdringung dieses Gebietes anstreben, als deren Frucht eine Klassifikation seiner Bauelemente je nach den Verformungsgraden anzusehen ist. Er muß dem Fachmann im Wesen der Materialprüfung die genau umschriebene und eindeutige Aufgabe stellen können, ihm Baustoffe zu beschaffen, die den von ihm genau angegebenen Verformungsgraden gewachsen sind. Auf eine derart gefaßte Forderung wird auch der Materialprüfungstechniker mit einem bindenden Vorschlag dienen können.

Bei einem Stand der Dinge, bei dem die Frage der „Möglichkeit und Unmöglichkeit“ der überelastischen Deformation aber noch heiß umstritten wird, ist der Materialprüfungstechniker nicht in der Lage, zu all diesen Dingen Stellung zu nehmen. Alle Bestrebungen materialprüfungstechnischer Art werden daher in dieser Hinsicht völlig nutzlos sein. Er wird vielleicht gerade in den Fällen ein gegen Verformungen nur wenig widerstandsfähiges Material empfehlen, in denen ein solches von höchstem Verformungswiderstand noch gerade gut genug gewesen wäre und umgekehrt. Ein erfahrener Materialprüfungsmann, der tiefer in das Wesen der Verformungserscheinungen eingedrungen sein wird, wird auch nie seinen Werkstoff auf Grund einer physikalischen Konstante zu bewerten geneigt sein, sondern die Schaffung einer umfassenden Charakteristik anstreben und die an ihn gestellten Aufgaben stets nur auf Grund einer solchen Charakteristik beantworten. Es gibt heute keine „Aladin-Formel“, die die exakte Materialcharakteristik zu ersetzen befähigt wäre. Die gegenwärtige Materialprüfungstechnik ist vielleicht auf dem besten Wege, den Ausbau von Stoffcharakteristiken wesentlich zu vervollkommen. Zu einem vollen Erfolg werden aber diese Bestrebungen erst dann führen, wenn auch der Konstrukteur und Maschinenbauer inzwischen eine gleich umfangreiche Arbeit auf dem Gebiete der Vermessung und bleibenden Formveränderung seiner Bauelemente geleistet haben wird.

In einer Hinsicht sind aber die mit der Forderung einer genauen Bestimmung der E-Grenze bzw. Streckgrenze verknüpften Richtlinien in vollem Maße anzuerkennen, d. i. im Hinblick auf die Erhöhung der Sorgsamkeit bei der Bestimmung der ersten Stufen der Deformationsvorgänge ohne Rücksicht auf die Lage irgend-

welcher problematischer Grenzwerte. Zweifellos sind gerade diese ersten Stufen (Bereiche, nicht Punkte) der Verformung für den Maschinenbauer und Konstrukteur von unvergleichlich größerer Bedeutung als die Bestimmung der Fließvorgänge, nachdem sie beträchtliche Beträge erreicht haben. Für den Bau von Präzisionsmaschinen haben diese größeren Verformungsstufen wohl in den meisten Fällen gar keinen Wert mehr, und darin ist wohl auch der Haupt Gesichtspunkt der Ausführungen von G. Welter zu erblicken, denen unter diesen Beschränkungen voll und ganz zugestimmt werden kann. Für diese Gebiete des Maschinenbaues hat vielleicht auch schon die Bestimmung der Streckgrenze nur geringeren Wert, geschweige denn die der Höchstlast- oder Bruchgrenze. Bei groben Konstruktionselementen, bei denen unter Umständen sehr große überelastische Verformungen auftreten können, wird dagegen auch die Höchstlastgrenze wohl noch von praktischer Bedeutung sein.

Die Zerreißgrenze und die Kontraktion dürften dagegen dem Technologen mehr als dem Konstrukteur zugutekommen. Schon diese Hinweise dürften es aber zeigen, daß allen diesen Angaben irgendein gesonderter Wert beigemessen werden muß, und in dieser Hinsicht gibt auch der übliche Zerreißversuch zwar eine rohe, aber nicht ganz überflüssige Charakteristik vieler wichtiger Stoffeigenschaften, die auch bei Verwendung von besonders wissenschaftlich ausgestatteten Verfahren nur unvollkommen erfaßt werden können.

Die Arbeiten von G. Welter scheinen einer gewissen Einseitigkeit im Hinblick auf die Bewertung der E-Grenze für das Konstruktionswesen zuzuneigen. Sie erwecken auch ferner den Eindruck, als ob er eine Aufgabe der bisherigen Wege des Materialprüfungswesens befürwortet. Dies scheint aber vielleicht mehr im äußern Gewand seiner Arbeiten begründet zu liegen, als in seinen Absichten. Daß auch er der Kenntnis der weiteren Stoffeigenschaften nicht zu entraten scheint, beweisen die in seinen Arbeiten zwischen den Zeilen herauszulesenden Wendungen, unter denen besonders der Satz seiner vorangehenden Arbeit: „Inwiefern jedoch weiterhin noch mit einer Mindestdehnung und mit einem bestimmten überschüssigen Arbeitsvermögen der Werkstoffe gerechnet werden muß, hängt in erster Linie von äußeren nicht nachprüfbaren Einflüssen der Konstruktion sowie von der Art der Konstruktionsteile und ihrer Beanspruchung ab“ hinweist. Ein unbestrittenes Verdienst seiner Arbeiten ist auch der, eine ganze Reihe sehr sorgfältiger Versuchsergebnisse bekanntzugeben und nicht zumindest einen lebhaften Meinungsaustausch angeregt zu haben, die zur Klärung dunklerer Gebiete sich stets nur als nützlich herauszustellen pflegt. Mögen daher diese Ausführungen einen weiteren regen Gedankenaustausch nicht abschneiden, sondern nach Möglichkeit fördern. [RS 293]

Eingegangen am 10. Dez. 1924.