Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 67 (1949)
Heft: 29

Artikel: Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper
Autor: Roš, M. / Eichinger, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-84095

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: 09.12.2025

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

67. Jahrgang Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 29

Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper

Von Prof. Dr. M. ROŠ und Dipl. Ing. A. EICHINGER, Zürich

DK 539.4.011

II. «Neue Theorie der Elastizität und Festigkeit» von H. Brandenberger

(Schluss von S. 387)

Dr. *H. Brandenberger*[9]) legt seinen Betrachtungen über den gegenwärtigen Stand des Problems der Anstrengung bzw. Bruchgefahr zäher Werkstoffe seine *Hypothese der Raum- und Gitterspannungen* zu Grunde, die den wirklichen Kraft-Verformungsmechanismus zäher Werkstoffe und die Fliesserscheinung zutreffender erfassen soll und überträgt sie auch auf die Erschöpfung durch Ermüdung. Von der bekannten Tatsache ausgehend, dass die an den Flächen eines Würfelelementes angreifenden Hauptspannungen σ_1, σ_2 und σ_3 eine elastische Formänderung erzeugen (Bild 3), ordnet er den drei elastischen Hauptdehnungen ε_1, ε_2 und ε_3 die «*Gitterspannungen*» σ_{g1}, σ_{g2} und σ_{g3} und der elastischen Volumenänderung $\Delta V_e = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 3\,\varepsilon_m$ die «*Raumspannung*» σ_R zu, die sich den Gitterspannungen überlagert und eine der Raumspannung σ_R proportionale Volumenänderung $3\,\varepsilon_m$ erzeugt.

Als besonders ausgeprägte Punkte des einaxigen (allgemein mehraxigen) Spannungs-Dehnungs-Diagrammes wählt H. Brandenberger die Elastizitätsgrenze σ_e bzw. die mit ihr zusammenfallende erste Fliessgrenze σ_f' und die zweite Fliessgrenze $\sigma_f'' = \sigma_f$ (Bild 14) und legt seinen Betrachtungen auch im elasto-plastischen Gebiet (Bild 3) die «Elastizitätstheorie» zu Grunde.

Die Hauptspannungen eines dreiaxigen Spannungszustandes σ_1, σ_2 und σ_3 sind durch die zugeordneten elastischen Hauptdehnungen ε_1, ε_2 und ε_3 in der von Lamé eingeführten Schreibweise durch die Gleichungen (3) ausgedrückt. Setzt man dort für die materialtechnischen Konstanten

$$E_R = \frac{3\,m\,E}{(m+1)\,(m-2)} \quad \text{und} \quad E_g = \frac{m\,E}{m+1}$$

ein, so erhält man die einfachere Form:

$$(15) \qquad \begin{aligned} \sigma_1 &= E_R\,\varepsilon_m + E_g\,\varepsilon_1 \\ \sigma_2 &= E_R\,\varepsilon_m + E_g\,\varepsilon_2 \\ \sigma_3 &= E_R\,\varepsilon_m + E_g\,\varepsilon_3 \end{aligned}$$

H. Brandenberger führt nun nachfolgende neue Begriffe bzw. Bezeichnungen ein:

die Raumspannung

$$\sigma_R = E_R\,\varepsilon_m$$

die Gitterspannungen

$$\begin{aligned} \sigma_{g1} &= E_g\,\varepsilon_1 \\ \sigma_{g2} &= E_g\,\varepsilon_2 \\ \sigma_{g3} &= E_g\,\varepsilon_3 \end{aligned}$$

Damit können die Elastizitätsgleichungen (3) in Lamé'scher Schreibart auch in nachfolgender Form ausgedrückt werden:

$$(16) \qquad \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_R + \sigma_{g1} \\ \sigma_2 &= \sigma_R + \sigma_{g2} \\ \sigma_3 &= \sigma_R + \sigma_{g3} \end{aligned}$$

H. Brandenberger bezeichnet den Wert

$$E_R = \frac{3\,m\,E}{(m+1)\,(m-2)}$$

mit Raumspannungs-Elastizitätsmodul und denjenigen von

$$E_g = \frac{m\,E}{m+1}$$

mit Gitterspannungs-Elastizitätsmodul, der gleich dem doppelten Wert des Gleitmoduls $E_g = 2\,\mathfrak{G}$ ist. Die Summe der Raum- und Gitterspannungen für jede der drei Hauptrichtungen ist gleich der zugeordneten Hauptspannung.

Die Gleichungen (15) bzw. (16), die H. Brandenberger seiner Hypothese der Raum- und Gitterspannungen zu Grunde legt, sind inhaltlich mit den Lamé'schen Elastizitätsgleichungen (3) identisch.

[9]) *H. Brandenberger*, Dr. sc. techn.: Neue Theorie der Elastizität und Festigkeit. Zürich, 1948. Schweiz. Druck- und Verlagshaus; SBZ 1947, Nr. 37, 49 u. 50 und 1948, Nr. 9; «Schweiz. Archiv», 13. Jahrg., Nr. 8 und 9, Aug. und Sept. 1947.

Der Vergleich der Lamé'schen Gleichungen, denen H. Brandenberger die Deutung der Raumspannungen — erstes Glied der Gleichungen (3) — und der für die Anstrengung als allein massgebend angenommenen Gitterspannungen — zweites Glied der Gleichungen (3) — gibt, mit den gleichwertigen Gleichungen, jedoch nach jenen Spannungskomponenten aufgeteilt, welche reine Volumenänderungen und reine Gestaltänderungen erzeugen (Gleichungen (4), Bild 2), lässt eindeutig den Unterschied in den Spannungskomponenten erkennen, die von H. Brandenberger als die allein massgebenden Gitterspannungen bewertet werden und denjenigen, die für die reine Gestaltänderung wirklich massgebend sind (Gleichungen (7) und (8).

Die Gitterspannungen sind Funktionen der Hauptdehnungen ε_1, ε_2 und ε_3; die die Gestaltänderung erzeugenden Spannungskomponenten sind aber von den Dehnungskomponenten

$$\begin{aligned} \varepsilon_1' &= \varepsilon_1 - \varepsilon_m \\ \varepsilon_2' &= \varepsilon_2 - \varepsilon_m \\ \varepsilon_3' &= \varepsilon_3 - \varepsilon_m \end{aligned}$$

abhängig (Bilder 1 und 2).

Die beiden der Hypothese von H. Brandenberger zu Grunde liegenden Sätze lauten:

1. Die Elastizitätsgrenze σ_e, bzw. die mit ihr identische «erste Fliessgrenze σ_f'» (Bilder 14 und 17), ist für x-beliebige Spannungszustände $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ eine Funktion der absolut grössten Gitterspannungen σ_{g1}, deren Grenzwert σ_g' eine allein vom Stoff (Material) abhängige Konstante ist; sie ergibt sich z. B. für Stahl zu $\sigma_g' = 0{,}77\,E\,\varepsilon_1$ (Gleichung (8)). Demgegenüber soll die Raumspannung σ_R für die Anstrengung ohne Einfluss sein. Die Elastizitätsgrenze σ_1 wird sich stets dann einstellen, wenn die Gitterspannung σ_{g1} den stets gleichen konstanten Wert σ_g' erreicht. Aus der zugeordneten Beziehung

$$(17) \qquad \sigma_1 = E_R\,\varepsilon_m + E_g\,\varepsilon_1 = \sigma_R + \sigma_{g1}\,(= \sigma_g')$$

lässt sich, da die Hauptspannungen $\sigma_1\,(= \sigma_e)$, σ_2 und σ_3 aus dem Versuch bekannt sind, die Raumspannung σ_R und damit die Materialkonstante σ_g' berechnen. Die Berechnung der Elastizitätsgrenze σ_e für drei verschiedene Hauptspannungszustände, nämlich für den einaxigen Spannungszustand: σ_1; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, den zweiaxigen Spannungszustand: $\sigma_1 = \sigma_2$; $\sigma_3 = 0$ und den dreiaxigen Spannungszustand: σ_1; $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1/2$ ist in den Bildern 14, 15 und 16 veranschaulicht.

Da nach H. Brandenberger der absolute Grösstwert von $\sigma_g' = 0{,}77\,E\,\varepsilon_1$ einem Materialkennwert, also einer Konstanten entsprechen soll, ist der erste Grundsatz mit der Dehnungs-Hypothese identisch, die — wie bereits erwähnt — durch die angeführten Versuche[6]) bei Metallen eindeutig widerlegt ist und zwar sowohl für die Elastizitäts- und die Fliessgrenze als auch für die Dauerfestigkeit (Bild 18).

2. Die zweite Fliessgrenze σ_f (Bilder 14 und 17), die der materialtechnisch üblichen unteren Fliessgrenze gleich ist (Bild 14), stellt sich für die grösste Hauptspannung σ_1 dann ein, wenn bei weiterer Steigerung des Spannungszustandes $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ über die Elastizitätsgrenze hinaus die Gitter-Spannung der kleinsten der drei Hauptspannungen σ_{g3} den konstanten negativen Grenzwert $-\,\sigma_g'$ erreicht hat, wobei der Grenzwert der Gitterspannung der grössten Hauptspannung σ_1 somit σ_{g1} an der Elastizitätsgrenze $\sigma_{g1} = +\,\sigma_g'$ nicht weiter anwächst. Infolge «Erlahmung» der Gitterspannung $\sigma_{g1} = \sigma_g'$ verbleibt sie unveränderlich. Die Bestimmung der zweiten Fliessgrenze σ_f für die gleichen drei Spannungszustände wie unter 1 geht aus den Bildern 14, 15 und 16 hervor.

Der zweite Grundsatz leistet, bei genauerer Betrachtung des gegenseitigen Verhältnisses der Hauptspannungen $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ an der Fliessgrenze und zwar infolge

$$(18) \qquad \sigma_1 = \sigma_R + \sigma_g'; \quad \sigma_3 = \sigma_R - \sigma_g'$$

der Bedingung der Mohr'schen Hypothese der grössten Schubspannung τ_{max} Genüge, wonach für das Fliessen die Differenz der grössten und kleinsten Hauptspannung $\sigma_1 - \sigma_3 = 2\,\tau_{max} =$ Konstante massgebend ist, denn es ist, wie aus der Gl. (18) und den Darstellungen der Bilder 14, 15 und 16 hervorgeht, an der Fliessgrenze σ_f

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{g1} - \sigma_{g3} = 2\,\sigma_g' = \text{Konstante}$$

da $\sigma_{g1} = +\,\sigma_g' =$ konstant und $\sigma_{g3} = -\,\sigma_g'$.

Der Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Diagramme, d. h. der Verlauf der grössten Hauptspannung σ_1 in Abhängigkeit der Hauptdehnung ε_1 für die drei unter 1 und 2 erwähnten Spannungszustände ist den Bildern 14, 15 und 16 zu entnehmen und in Bild 17 veranschaulicht.

Die der Hauptspannung σ_1 zugeordnete Hauptdehnung ε_1 folgt sinngemäss aus den nachfolgenden Beziehungen:

an der *Elastizitätsgrenze:*

für σ_1, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ (einaxiger Zug) ist

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_e}{E} = 1{,}3\,\frac{\sigma_g'}{E}$$

Nach der hier als gültig angenommenen Dehnungshypothese müsste der selbe Betrag auch bei allen übrigen Spannungszuständen auftreten, nämlich ganz allgemein:

$$\varepsilon_e = 1{,}3\,\frac{\sigma_g'}{E} = \frac{\sigma_g'}{E_g};$$

an der *Fliessgrenze:*

unter der Einschränkung auf solche Spannungszustände, bei denen die absolut grösste Hauptspannung σ_1 eine Zugspannung ist und dazu zwei von den Hauptspannungen — z. B. σ_2 und σ_3 — einander gleich sind, wobei wir uns streng an die Berechnungsart von H. Brandenberger halten ohne deren Zulässigkeit zu prüfen, gilt

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\frac{\sigma_g'}{E_g},$$

und infolge $\sigma_1 = \sigma_R + \sigma_g'$, $\sigma_3 = \sigma_R - \sigma_g'$ sowie

$$\sigma_R = {}^1/_2\,(\sigma_1 + \sigma_3) = \varepsilon_m E_R = {}^1/_3\left(\varepsilon_1 - 2\,\frac{\sigma_g'}{E_g}\right) E_R$$

wird:

$$\varepsilon_1 = \frac{3}{2}\,\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{E_R} + 2\,\frac{\sigma_g'}{E_g}.$$

Im Falle $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ (Bild 14) erhält man daraus mit $m = 10/3$, $E_R = 45/26\,E$, und $E_g = 10/13\,E$:

$$\varepsilon_{1f} = \frac{10}{3}\,\frac{\sigma_g'}{E_g}$$

und für $\sigma_2 = \sigma_3 = {}^1/_2\,\sigma_1$ (Bild 16) sogar

$$\varepsilon_{1f} = 6\,\sigma_g'/E_g.$$

*

Eine *Hypothese* kann erst dann Anspruch erheben eine *Theorie* zu sein, wenn sie durch mit Sachkenntnis durchgeführte Versuche als zutreffend ausgewiesen wird. Die Erfahrung ist auch hier die Quelle der Wahrheit. Der Vergleich der Ergebnisse der neuen Hypothese der Elastizität und Festigkeit von H. Brandenberger einerseits mit den Ergebnissen der EMPA-Versuche[6]) anderseits führt zu nachfolgenden Erkenntnissen:

1. Die EMPA-Theorie der statischen Anstrengung bzw. Erschöpfung quasiisotroper fester, zäher, ein- oder mehraxig beanspruchter Stoffe, sowohl für das elastische als auch plastische Gebiet, nach der die Konstanz der Schubspannung τ_0 bzw. der Verschiebung s_0 der Oktaederfläche des Würfelelementes (Bilder 5 bis 8) massgebend ist und die für das elastische Gebiet mit der Konstanz der Gestaltänderungs-Energie von Maxwell-Huber-v. Mises-Haigh-Hencky identisch ist, wurde durch EMPA-Versuche als zutreffend ausgewiesen (Bilder 9 und 10). Als Masstab für die Anstrengung gilt die Vergleichsspannung σ_{res}, bzw. die ihr zugeordnete Vergleichsdehnung δ_{res} (Bilder 6, 9, 11 und 12).

2. Die Folgerungen aus der neuen Hypothese von H. Brandenberger, laut welcher für die Elastizitätsgrenze σ_e (nach H. Brandenberger identisch mit der ersten Fliessgrenze σ_f') die Dehnungshypothese ε_{max} und für die Fliessgrenze selbst σ_f (nach H. Brandenberger identisch mit der zweiten Fliessgrenze σ_f'') die Hypothese der grössten Schubspannung des Würfelelementes τ_{max} nach Coulomb-Guest-Mohr, in der Diagonalebene für den jeweiligen Anstrengungs- bzw. Erschöpfungszustand bestimmend sein soll, die durch besondere, eigene Versuche nicht belegt sind, stimmen für die Elastizitäts- und Fliessgrenze mit der durch EMPA-Versuche ausgewiesenen EMPA-Theorie nicht überein (Bild 18). Die Unterschiede sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Unterschiede sind z. T. beträchtlich, so dass die neue Hypothese von H. Brandenberger für die Elastizitätsgrenze σ_e, wo sie gleich der unhaltbaren Dehnungshypothese ist, wenigstens bei den Metallen, als nicht zutreffend bezeichnet werden muss. Für den zweiten Grenzzustand, die

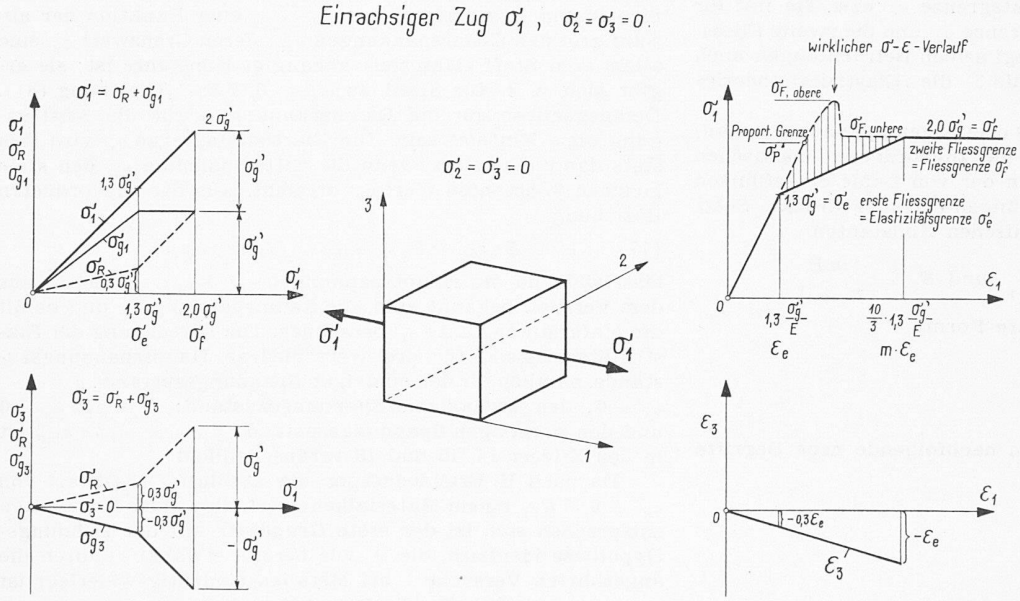

Bild 14. Spannungs-Dehnungslinien bei einaxigem Zug

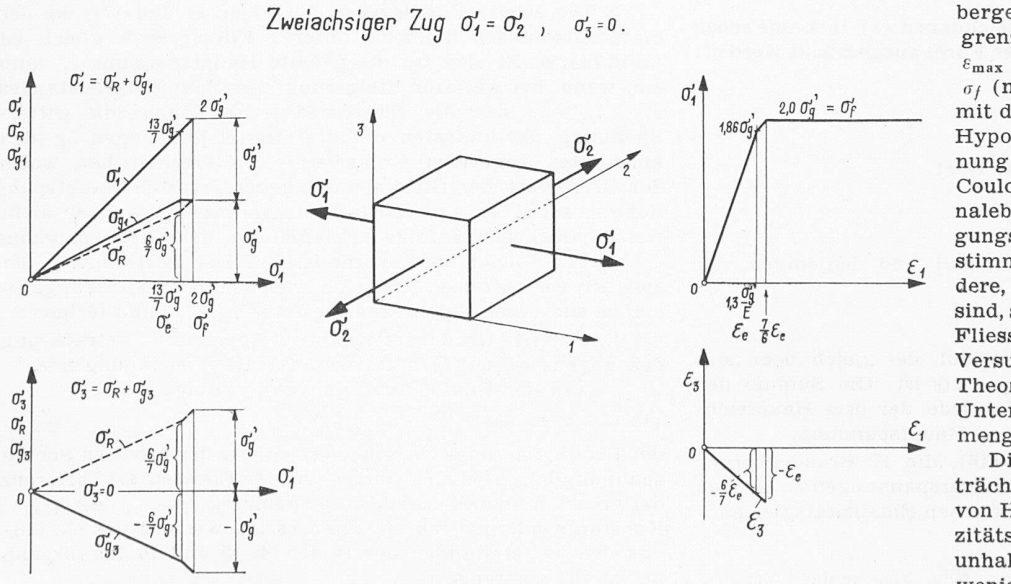

Bild 15. Spannungs-Dehnungslinien bei zweiaxigem Zug $\sigma_1 = \sigma_2$; $\sigma_3 = 0$

Bilder 14, 15 und 16 zeigen die nach der neuen Hypothese von H. Brandenberger zu erwartenden Spannungs-Dehnungslinien

Dreiachsiger Spannungszustand σ'_1, $\sigma'_2 = \sigma'_3 = \frac{\sigma'_1}{2}$.

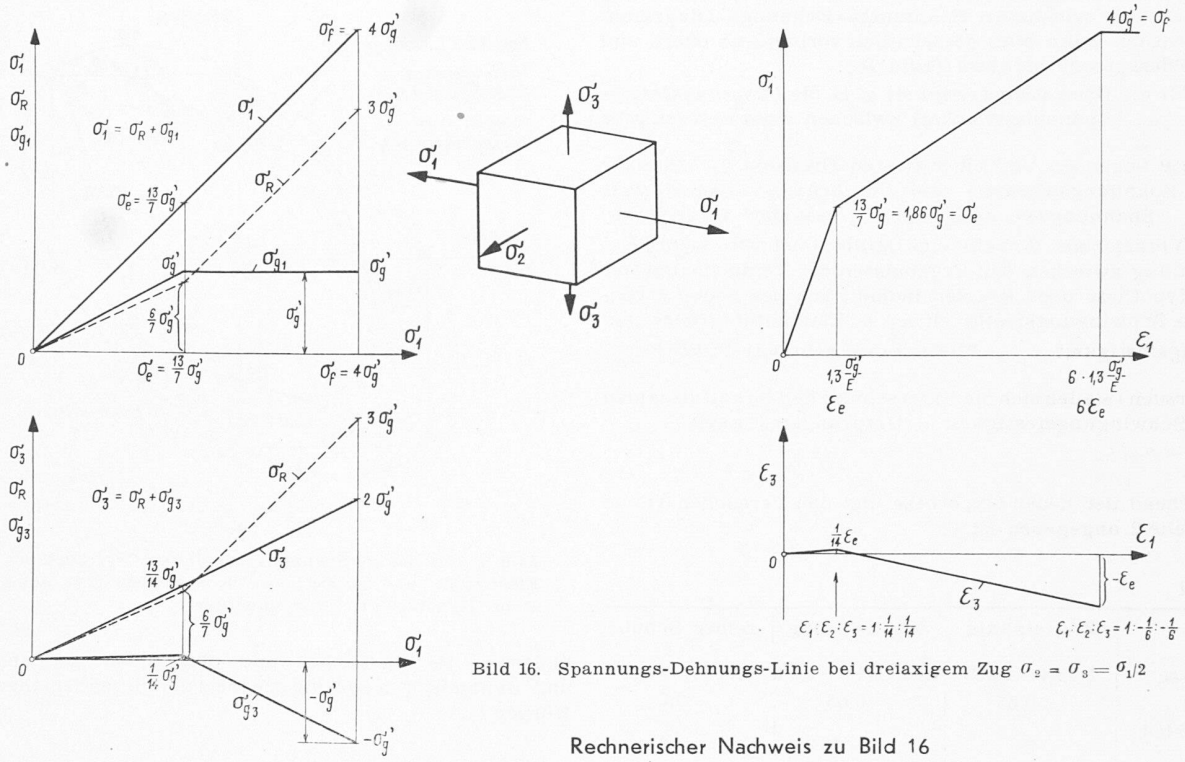

Bild 16. Spannungs-Dehnungs-Linie bei dreiaxigem Zug $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1/2$

Spannungs - Dehnungs - Diagramme.

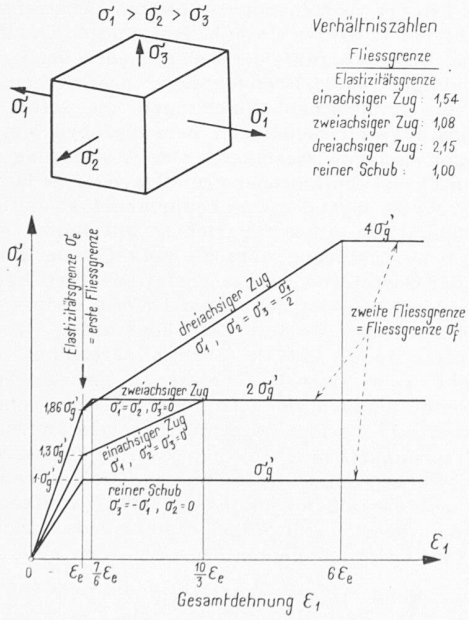

Bild 17. Zusammenstellung der zu erwartenden Spannungs-Dehnungsdiagramme

Rechnerischer Nachweis zu Bild 16

1) Die elastischen Formänderungen betragen:
— siehe Gleichungen 2 —

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma'_1}{E} - \frac{\frac{\sigma'_1}{2} + \frac{\sigma'_1}{2}}{mE} = \frac{\sigma'_1}{E}\left(1 - \frac{1}{m}\right) = 0{,}7\,\frac{\sigma'_1}{E};$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{\sigma'_1}{2E} - \frac{\sigma'_1 + \frac{\sigma'_1}{2}}{mE} = \frac{\sigma'_1}{2E}\left(1 - \frac{3}{m}\right) = 0{,}05\,\frac{\sigma'_1}{E};$$

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{2}{m}\right)\frac{\sigma'_1}{E} = \frac{0{,}8}{3}\,\frac{\sigma'_1}{E}.$$

2) an der Elastizitätsgrenze σ'_e wird:

für $E_g = \frac{mE}{m+1} = \frac{10}{13}E$

$$\sigma'_{g1} = E_g \cdot \varepsilon_1 = E_g \cdot 0{,}7\,\frac{\sigma'_1}{E} = \frac{7}{13}\sigma'_1\ (= \sigma'_e) = \sigma'_g$$

somit $\sigma'_e = \frac{13}{7}\sigma'_g$ bezw. $\varepsilon_e = 1{,}3\,\frac{\sigma'_g}{E}$

und $\sigma'_R = \sigma'_1\ (= \sigma'_e) - \sigma'_{g1}\ (= \sigma'_g) = \frac{6}{7}\sigma'_g$

3) an der Fliessgrenze σ'_f soll sein:

$$\sigma'_{g3} = -\sigma'_g = E_g \cdot \varepsilon_3 = \sigma'_{g2}$$

somit $\varepsilon_3 = \varepsilon_2 = -\frac{\sigma'_g}{E_g} = -1{,}3\,\frac{\sigma'_g}{E} = -\varepsilon_e$;

da $E_R = \frac{3mE}{(m+1)(m-2)} = \frac{45}{26}E$

und $\sigma'_1 = \sigma'_f$, $\sigma'_{g3} = -\sigma'_g$ ist, folgt

$$\sigma'_{g3} = \sigma'_3 - \sigma'_R = \frac{\sigma'_1}{2} - (\sigma'_1 - \sigma'_g) = -\sigma'_g,$$

woraus $\sigma'_f = 4\sigma'_g$ und $\sigma'_R = 3\sigma'_g$,

somit $\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} = \frac{\varepsilon_1 - 2 \cdot 1{,}3\left(\frac{\sigma'_g}{E}\right)}{3} = \frac{\sigma'_R}{E_R} = \frac{3\sigma'_g}{\frac{45}{26}E}$

und daraus: $\varepsilon_1 = \frac{\sigma'_g}{E}\left(\frac{9 \cdot 26}{45} + 2 \cdot 1{,}3\right) = 6 \cdot 1{,}3\,\frac{\sigma'_g}{E} = 6\,\varepsilon_e$.

In diesem Falle ändert sich das ε-Verhältnis an der Fliessgrenze:

$$\varepsilon_1 : \varepsilon_2 : \varepsilon_3 = 1 : -\frac{1}{6} : -\frac{1}{6},$$

wogegen im elastischen Bereich das Verhältnis

$$\varepsilon_1 : \varepsilon_2 : \varepsilon_3 = 1 : +\frac{1}{14} : +\frac{1}{14} \text{ ist},$$

im Gegensatz zu den übrigen beiden Fällen von

$$\sigma'_1 : \sigma'_2 : \sigma'_3 = 1 : 0 : 0 \text{ und } 1 : 1 : 0,$$

wo das Verhältnis gleich verbleibt — Abb. 14 u. 15 —

Fliessgrenze σ_f, stimmt sie, da mit der Mohr'schen Theorie identisch, wie bereits im Jahre 1926 von der EMPA nachgewiesen[6]), eher überein.

3. Die Verhältniszahl Fliessgrenze σ_f/Elastizitätsgrenze σ_e ergibt sich nach der neuen Hypothese für einaxigen Zug zu genau 1,54 (Bild 14) und zwar unabhängig von der Stoffart. In Wirklichkeit beträgt jedoch dieses Verhältnis bei thermisch und mechanisch normal behandeltem weichen Flusstahl und normaler Raumtemperatur im Mittel 1,05. Es hängt von der Stahlart und dessen Empfindlichkeit gegen thermische und mechanische Einflüsse mehr oder weniger ab[10]). Dadurch verändert sich das Bild des gegenseitigen Verhältnisses der zweiaxigen Spannungszustände an der Elastizitäts- und Fliessgrenze (Bild 18) grundlegend und rückt weitgehend von einer Uebereinstimmung ab.

Tabelle 1. Unterschiede der Hauptspannungen zwischen der Hypothese Brandenberger und der Theorie EMPA

	einaxiger Zug σ_1	zweiaxiger Zug $\sigma_3 : \sigma_1 =$ 1:1	zweiaxiger Zug $\sigma_3 : \sigma_1 =$ 1:2	reiner Schub
an der Elastizitätsgrenze:				
Hypothese Brandenberger 1948	1	1,43	1,18	0,77
Versuche und Theorie EMPA 1926—1929	1	1	1,15	0,58
Unterschied %	0	+ 43	+ 3	+ 33
an der Fliessgrenze:				
Hypothese Brandenberger 1948	1,54	1,54	1,54	0,77
Versuche und Theorie EMPA 1926 — 1929	1,54	1,54	1,78	0,89
Unterschied %	0	0	— 13	— 13

[10]) *M. Roš* und *A. Eichinger:* Festigkeitseigenschaften der Stähle bei hohen Temperaturen. «EMPA-Bereicht» Nr. 87 und 138, Zürich 1934 und 1941.

Der Spannungs-Dehnungsverlauf nach der neuen Hypothese von H. Brandenberger mit den Knickpunkten an der Elastizitäts- und Fliessgrenze weicht z. B. beim einaxigen Zug wesentlich vom wirklichen Spannungs-Dehnungs-Diagramm ab, namentlich wenn man die wirklich vorhandene obere und untere Fliessgrenze beachtet (Bild 14).

4. Für die *Ermüdungsfestigkeit* z. B. die *Ursprungsfestigkeit* $\sigma_U = \sigma_{\underset{0}{+}}$ (Spannungswechsel zwischen einer unteren sehr nahe an 0 liegenden und einer oberen Grenze $+\sigma_U$ bei einer Million Spannungswechsel) und die *Schwingungsfestigkeit* $\sigma_D = \sigma_{\pm}$ (Spannungswechsel gleich gross aber entgegengesetzten Vorzeichens, Anzahl eine Million) ist die Nichtübereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Versuche und der neuen Hypothese noch krasser, indem nach der neuen Hypothese die Schwingungsfestigkeit $\sigma_{\pm}$ = Elastizitätsgrenze und Ursprungsfestigkeit $\sigma_{\underset{0}{+}}$ = Fliessgrenze sein soll. In Wirklichkeit (Versuch) stellen sich die Unterschiede der Verhältniszahlen

Schwingungsfestigkeit σ_D/Ursprungsfestigkeit σ_U = $= \sigma_{\pm}/\sigma_{\underset{0}{+}}$

entsprechend der neuen Hypothese und den Versuchen[11]) wie auf Tabelle 2 angegeben ist.

Tabelle 2

	Zug einaxig	Zug zweiaxig	reiner Schub
Hypothese	1/1,54 = 0,65	1,43/1,54 = 0,93	0,77/0,77 = 1
Versuch	∽ 0,65	∽ 0,65	∽ 0,7
Unterschied in %	0	∽ + 43	∽ + 43

*

Zusammenfassung

Die neue Hypothese der Elastizität und Festigkeit von H. Brandenberger wird nicht von einem einheitlichen Gedanken beherrscht. Der Gedankengang ist an sich sehr verwickelt und ermöglicht keine klare Vorstellung über den ursächlichen Zusammenhang zwischen Kraft- und Verformungsmechanismus. Den Formänderungen im elasto-plastischen Gebiet wurden für die gesamten Formänderungen die Gesetze der Elastizitätstheorie zu Grunde gelegt. Die Stetigkeit des Spannungs-Dehnungs-Verlaufes wird nicht gewahrt. Es werden nur die Grenzzustände an der Elastizitäts- und Fliessgrenze behandelt; über die dazwischen liegenden Anstrengungsgrade wird nichts ausgesagt (Bilder 14 bis 17). Die für die Anstrengung massgebenden Spannungsanteile, welche die reine Volumen- und reine Gestalt-Aenderung bewirken, werden in ihrer Gesamtheit in eine Raumspannung und Gitterspannungen aufgeteilt und diesen beiden Kraftkomponenten Funktionen zugesprochen, die, wie die durchgeführten Versuche beweisen, nicht zutreffen, da die auf Grundlage der neuen Hypothese gewonnenen Grenzwerte mit den Ergebnissen der Versuche nicht übereinstimmen (Bild 18).

Die neue Hypothese von H. Brandenberger trifft für die Elastizitätsgrenze, die Fliessgrenze und die Ermüdungsfestigkeit bei Metallen nicht zu; die Konstanz der dem Grenzzustand entsprechenden Gitterspannung σ_g' besteht nicht. Sie erfasst nicht den wirklichen Kraft-Verformungs-Mechanismus zäher Werkstoffe und bereichert daher unsere Erkenntnis über die Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper, soweit sie uns bekannt ist, nicht.

Im Gegensatz hierzu steht die EMPA-Theorie der resultierenden Schubkraft τ_0 und der ihr zugeordneten resultierenden Verschiebung s_0 in der Oktaederebene des ganz allgemein dreiaxig beanspruchten Würfelelementes, für die eine gute Uebereinstimmung zwischen der Theorie und den Versuchen nachgewiesen werden konnte (Bilder 9 und 10). Sie wird von einem einheitlichen Gedanken beherrscht und gibt in der Vergleichsspannung σ_{res} und der Vergleichsdehnung δ_{res} die Handhabe zur Gewinnung eines eindeutigen Masstabes für die massgebende Anstrengung und die zugeordnete Formänderung im elastischen und plastischen Bereich statisch und dynamisch mehraxig beanspruchter zäher metallischer Körper[12]).

[11]) *M Roš:* Materialqualität und Sicherheit im Bauwesen und der Maschinenindustrie. «EMPA-Bericht» Nr. 143, Abb. 54 u. 55, Zürich 1943. Die Sécheron-Elektrode SCW. «EMPA-Bericht» Nr. 150, Abb. 36, Zürich 1944.

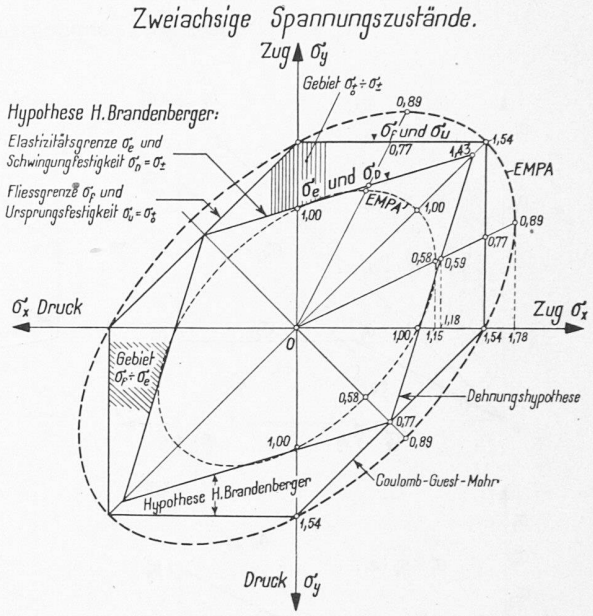

Bild 18. Zweiaxige Spannungszustände. Grenzzustände für die Elastizitäts- und Fliessgrenze. Kurven EMPA, Coulomb-Guest-Mohr, Hypothese H. Brandenberger

Stellungnahme zum vorstehenden Aufsatz

Im zweiten Teil des vorstehenden Aufsatzes «Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper» von M. Roš und A. Eichinger werden zunächst Gesichtspunkte der neuen Theorie der Raum- und Gitterspannungen von H. Brandenberger beschrieben, wobei allerdings die Lamé'schen Gleichungen, die sofort den dreiaxigen Belastungsfall behandeln, herangezogen werden. Die Ausführungen sind gewissermassen eine Bestätigung einiger in der neuen Theorie enthaltener grundlegender Gedanken, indem in keiner Weise irgend etwas beanstandet, sondern im Gegenteil mathematisch alles für richtig anerkannt wird. Plötzlich erfolgt die Erklärung, dass die Versuche der EMPA die «Konstanz der Gestaltänderungsenergie» bewiesen hätten, und es wird die Unrichtigkeit der neuen Theorie dadurch als gegeben angesehen, dass sie mit der «konstanten Gestaltänderungsenergie», die als EMPA-Theorie bezeichnet wird, rechnerisch nicht die gleichen Ergebnisse zeitige. Es werden also nicht wirkliche Versuchswerte entgegengehalten, sondern bloss rein rechnerische Vergleiche beider Theorien angestellt.

Dass die Ursprungsfestigkeit mit der zweiten Fliessgrenze zusammenfällt, wurde vom Unterzeichneten (H. Brandenberger) nur für den einaxigen Spannungszustand aufgezeigt und die Gleichheit sonst nicht allgemein für jeden anderen Belastungsfall in Anspruch genommen. Für den einaxigen

[12]) *M. Roš:* La Fatigue des Métaux. «Rapport No. 160 du LFEM»; Paris-Zurich, 1947. La Fatigue des Soudures. «Rapport No. 161 du LFEM», Paris-Zurich, 1948. – *M. Roš* und *A. Eichinger:* Die Bruchgefahr fester Körper. Zürich, September 1949.

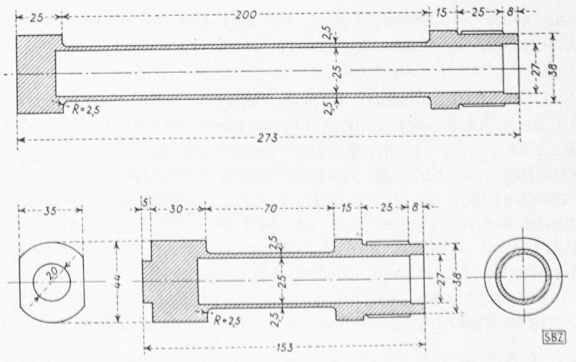

Bild 19. Versuchskörper der EMPA, oben für Zug, unten für Torsionsversuch

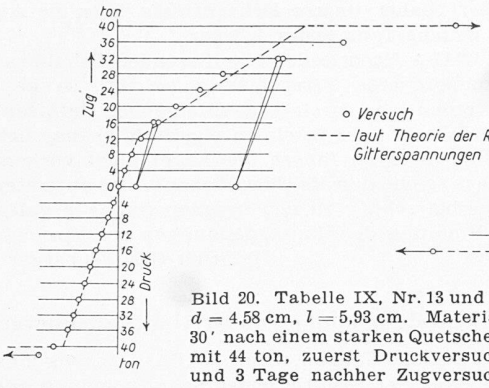

Bild 20. Tabelle IX, Nr. 13 und 14 $d = 4{,}58$ cm, $l = 5{,}93$ cm. Material 30' nach einem starken Quetschen mit 44 ton, zuerst Druckversuch und 3 Tage nachher Zugversuch

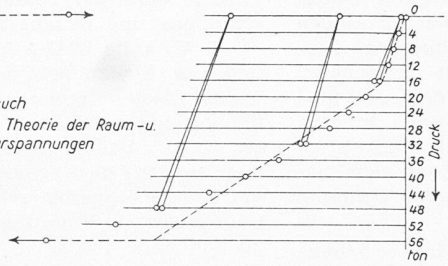

Bild 21. Tabelle XIII, Nr. 2 $d = 4{,}56$ cm, $l = 6{,}00$ cm Druckversuch, 22¾ h nach einem Zugversuch mit 56–60 ton

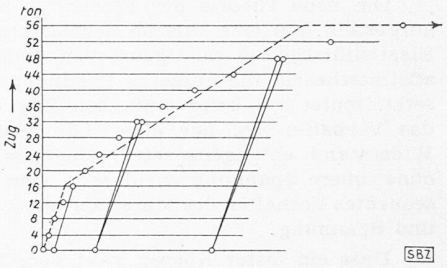

Bild 22. Tabelle XIV, Nr. 3 $d = 4{,}55$ cm, $l = 5{,}93$ cm Zugversuch, 4 h nach einem Druckversuch mit 56 ton

Bilder 2 bis 4 aus: J. Bauschinger, Mitteilung XV aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium der k. Techn. Hochschule München 1886.
o o o nach Versuch, — — — nach der Theorie der Raum- und Gitterspannungen

Spannungszustand bestätigt die Schrift Roš-Eichinger, dass dies mit den Ermüdungsversuchen übereinstimmt. Dass die neue Theorie imstande ist, für den einaxigen Spannungszustand das Verhältnis von Schwingungsfestigkeit zu Ursprungsfestigkeit gleich 0,65 übereinstimmend mit den Ermüdungsversuchen zu berechnen, muss als Beweis ihrer Richtigkeit angesehen werden, und wir können uns freuen, dass die Ermüdungsfestigkeit für den einaxigen Spannungszustand somit kein Geheimnis mehr ist.

Die EMPA-Versuche, die zur Stützung der EMPA-Theorie angegeben werden, stammen aus den Jahren 1926 bis 1929 und beziehen sich zur Hauptsache auf dünnwandige, 2,5 mm dicke Rohre (Bild 19), die durch Kaltbearbeitung hergestellt wurden. Dass die spanabhebende Bearbeitung eines so dünnen Rohres aus einem vollen Körper aussen und innen eine starke Oberflächenverfestigung durch Kaltverformung bewirkt, so dass die so empfindlichen Elastizitätsgrenzen des ursprünglichen Materials nicht mehr in Erscheinung treten können, ist leicht einzusehen. Auch sind diese Versuche durchaus nicht ohne Streuung erhalten worden, so dass man damit keine Entscheidungen über Grenzzustände treffen kann. So ergab sich z. B. das Verhältnis zwischen Schub und Zug bzw. Druck zu 0,59 mit einer Streuung von + 27 % und — 32 %.

Den Verfassern der Schrift Roš-Eichinger ist beim Studium der neuen Theorie gerade das wichtigste, die aufgezeigte Spannungsverfestigung des Materials zwischen einer ersten und zweiten Fliessgrenze, entgangen, da sonst nicht behauptet worden wäre, die erste Fliessgrenze nach der neuen Theorie des Unterzeichneten stimme deswegen nicht, weil sie mit der Dehnungshypothese identisch sei und von dieser durch Versuche bewiesen wäre, dass sie nicht richtig ist. Dass mit Hilfe der neuen Theorie gezeigt wird, wie von der ersten Fliessgrenze an der Körper nun selbst in Wirksamkeit tritt, dieser durch einseitiges Fliessen seine Elastizitätsgrenze erhöht, genau übereinstimmend mit dem von J. Bauschinger entdeckten eigentümlichen Verhalten des Materials, davon ist in der Schrift nichts enthalten.

Dieser Schrift kann der schwerwiegende Vorwurf nicht erspart werden, dass sie den experimentellen Beweis der neuen Theorie der Raum- und Gitterspannungen, den mit ihr übereinstimmenden Bauschinger-Effekt, vollkommen übersieht. Dem Unterzeichneten wurde die «Konstanz der Gestaltänderungsenergie» zu Unrecht entgegengehalten. Gerade der Bauschinger-Effekt beweist, dass die Konstanz der Gestaltänderungsenergie unrichtig ist, indem man ja lediglich beim Erreichen der vollen Fliessgrenze die Beanspruchungsrichtung umzukehren hat, um festzustellen, dass beim einfachen Zugversuch die «Konstanz der Gestaltänderungsenergie» einen Fehler von 70 % macht, da die Fliessgrenze in entgegengesetzter Richtung nur 30 % beträgt.

Tabelle 3. Vergleich der Biegewechselfestigkeiten in kg/mm² nach Dauerversuchen, aufgestellt vom Fachausschuss für Maschinenelemente beim VDI, mit der aus der jeweiligen Fliessgrenze berechneten Elastizitätsgrenze

Stahl-Bezeichnung	Fliessgrenze	Wechselfestigkeit laut Dauerversuchen	Aus Fliessgrenze gerechnete Elastizitätsgrenze
St 70.11	50	32	32,5
St 60.11	43	28	28
St 50.11	37,2	24	24,2
St 42.11	30	19	19,5
St 37.11	26,1	17	17

Interessant ist, dass der Unterzeichnete mit Hilfe seiner neuen Theorie allein durch die Rechnung auf den Bauschinger-Effekt kam, ohne von der Existenz der betreffenden Versuche Bauschingers Kenntnis gehabt zu haben. Bauschinger selbst legte Wert darauf, festzustellen, dass er sich von allen Hypothesen zur Erklärung dieser Erscheinung fernhalte und sich lediglich darauf beschränke, die Tatsachen so mitzuteilen, wie er sie gefunden habe. Und bis heute war dieser im Jahre 1886 gefundene Bauschinger-Effekt für die technische Welt ein Geheimnis, das auch mit keiner Hypothese erklärt werden konnte.

Die Bilder 20 bis 22 zeigen die graphische Auswertung der von Bauschinger gefundenen Versuchswerte (Kreise o o o) im Vergleich mit den aus der neuen Theorie der Raum- und Gitterspannungen gefundenen Rechnungswerten (strichlierte Linie ----), unter Zugrundelegung einer Poisson'schen Zahl von $m = 10/3$. In Bild 20 wurde das Material zuerst mit 44 t stark gedrückt, 30 Minuten nachher zunächst ein Druckversuch und drei Tage später ein Zugversuch vorgenommen. Man erkennt, wie sich das Material nach dem Drücken, bei einer Beanspruchung in gleicher Richtung, vollkommen elastisch verhält. Es wäre aber durchaus falsch, irgend einen Betrag einer «konstanten Gestaltänderungsenergie» daraus rechnen zu wollen. Denn wird das Material in entgegengesetzter Richtung beansprucht, so fliesst es bereits bei 30 % der vorher ermittelten Festigkeit. Erst nach weiteren bleibenden Verformungen erhöht sich seine Widerstandsfähigkeit, wobei sich der Körper bei der einmal erreichten erhöhten Elastizitätsgrenze in gleicher Richtung als vollkommen elastisch erweist, um aber in entgegengesetzter Richtung in seiner Elastizität um den gleichen Betrag wieder zusammenzufallen. Bild 21 zeigt einen Druckversuch 22¾ Stunden nach einem Zugversuch mit 56 bis 60 t. Bild 22 stellt einen Zugversuch dar, vier Stunden nach einem Druckversuch mit 56 t.

Die bisherige Elastizitätstheorie vermag mit ihren Vorstellungen der inneren Spannungen den Bauschinger-Effekt nicht zu erfassen, während die neue Theorie der Raum- und Gitterspannungen das Verhalten des Materials nicht nur zu erklären, sondern auch numerisch zu berechnen gestattet. In jedem Körper entstehen durch eine Ueberbeanspruchung in einer Richtung verbleibende Raum- und Gitterspannungen, durch welche die Elastizitätsgrenze nach einer Seite verschoben wird, ein Vorgang, den die bisherige Elastizitätstheorie zu erkennen ausserstande ist.

Von der Zusammenfassung der Schrift Roš-Eichinger kann Punkt für Punkt gezeigt werden, dass sie mit den Tatsachen in Widerspruch steht und gerade das Gegenteil richtig ist:

1. Wenn behauptet wird, die neue Theorie der Elastizität und Festigkeit sei von keinem einheitlichen Gedanken beherrscht und ermögliche keine klare Vorstellung vom ursächlichen Zusammenhang zwischen Kraft- und Verformungsmechanismus, so werden mit dieser Behauptung die Tatsachen auf den Kopf gestellt.

Die neue Theorie der Elastizität und Festigkeit wurde aufgestellt, um eine falsche Schlussfolgerung der bisherigen Elastizitätstheorie richtigzustellen. Indem die bisherige Elastizitätstheorie die äusseren Spannungen gleich den inneren setzt, mutet sie beim einfachen Zugversuch dem Material das Verhalten zu, nur einer Längsdehnung einen inneren Widerstand entgegenzusetzen, dagegen die Querkontraktion ohne innere Spannung zuzulassen. Das wäre aber ein inkonsequentes Verhalten des Materials hinsichtlich seiner Dehnung und Spannung.

Dass ein fester Körper zwei verschiedene innere Widerstandskräfte besitzt, einerseits Raumspannungen gegen Volumänderungen wie eine Flüssigkeit, und anderseits Gitterspannungen, vorgestellt als eine Stabgitterkonstruktion gegen Längenänderungen als besondere Eigenschaft des festen Körpers zum Unterschied von einer Flüssigkeit, geht aus den Lamé'schen Gleichungen hervor, wenn man die Hauptspannungen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ aus den drei Hauptdehnungen a_1, a_2, a_3 berechnet. Es ist

$$\sigma_1 = \frac{3\,m\,E}{(m+1)\,(m-2)}\,\frac{a_1+a_2+a_3}{3} + \frac{m\,E}{m+1}\,a_1$$

$$\sigma_2 = \frac{3\,m\,E}{(m+1)\,(m-2)}\,\frac{a_1+a_2+a_3}{3} + \frac{m\,E}{m+1}\,a_2$$

$$\sigma_3 = \frac{3\,m\,E}{(m+1)\,(m-2)}\,\frac{a_1+a_2+a_3}{3} + \frac{m\,E}{m+1}\,a_3$$

Allerdings hat Lamé selbst sie nicht als Widerstandsspannungen erkannt. Erst mit Hilfe der vom Unterzeicheten aufgestellten Raum- und Gitterspannungen lässt sich die Querkontraktion beim einfachen Zugversuch einwandfrei physikalisch nach einem allgemein gültigen Gesetz erklären: Beim einfachen Zugversuch vergrössert sich das Volumen des Körpers, der sich nun zusammenzuziehen sucht, entsprechend den Raumspannungen, die dabei entstehen, was ihm seitlich bis zu dem Masse gelingt, als die zweite Art der inneren Spannungen, die Gitterspannungen, es erlauben. Während sich in der Längsrichtung Raum- und Gitterspannungen der äusseren Belastung gemeinsam entgegenstellen, halten sich in der Querrichtung Raum- und Gitterspannungen das Gleichgewicht.

2. Den Formänderungen im elasto-plastischen Gebiet wurden für die gesamten Formänderungen nicht allein die Gesetze der Elastizitätstheorie zu Grunde gelegt, weil beim Ueberschreiten der Elastizitätsgrenze bereits ein einseitiges Fliessen beginnt, in Uebereinstimmung mit dem Bauschinger-Effekt.

3. Die Stetigkeit des Spannungs-Dehnungs-Verlaufes wird gleichwohl gewahrt, und es werden nicht nur die Grenzzustände an der Elastizitäts- und Fliessgrenze behandelt, sondern es können die Spannungszustände in Abhängigkeit von der jeweiligen Ueberbeanspruchung für jeden dazwischenliegenden Anstrengungsgrad durch die Dehnungen und Spannungen genau berechnet werden. Man kann sogar den Verlauf graphisch verfolgen (s. Bild 5, SBZ 1947, S. 511).

4. Die auf Grund der neuen Theorie gewonnenen Grenzwerte stimmen mit den Versuchen vollkommen überein. Es sei auf die Druck- und Zugversuche von G. Masing und W. Mauksch verwiesen (SBZ 1947, Nr. 37, S. 512), die mit Messing ausgeführt wurden, und wo sich die Erhöhung bzw. Erniedrigung der Fliessgrenzen nach Versuch vollkommen genau gleich dem nach der neuen Theorie berechneten Wert von 54 % ergeben hat. Man beachte auch Bilder 20 bis 22, welche die graphische Darstellung von Messergebnissen Bauschingers mit Stahl darstellen, die ausser am VII. Internationalen Kongress für angewandte Mechanik in London, Sept. 1948, hier das erstemal in dieser Form aufgezeigt werden.

5. Die mit Hilfe der neuen Theorie aus der Fliessgrenze abgeleitete Elastizitätsgrenze stimmt — man kann ruhig behaupten — für alle fünf Arten von Kohlenstoffstählen vollkommen mit der Wechselfestigkeit überein. Man vergleiche hierfür die Werte in der Tabelle 3, wo die Biegewechselfestigkeiten nach Dauerversuchen, aufgestellt vom Fachausschuss für Maschinenelemente beim VDI, zum Vergleich herangezogen sind.

6. Die Konstanz der dem Grenzzustand entsprechenden Gitterspannung besteht, denn sie wird durch den Bauschinger-Effekt einwandfrei nachgewiesen, der sich aus der maximalen Gitterspannung gewissermassen von selbst ergibt. Die neue Theorie bereichert daher unsere Erkenntnisse über die Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper.

7. Was die EMPA-Theorie der resultierenden Schubkraft und der ihr zugeordneten Verschiebung betrifft, so kann nachgewiesen werden, was in einer nachfolgenden Veröffentlichung geschehen soll, dass in einem elastisch beanspruchten Körper Schubkräfte im Innern überhaupt nicht vorkommen, sondern dass solche nur als Oberflächenkräfte auftreten, um einen Körper bei schräg zu den Hauptspannungen gelegten Flächen, in Richtung der Hauptspannungen beanspruchen zu können.

Heinrich Brandenberger

Schlusswort zur Stellungnahme von Dr. H. Brandenberger

Die durch Versuche ausgewiesene EMPA-Anstrengungstheorie der Konstanz der resultierenden Schubspannung bzw. der Schwerpunktverschiebung der Oktaederfläche des Würfelelementes gilt für kompakte, quasi-homogene und quasi-isotrope polykristalline Stoffe von normaler Beschaffenheit, frei von thermischen und mechanischen Neben-Einflüssen (Störungen), deren Verformungsmechanismus auf Gleitungen beruht und deren Verhalten bei Zug- und Druck-Beanspruchung, auf die jeweiligen zugeordneten Verformungen bezogen, gleich ist, somit in allererster Linie für zäh sich verhaltende Metalle.

Die von *H. Brandenberger* aus seiner, von den Elastizitäts-Gleichungen nach Lamé ausgehenden Hypothese der Raum- und Gitterspannungen gezogenen Schlüsse sind mit den Ergebnissen der Versuche in Widerspruch. Im gesamten Ingenieurwesen hat eine Hypothese erst dann Anspruch darauf, eine Theorie zu sein, wenn sie durch Versuche und Erfahrung als zutreffend ausgewiesen wird. Die Nicht-Uebereinstimmung zwischen Hypothese und Wirklichkeit rechtfertigt es, die Hypothese von H. Brandenberger als unzutreffend und für die Konstruktionspraxis als unbrauchbar zu bezeichnen.

Die rein mathematische Durchbildung der Hypothese von H. Brandenberger geht in Ordnung, sie ist fehlerfrei. Es sind uns aber bisher keine festen Stoffe und zwar weder Metalle, noch natürliche und künstliche Steine, keramische Produkte oder Kunststoffe bekannt geworden, deren Kraft-Verformungsmechanismus dieser Hypothese Genüge zu leisten vermag.

Die Ausführungen im Bericht *Roš-Eichinger* «Anstrengung und Bruchgefahr fester Körper» beziehen sich auf die erstmalige Beanspruchung eines zahen metallischen Stoffes, beispielsweise des Stahles normaler Beschaffenheit von dem Belastungszustand null bis in und über das Gebiet seiner Fliessgrenze. Wird der bereits bis zur Fliessgrenze oder darüber hinaus beansprucht gewesene Körper entlastet und nun die Richtung des plastischen Materialflusses umgekehrt, z. B. Zug in Druck oder Torsion entgegengesetzten Drehsinns — so tritt die Hysterese — auch Bauschinger-Effekt genannt — auf, die aber stark von der Zeitdauer der Kraftwirkung abhängig ist. So sinkt die Elastizitätsgrenze der Flusstähle bei sofortiger Lastumkehr praktisch auf null hinunter, erholt sich aber unter Mitwirkung der Alterung im Laufe der Zeit und kann nach langer

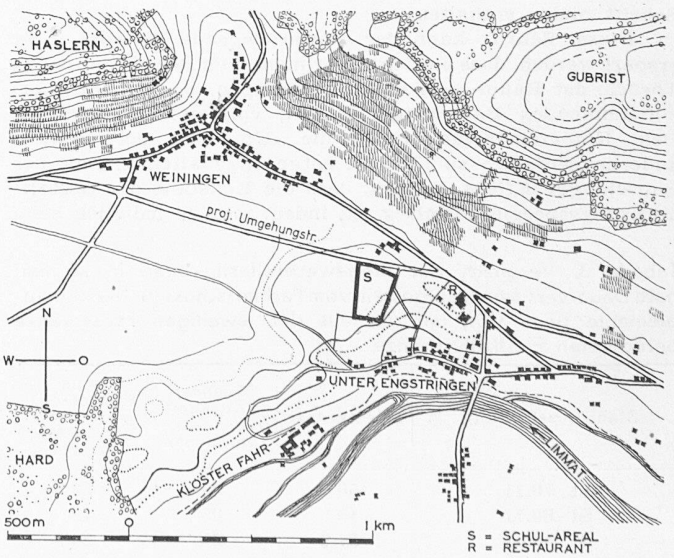

Bild 1. Lageplan des Bauobjektes mit seiner weitern Umgebung, Masstab 1 : 30 000

Ruhepause zwischen zwei aufeinander folgenden Versuchen die ursprüngliche Elastizitätsgrenze nahezu wiedererlangen[13]).

Diese mit Gleitungen, Versetzungen und Verhakungen innerhalb der Kristallite zusammenhängenden irreversiblen Vorgänge können naturgemäss mit Hilfe der Elastizitätskonstanten E und m allein nicht erfasst und dargestellt werden. Sie sind auch von Stoff zu Stoff sehr verschieden und können vorläufig *nicht durch theoretische Betrachtungen, sondern nur auf dem Wege des Versuchs* in zuverlässiger Weise erfasst werden.

[13]) Siehe Diskussionsberichte der EMPA-Zürich: Nr. 14 — I. Flussstahl — vom September 1926, S. 35, Abb. 49; Nr. 34 — III. Metalle — vom Februar 1929. S. 59, Abb. 128 und 129 sowie Mitteil. K. W. Institut für Eisenforschung, Düsseldorf: Abh. 450 (1943) S. 40, Bilder 10 bis 12.

Die Uebertragung der Ergebnisse betreffend die *statische Anstrengung*, die in allererster Linie den in Frage stehenden Betrachtungen zu Grunde liegt, auf die *Ermüdungsfestigkeit* bedarf der Erkenntnis, dass der Ermüdungsvorgang wohl als eine sehr oftmalige Wiederholung einer statischen Beanspruchung aufgefasst werden kann, dass aber im Lauf der Beanspruchungs-Wiederholungen, selbst innerhalb des gleichen Lastintervalles, der Stoff seine mechanischen Eigenschaften verändert und dies den Kern eines neuen Problems bildet, wodurch es, da unzutreffend, nicht statthaft ist, die Erschöpfung durch Ermüdung ohne weiteres mit statischen Anstrengungsgrenzen zu bewerten bzw. zu messen, wie dies H. Brandenberger zu tun sich berechtigt fühlt.

M. Roš und A. Eichinger

Diskussion um einen Schulhaus-Wettbewerb

727.1 (494.34)

Ende letzten Jahres hat die Gemeinde Unterengstringen einen Wettbewerb für ein Primarschulhaus durchgeführt, dessen Ergebnis hier in Nr. 52, S. 726, veröffentlicht wurde. Die Architekten H. Escher und R. Weilenmann als Verfasser eines nicht prämierten Entwurfes haben sich dann an uns gewandt mit dem Ersuchen, ihrer Kritik am Urteil des Preisgerichts Aufnahme zu gewähren. Nachdem festgestellt war, dass es sich um eine ausschliesslich akademische Diskussion handeln soll, die in keiner Weise als Bemühung der Kritiker um den Auftrag (Art. 25 der Wettbewerbsgrundsätze) ausgelegt werden darf, haben wir ihrem Wunsch entsprochen, weil in der Tat zwei grundsätzlich interessante Probleme zur Sprache kommen. Die anschliessend veröffentliche Erwiderung, die wir Kollege A. Mürset, Mitglied des Preisgerichts, bestens verdanken, beantwortet nicht nur die von den Einsendern aufgeworfenen architektonischen Fragen vom Standpunkt des Preisgerichts aus, sondern gibt darüber hinaus grundsätzliche Bemerkungen über die Ausübung des Preisrichteramtes, die jedem Preisrichter zur Beherzigung empfohlen seien! So glauben wir, diese grosse Diskussion um ein kleines Projekt habe sich gelohnt. W. J.

*

Dass Stellung und Gestaltung eines Einzelgebäudes nicht nur von Interesse für die engste Nachbarschaft, sondern von grösster Bedeutung für das Ortsbild und sogar für eine Landschaft sein können, ist durchaus keine neue Erkenntnis. Es sei jedoch erlaubt, am Beispiel des Wettbewerbes für ein Primarschulhaus der Gemeinde Unterengstringen diesen Widerstreit zwischen Repräsentationswillen des Einzelgebäudes einerseits und durch regionale, landschaftliche Rücksichten auferlegte Zurückhaltung anderseits erneut zu zeigen. Die Gelegenheit sei auch benützt, um auf einige Möglichkeiten in der Entwicklung des Schulhausbaus hinzuweisen.

Die Aufgabe des Wettbewerbs bestand darin, auf einem von der Gemeinde weitblickend im Bebauungsplan festgelegten, reichlich bemessenen Grundstück ein Primarschulhaus zu entwickeln, das in seinem ersten Ausbau vier «Normal»-Unterrichtszimmer, ein Lehrerzimmer, eine Turnhalle mit dazugehörigen Nebenräumen sowie eine Abwartwohnung, ausserdem die notwendigen Freiflächen wie Pausen- und Turnplatz, Turngeräteplatz und Spielwiese enthält. Für eine spätere Erweiterung war die Möglichkeit des Anfügens von etwa vier Unterrichtszimmern vorzusehen.

Lage des Grundstückes in der Landschaft (Bild 1). Das von der Gemeinde mit glücklicher Hand ausgewählte Grundstück ist ein Teil einer sehr grossen Ebene, die als erste Terrasse über dem Flusslauf der Limmat liegt. Die heute noch gänzlich unüberbaute Ebene ist für den Spaziergänger von grosser Schönheit, weil sie einen freien Ausblick nach Westen gegen den Hardwald und gegen den Altberg, nach Südwesten hinab ins Limmattal, nach Süden gegen den Uetliberg, nach Südosten auf die Stadt Zürich und die sie umgebenden Höhenzüge und schliesslich in die Alpen gewährt. Der Reiz des Geländes wird noch erhöht dadurch, dass es sich, bevor es nach Südosten in energischen Hängen abfällt, am Rande der Terrasse noch einmal um wenige Meter über die Ebene erhebt und damit den Spaziergänger geradezu auffordert, diese sanfte Kuppe zu gewinnen, um neben der Fernsicht noch den Blick in die Tiefe zu geniessen. In diesem Sinne ist das von der Gemeinde ausgewählte Grundstück und ganz besonders das zu erstellende Schulhaus von allergrösstem Interesse für eine weite Umgebung.

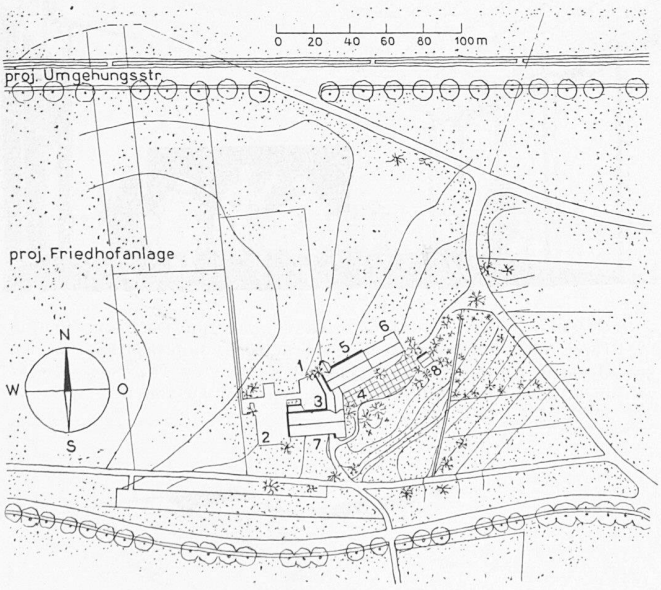

Bild 2. Erstprämiiertes Wettbewerbsprojekt, Verfasser H. von Meyenburg, dipl. Arch., Zürich. Die zweigeschossige Schulanlage ist weithin sichtbar auf der Hügelkuppe gruppiert

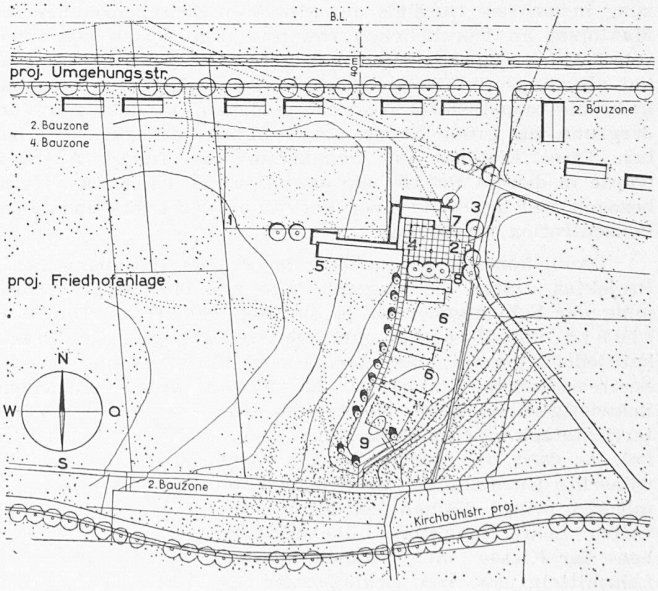

Bild 3. Wettbewerbsprojekt an 4. Stelle, Verfasser H. Escher, dipl. Arch. in Fa. Escher & Weilenmann, Zürich. Die eingeschossige Schulanlage ist in die Ebene zurückverlegt, die Hügelkuppe als Aussichtspunkt im Zusammenhang mit der Ebene belassen

Masstab für die Bilder 2 und 3: 1 : 4000

Legende: 1 Spielwiese, 2 Turnplatz, 3 Geräteplatz, 4 Pausenplatz, Pausenhalle mit Schuleingang, 5 Schule, 6 Erweiterung Schule, 7 Turnhalle, Abwart, 8 Velos, 9 öffentl. Aussichtskänzeli