

Diskussion über die Plastizität

Autor(en): **Baes, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2762>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

I 1

Diskussion über die Plastizität.

Discussion relative à la plasticité.

Contribution to Discussion on Theory on Plasticity.

L. Baes,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

I. Über die allgemeine Theorie der Plastizität, der Rolle der Gleitlinien und der Grenze zwischen dem elastischen und dem plastischen Bereich.

Die Referate I 1 und I 2 des Vorberichtes finden Zustimmung, geben aber auch Anlaß zu Bemerkungen.

1. Definition der Plastizität im allgemeinen:

Um alle falschen Auslegungen zu vermeiden, sei daran erinnert, daß man von einer *plastischen Formänderung* eines Teiles eines Körpers oder von einem *plastischen Zustand* eines Stoffes spricht, wenn in dem betreffenden Teil die Formänderung nicht vollkommen elastisch erfolgt und trotzdem der Zusammenhang des Stoffes nicht aufgehoben ist, selbst wenn eine Gefügeänderung erfolgt ist.

Diese Definition ist allgemein und es folgt aus derselben, daß folgende Ausdrücke synonym sind:

Plastische Formänderung und bleibende Formänderung ohne Zerstörung des Zusammenhanges (es gibt übrigens auch andere Fälle der bleibenden Formänderung, nämlich mit Reißerscheinungen oder mit teilweiser Aufhebung des Zusammenhanges).

2. Definition des plastischen Fließens und der Gleitlinien oder Fließfiguren für weiches Eisen:

Das Vorhandensein einer sehr wichtigen Eigenschaft des Baustahls auf diesem Gebiete gibt der Untersuchung der Plastizität ein ganz besonderes Interesse. Wenn nämlich der Baustahl reinen Zug- oder Druckbeanspruchungen ausgesetzt ist, zeigt er ein ganz besonderes Verhalten bezüglich des plastischen Fließens. Bei einer gegebenen Größe der Belastung steigt die Formänderung in der Längsrichtung plötzlich sehr stark an.

Dieses Verhalten läßt sich in Form eines *Sprunges* im Diagramm der Zug- oder Druckspannungen wiedergeben. Es dauert zwar bei sehr starken Formänderungen nicht an, führt jedoch vom technischen Standpunkt aus zu einer wesentlichen plastischen Formänderung, welcher ein Zustand vorausgeht, der sozusagen nur sehr geringe elastische Formänderungen umfaßt.

Diese Erscheinung und die daraus sich ergebenden Folgen haben in Wirk-

lichkeit die modernen Untersuchungen über die Plastizität ausgelöst, und man sucht diese Erscheinung zwecks Erzielung einer größeren Wirtschaftlichkeit der Konstruktionen aus weichem Eisen auszunutzen. Diese Erscheinung bildet übrigens einen sehr wertvollen Ausgleich für örtliche Spannungszunahmen.

Die genannte Erscheinung, welche man in Form des Sprunges in den Kurven darstellt, hat zum Teil zu der Vorstellung der *vollkommenen Plastizität* geführt, nämlich einer bei konstanter Belastung zunehmenden Formänderung.

Unter diesem Gesichtspunkt unterscheidet man bei der vollkommenen plastischen Formänderung lineare, ebene und räumliche Spannungs- oder Formänderungszustände.

Hieraus ergibt sich die Berechtigung und die praktische Notwendigkeit, eine *Theorie über die vollkommene Plastizität* zu entwickeln, welche im übrigen noch in der Entwicklung ist.

3. Bedeutung der Gleitlinien, welche an der Oberfläche der plastisch verformten Körper aus weichem Eisen auftreten.

Man kann sich m. E. der Ansicht von Takawa und Okuda anschließen, die unter I 1 angeführt sind:

„Das Auftreten der Gleitlinien und der plötzlichen Abweichung in der Formänderungskurve sind das Ergebnis des gleichen Vorganges, nämlich der gruppenweisen Verformung bedeutender Mengen der Kristallkörper.“

Es ist also eine wirkliche Diskontinuität in der Formänderung vorhanden, welche im übrigen zonenweise auftritt und von Einfluß auf ein ganzes Gebiet zu sein scheint, so daß es sich nicht nur um rein örtliche Wirkungen handelt.

Man kann sich dieser Vorstellung anschließen, welche sehr gut verdeutlicht, daß dieses unregelmäßige Verhalten die Folge einer molekularen Unstabilität ist, analog einer Verzögerung der Formänderung.

Diese Formänderung erfordert in diesem Augenblick eine Gefügeänderung, welche in Form wesentlicher und nicht umkehrbarer Gleitungen vor sich geht, d. h. plastischer Formänderungen, welche eine Verfestigung zur Folge haben, sowie auch eine *Blockierung* der Gleitflächen (siehe Moser).

Aus Vorstehendem scheint hervorzugehen, daß die wahre Grenze zwischen der im elastischen Zustand verbliebenen Zone des Körpers und der in den plastischen Zustand übergegangenen nicht mit den Gleitlinien zusammenfallen kann, welche an eine Verzögerung gebunden sind und sich über eine Zone erstrecken.

Die Gleitlinien können sehr breit sein, wenn der betreffende Teil des Körpers einer reinen Zugbeanspruchung ausgesetzt ist, während sie häufig sehr schmal sind, wenn dies nicht der Fall war.

4. Einige Eigentümlichkeiten der Gleitlinien:

Dr. Ing. *Freudenthal* schreibt, daß die wichtigste Eigenschaft der Fließfiguren, welche an der Oberfläche erscheinen, darin besteht, daß sie mit den größten Schubspannungstrajektorien zusammenfallen.

Es ist jedoch zu bemerken, daß dies nur zutrifft, wenn die Gleitlinien ein Netz aus zwei senkrecht zueinander stehenden Kurvenscharen bilden, während dies nicht der Fall ist, wenn diese Linien nur *eine Schar von Gleitlinien bilden*.

Diesen ziemlich häufigen Fall hat man anscheinend aus den Augen verloren.

Er ist jedoch klar in dem alten Aufsatz von *Hartmann* und von *Frémont* behandelt, und ist leicht zu rekonstruieren.

In diesem Fall sind die Gleitlinien offensichtlich nicht mit den Trajektorien der größten Schubspannungen verwechselt, sondern sind mit den Trajektorien der einen oder beiden Hauptspannungen (isostatische Linie) verwechselt. Es ist noch zu bemerken, daß eine Gleitlinie sowohl mitten im Stoff beginnen als auch enden kann. Wenn die Belastung zunimmt, pflanzt sich diese Linie fort, während gleichzeitig andere entstehen können.

Eine Gleitlinie tritt daher notwendigerweise nicht mit einemmal auf, vielmehr ist es häufig, daß eine derartige Linie sich nach und nach während einer Vergrößerung der Belastung fortpflanzt.

Es erscheint daher nachgewiesen, daß die Gleitlinien nicht in allgemeiner Weise Grenzlinien zwischen dem elastischen und dem plastischen Bereich sind.

Dies ist offensichtlich, da eine Linie, welche nicht mit einemmal erscheint, sondern sich bei zunehmender Belastung fortpflanzt, keine Grenze sein kann. Eine Grenzlinie müßte notwendigerweise in sich geschlossen sein, oder eine mit einem Teil des Körperumrisses geschlossene Kurve bilden.

Diese Schlußfolgerung von Dr. Ing. *Freudenthal* ist daher offensichtlich und läßt sich auf Grund elementarer Überlegungen ableiten. Von diesem Ergebnis bis zum Ableugnen jeder mathematischen Bedeutung der Gleitlinien ist jedoch noch ein weiter Weg, und zwar besonders dann, wenn diese Gleitlinien stark auseinandergezogen sind.

5. Die Plastizitätsbedingung.

Für die Metalle, welche einer plastischen Formänderung mit oder ohne klarer Fließgrenze unterworfen werden können, sind folgende hauptsächlichste Hypothesen aufgestellt worden, über die Bedingungen, welchen die Spannungen an der Grenze des elastischen und des plastischen Gebietes genügen müssen¹:

Hypothese von Saint-Venant, Maurice Lévy und Guest:

$$\tau_{\max} \quad \text{oder} \quad \frac{\sigma_I - \sigma_{III}}{2} = k = \frac{R_e}{2}$$

Worin R_e die Elastizitätsgrenze für reine Zugbeanspruchung ist.

Hypothese von Beltrami und Haigh:

Das Kriterium besteht in der Größe der spezifischen Arbeit für die elastische Formänderung.

Die zu erfüllende Bedingung läßt sich wie folgt ausdrücken:

$$(\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2) - \frac{2}{m} (\sigma_{II} \cdot \sigma_{III} + \sigma_{III} \cdot \sigma_I + \sigma_I \cdot \sigma_{II}) = R_e^2$$

Dieses Kriterium führt zu einer Darstellung im Raum in Form eines Ellipsoids und für den ebenen Spannungszustand in Form einer Ellipse.

¹ *L. Baes: Résistance des matériaux et éléments de la théorie de l'élasticité et de la plasticité des corps solides. Band I, Kapitel XI. — «Le problème des critères de la résistance des matériaux.»* Brüssel 1930 — 34.

Hypothese von v. Mises und Hencky:

Das Kriterium ist die Größe der spezifischen Arbeit der Formänderung durch Fließen (Gleiten).

Es läßt sich wie folgt ausdrücken:

$$(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2 = 2 R_e^2 = 8 k^2$$

oder als Funktion der größten Tangentialspannung:

$$\tau_{I, II}^2 + \tau_{II, III}^2 + \tau_{III, I}^2 = \frac{1}{2} R_e^2 = k^2$$

Dieses Kriterium führt zu einer Darstellung durch einen Rotationszylinder und für den ebenen Spannungszustand durch eine Ellipse.

Hypothese von v. Mises und Hencky, abgeändert von Huber:

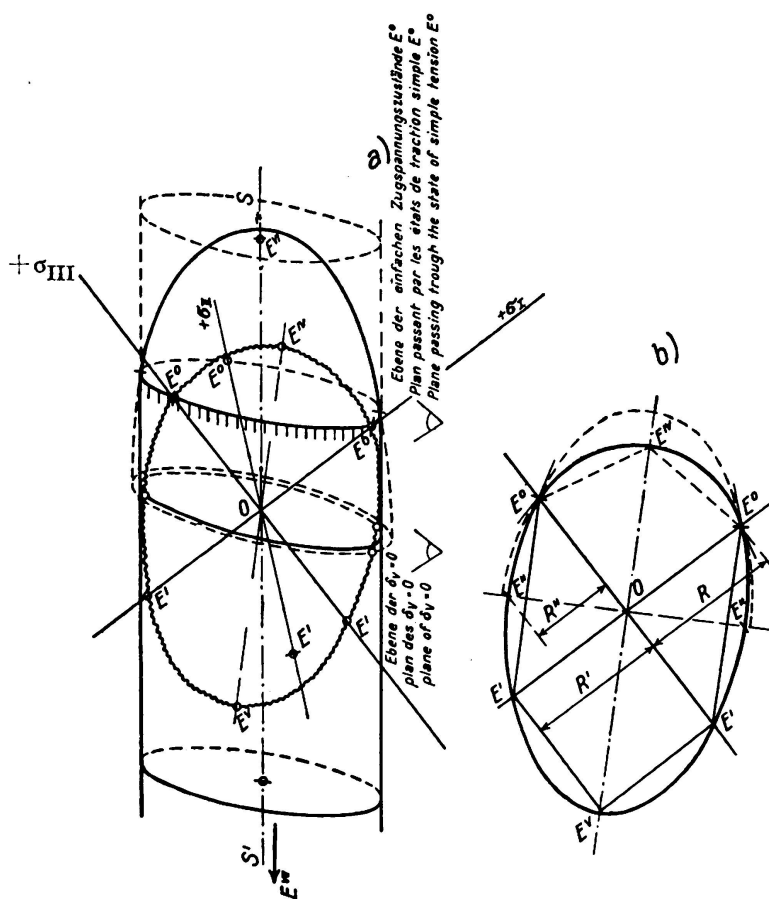


Fig. 1.

Theorie von Huber bezüglich des elastischen Grenzgleichgewichtes. (Graphische Darstellung).

- a) Dreiaxige Spannungszustände.
- b) Zweiaxige Spannungszustände.

Das Kriterium ist der Wert für die spezifische Formänderungsarbeit durch Gleiten, sofern die kubische Ausdehnung oder die mittlere

Spannung $\frac{\sigma_I + \sigma_{II} + \sigma_{III}}{3}$

negativ sind.

Wenn sie positiv sind, muß als Kriterium dasjenige von *Beltrami*² übernommen werden.

Dieses Kriterium führt zu einer der Fig. 1 entsprechenden graphischen Darstellung. Für den doppelten Spannungszustand ergibt es eine aus zwei Ellipsen gebildete Figur, welche sich wenig von derjenigen von *v. Mises-Hencky* unterscheidet.

Es ist zuzugeben, daß die bisher bekannt gewordenen Erfahrungen, d. h. diejenigen von *Roš* und *Eichinger*, ergeben haben, daß die Theorie von *Huber* für weiches Eisen oder analoge Stoffe sehr befriedigend ist.

² Das Kriterium von *Huber* ist besonders eingehend hervorzuheben, da dieses nicht identisch mit demjenigen von *v. Mises* und *Hencky* ist. Es ist bedeutend logischer als dieses, was häufig aus den Augen verloren wird.

Es ist von Wichtigkeit, besonders zwei Sonderfälle zu betrachten, welche häufig auftreten können:

Fall des ebenen Formänderungszustandes bei vollkommener Plastizität:

Die plastische Formänderung erfolgt in diesem Fall in parallelen Ebenen. Es sei angenommen, daß diese Ebenen mit denjenigen der Hauptspannungen σ_I und σ_{III} zusammenfallen, und daß σ_{II} senkrecht darauf steht.

Für den Fall der vollkommenen Plastizität erhält man in allen Punkten:

$$\text{Daher} \quad \sigma_{II} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2}$$

$$\sigma_I < \sigma_{II} < \sigma_{III}$$

Die Bedingung der Plastizität bei diesen Spannungen läßt sich dann gemäß *St. Venant* und *Maurice Lévy* wie folgt ausdrücken:

$$\sigma_I - \sigma_{III} = 2k = R_e$$

Die Bedingung der Plastizität von *v. Mises-Hencky* lautet:

$$|\sigma_I - \sigma_{III}| = \frac{4}{\sqrt{3}}k = \frac{2}{\sqrt{3}}R_e.$$

Man erkennt, daß für diesen Fall die beiden Bedingungen gleich einem Koeffizienten $\frac{2}{\sqrt{3}}$ sind und einem besonderen Wert von τ_{\max} entsprechen.

Hieraus geht hervor, daß σ_{II} zwischen σ_I und σ_{III} liegt, sowie daß die Flächen, auf denen die Gleitbewegungen erfolgen, senkrecht zur Ebene I.—III. verlaufen.

Die Gleitflächen sind Zylinder, deren Erzeugende senkrecht zu dieser Ebene stehen.

Die Gleitungen erfolgen also parallel zu dieser Ebene und rufen auf derselben zwei einander zugeordnete Scharen von Gleitlinien hervor, welche ein Netz senkrecht zueinander stehender Kurven bilden und die Winkel des Netzes der isostatischen Kurven halbieren.

Entlang dieser Linien, in dem Maße wie sie sich bilden, erreicht die Tangentialspannung den kritischen Wert.

Sonderfall des ebenen Spannungszustandes oder des doppelten Spannungszustandes bei vollkommener Plastizität:

Dieser Fall ist sehr häufig. Er tritt an der Oberfläche des Stückes auf. Die eine der Hauptspannungen ist Null, beispielsweise $\sigma_{II} = 0$.

Wenn σ_I und σ_{III} entgegengesetzte Vorzeichen besitzen, ist der Zustand der Plastizität von *St. Venant* und *Maurice Lévy*:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_I - \sigma_{III}}{2} = \pm k = \pm \frac{R_e}{2}.$$

Wenn σ_I und σ_{III} das gleiche Vorzeichen besitzen, wird diese Bedingung zu

$$\frac{\sigma_I}{2} \text{ oder } \frac{\sigma_{III}}{2} = \frac{R_e}{2}.$$

Die Bedingung der Plastizität von *v. Mises-Hencky* ist dann:

$$\sigma_I^2 - \sigma_I \cdot \sigma_{III} + \sigma_{III}^2 = 4 k^2 = R_e^2$$

In kartesischen Koordinaten für σ_I, σ_{III} ausgedrückt, entspricht dies einer Ellipse.

Die Bedingungen von *St. Venant* und *v. Mises* unterscheiden sich daher zahlenmäßig kaum, wenn die Hauptspannungen σ_I und σ_{III} verschiedene Vorzeichen

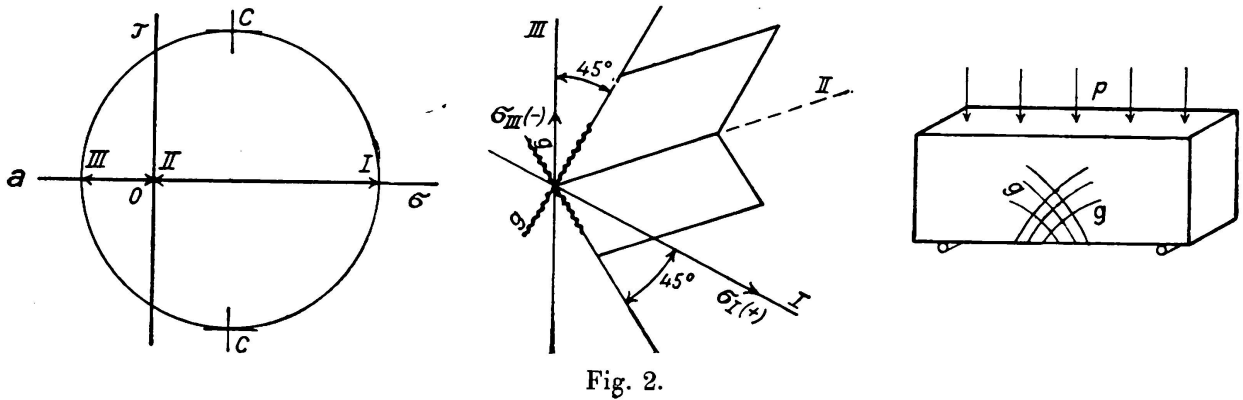


Fig. 2.

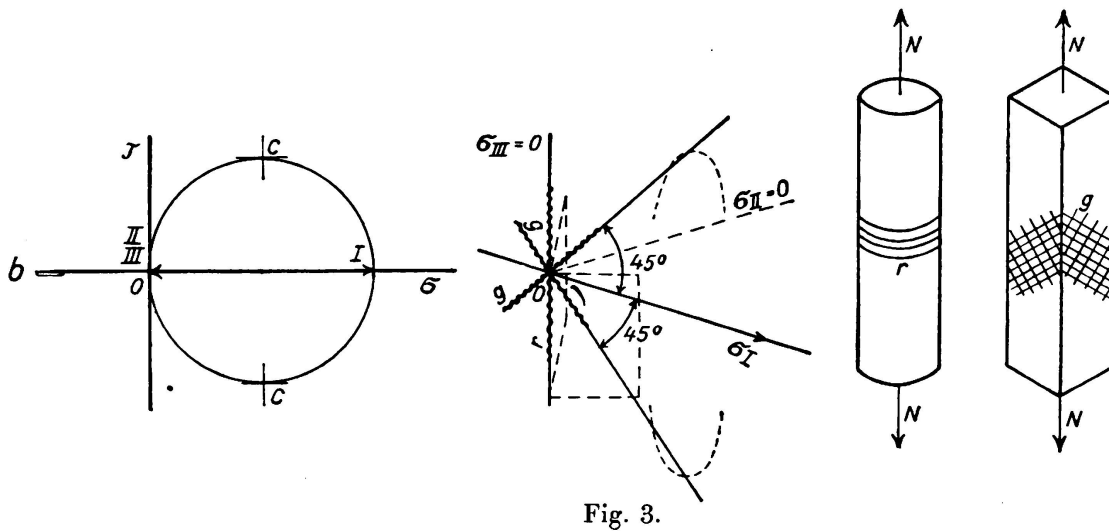


Fig. 3.

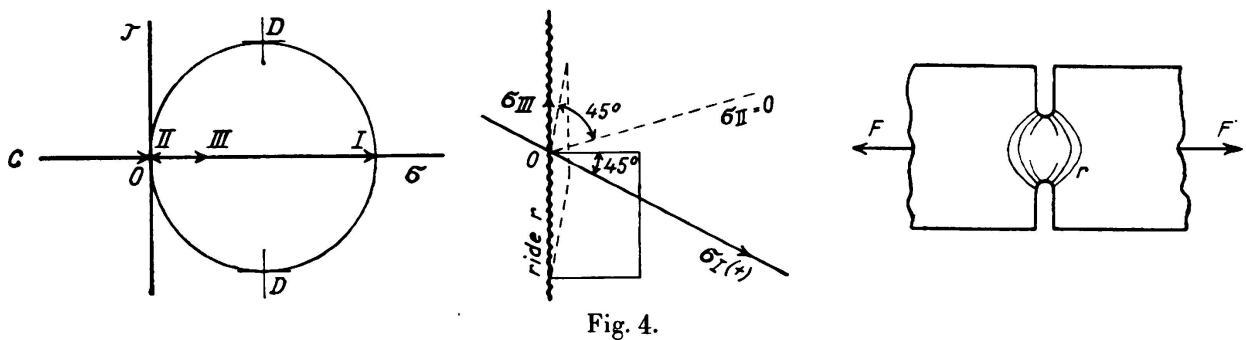


Fig. 4.

Fig. 2–4. Verlauf des Gleitliniennetzes *g* oder der Gleitlinienschar *r* erscheinend auf den Stab-Außenflächen in den durch ebenen Spannungszustand beanspruchten Gebieten.

Fall a: $\sigma_{II} = 0$, σ_I und σ_{III} von verschiedenen Vorzeichen,

Fall b: $\sigma_{II} = \sigma_{III} = 0$,

Fall c: $\sigma_{II} = 0$, σ_I und σ_{III} von gleichen Vorzeichen.

besitzen. Die beiden Bedingungen sind jedoch nicht proportional, wie für den ebenen Formänderungszustand.

In diesem Fall bildet sich, wenn die beiden Hauptspannungen σ_I und σ_{III} entgegengesetzte Vorzeichen besitzen (Fig. 2), ein Netz von Gleitlinien.

Gemäß der Hypothese von *St. Venant* schneidet dieses Netz das Netz der isostatischen Kurven als Winkelhalbierende, und in jedem Punkt einer der Linien dieses Netzes erreicht das entsprechende τ_{\max} den kritischen Wert im Augenblick, wenn das Fließen in diesem Punkt eintritt.

Gemäß der Hypothese von *v. Mises* bildet sich noch ein Netz von zwei Kurvenscharen, doch erreicht längs der Gleitlinien dieses Netzes das τ_{\max} keinen bestimmten Wert mehr. Dies ist der kritische Zustand, welcher nicht mehr auf einem bestimmten Wert von τ_{\max} beruht.

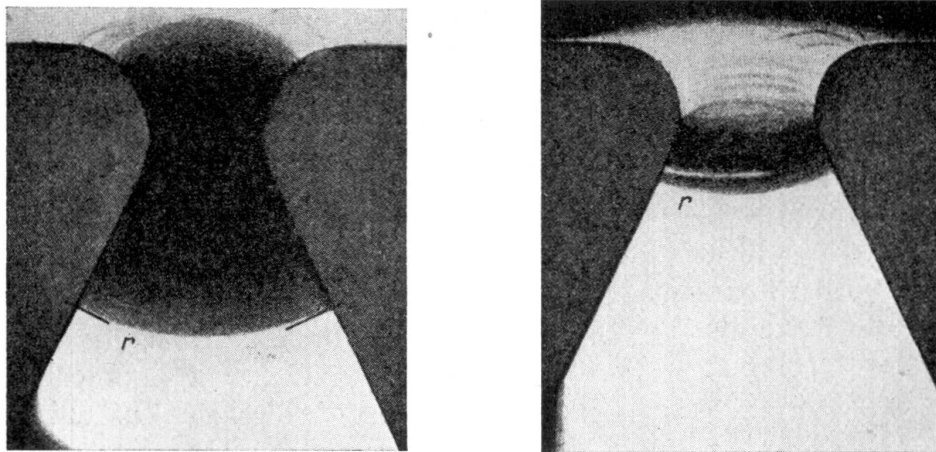


Fig. 5.

Prüfstab, auf Zug beansprucht. Die Gleitlinien r erscheinen allmählich. (Figur entnommen dem Buch „Mesure de la limite élastique des métaux“, von Ch. Frémont, 1903).

Wenn die beiden Hauptspannungen σ_I und σ_{III} das gleiche Vorzeichen besitzen (Fig. 4), bildet sich kein Netz senkrecht aufeinander stehender Kurvenscharen mehr.

Die Gleitflächen stehen nicht mehr senkrecht zu der freien Fläche und zwar trifft dies auf beide Theorien zu.

Es bildet sich eine einzige Schar von Gleitlinien, welche der gemeinsamen Schnittlinie der beiden Gleitflächengruppen entsprechen (Fig. 5 und 6).

Gemäß der Hypothese von *St. Venant* fällt jedes Element dieser Linien im Augenblick seiner Bildung mit dem isostatischen Element zusammen, welches der ihrem absoluten Werte nach kleinsten Hauptspannung entspricht. In diesem Augenblick und an dieser Stelle wird die größte Hauptspannung gleich der doppelten kritischen Tangentialspannung.

Die alten Werte von *Hartmann* lassen den Unterschied zwischen den Gleitlinien und den Gleitliniennetzen deutlich erkennen, siehe Fig. 7. Trotzdem hat *Hartmann* diesen Unterschied nicht erklärt.

Gemäß der Hypothese von *v. Mises* entsprechen die in einem Punkt der

Gleitlinie im Augenblick der Bildung derselben erreichten Spannungen der Bedingung des Kriteriums, was nicht mehr ganz einfach ist.

Dieser Umstand der Bildung der Gleitlinien scheint in Vergessenheit geraten zu sein. Er tritt trotzdem ziemlich häufig auf und ist das Problem dann vollkommen verschieden von dem Fall der Bildung des Gleitliniennetzes. Er tritt häufig bei flachen Stücken mit seitlichen Kerben auf (Fig. 6).

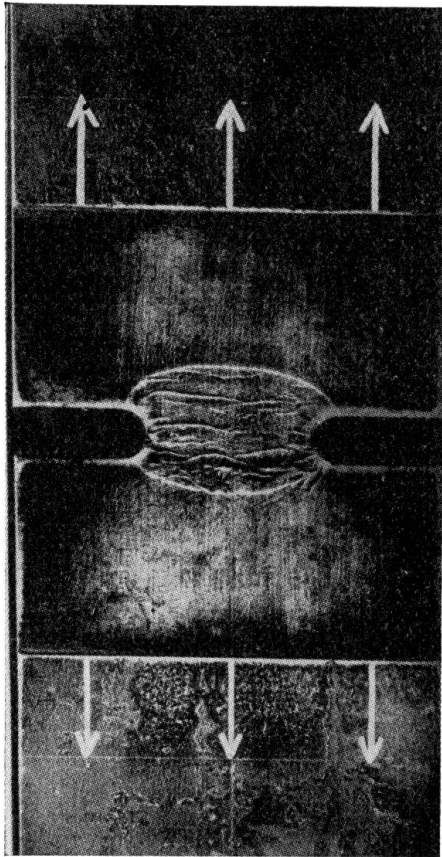


Fig. 6.

Gleitlinien in einem gekerbten Flußstahl-Stab.

Stoffe immer von den Begrenzungskurven des plastischen Bereiches ausgehen muß. Die Annahme von Gleitlinien als eine solche Begrenzung und die Aufstellung von Lösungen aus den Eigenschaften der Gleitlinien wird immer zu Resultaten führen, welche der Wirklichkeit nicht entsprechen.“

Bezüglich des zweiten Teiles muß man Vorbehalte machen, doch ist der erste Teil dieses Satzes in allgemeiner Weise offenbar richtig.

Es ist in der Tat unrichtig, daß allgemein die plastische Zone mit einer Gleitfläche verwechselt wird, trotzdem offensichtlich längs dieser Gleitflächen der plastische Zustand sowohl in der plastischen Zone als auch an der Grenze vorhanden ist.

An der Grenze muß er jedoch in einen elastischen Zustand übergehen.

Allgemein genommen wird die Grenzfläche nicht durch eine Gleitfläche gebildet, sondern durch Punkte verschiedener Gleitflächen.

Die Grenzfläche ist offensichtlich ihrer Definition nach eine Fläche des elastischen Zustandes, längs deren die als Kriterium genommene Funktion konstant ist.

Wenn eine einzige Hauptspannung nicht gleich Null ist, besteht theoretisch die Möglichkeit, daß sich ein Netz von Gleitlinien g oder eine Linienschar r bildet (Fig. 3).

Praktisch ist es wahrscheinlich, daß sich ein Netz von Gleitlinien g bildet.

Für dieses Netz sind die beiden Spannungshypothesen von *St. Venant* und *v. Mises* offensichtlich identisch.

Andererseits führt in der vollen Masse die Theorie von *St. Venant* zu Gleitflächen in allen Elementen, in denen im Augenblick des Fließens das τ_{\max} den kritischen Wert erreicht.

Andererseits besteht gemäß der Theorie von *v. Mises* kein einfacher Zusammenhang mehr zwischen dem kritischen Zustand und der größten Tangentialspannung.

6. Grenze zwischen der elastisch gebliebenen und der plastischen Zone:

Dr. Ing. *Freudenthal* schreibt:

„Das angeführte Beispiel zeigt, daß die Behandlung plastischer Probleme kristalliner

Für ein im ebenen Formänderungszustand belastetes ebenes Stück ist daher die Grenze, sowohl wenn man das Kriterium von *St. Venant* als auch dasjenige von *v. Mises* anwendet, eine isochromatische Linie gemäß der photoelastischen Untersuchung.

Für das gleiche Stück ist sie, wenn dasselbe im ebenen Spannungszustand belastet wird, nur für die Theorie von *St. Venant* eine isochromatische Kurve und wenn die beiden Spannungen σ_I und σ_{III} entgegengesetztes Vorzeichen besitzen oder eine derselben nicht gleich Null ist.

Für das gleiche Stück wird, wenn die Belastung im ebenen Spannungszustand erfolgt, die beiden Spannungen das gleiche Vorzeichen besitzen und die Theorie von *St. Venant* angewandt wird, die Grenzlinie eine Kurve, welche einem gleichen Wert der ihrem absoluten Werte nach größten Hauptspannung entspricht. Sie ist daher keine isochromatische Kurve gemäß der photoelastischen Untersuchung.

Nach der Hypothese von *v. Mises* ist für den ebenen Spannungszustand die Grenzlinie keine isochromatische Kurve.

Man erkennt daher, daß es sehr wichtig sein kann, zwischen den Fällen des ebenen Spannungszustandes und des ebenen Formänderungszustandes zu unterscheiden. Dies ist sehr wesentlich, warum ich darauf hingewiesen habe.

Um erkennen zu lassen, daß die Grenzlinie im allgemeinen keine Gleitlinie ist, genügt es, zwei einfache bekannte Fälle anzuführen:

Bei einer starken zylindrischen Hülle, welche einem stark unterschiedlichen Druck ausgesetzt ist, ist infolge der axialen Symmetrie die Grenzfläche zwischen der plastischen und der elastischen Zone ein zu dem Rohr konzentrischer

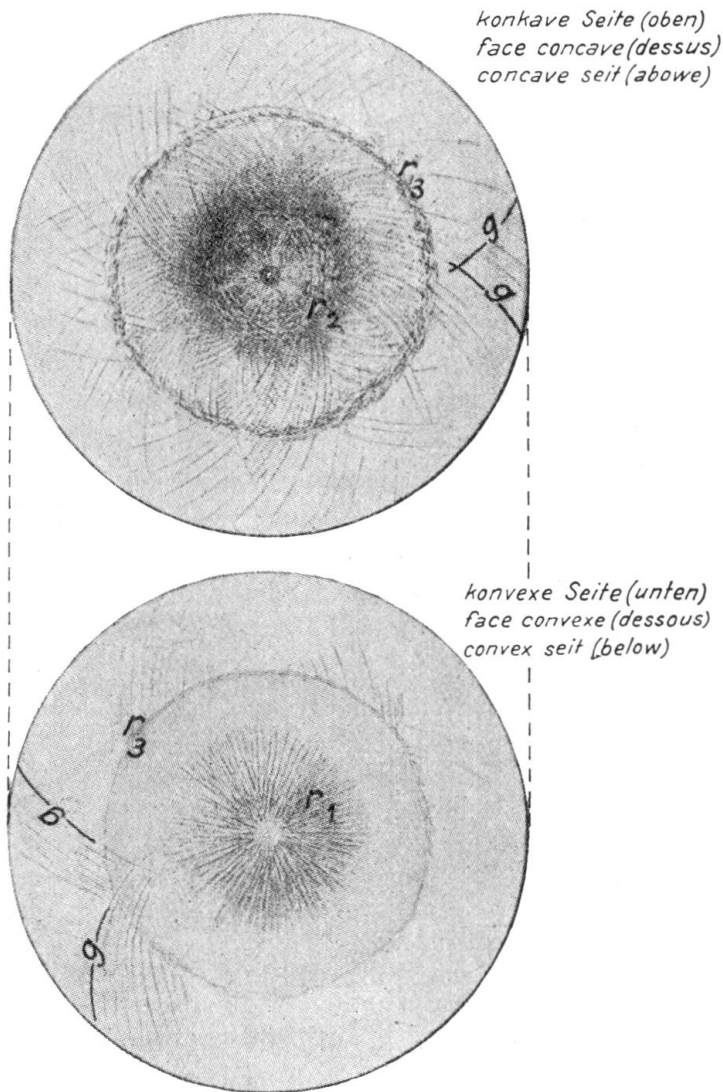


Fig. 7.

Stahlplatte, durch eine zentrische Einzellast deformiert.
Gleitlinien g und r.

(Figur entnommen dem Buch: „Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts“ L. Hartmann, 1896).

Zylinder, während in jedem Querschnitt die Schnittlinien der Gleitflächen logarithmische Spiralen sind.

Diese Formen haben nichts Gemeinsames miteinander.

Das zweite anzuführende Beispiel ist eine ebene Platte, welche am Rande durch eine quasi Einzellast belastet ist.

Die Gleitlinien in den Schnittflächen der Platte sind logarithmische Spiralen, während die Grenzlinie eine isochromatische Linie ist, d. h. ein Kreis, welcher seinen Mittelpunkt auf der Belastungslinie hat und tangential zu der Grenzlinie des Stückes verläuft.

Der Fall einer kreisförmigen Scheibe, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Lasten belastet ist, ist ebenfalls typisch.

Es ist also offensichtlich, daß die Grenzlinie des plastischen und elastischen Gebietes im allgemeinen keine Gleitlinie ist.

Es war meiner Ansicht nach vorteilhaft, dies klarer und einfacher darzustellen als es der Verfasser des Aufsatzes I 1 tut, da es sich um einen klassischen Fall handelt.

Es sind noch zahlreiche und wichtige Fragen für das Gebiet der Plastizität zu erklären, da die zur Zeit aufgestellten Theorien nur ein erstes vereinfachtes Bild sind und wahrscheinlich noch weiter entwickelt werden müssen.

Seit der Ausarbeitung meiner Ausführungen ist übrigens noch der unter I 2 behandelte Aufsatz von Dr. techn. *J. Fritsche* erschienen, in dem ausgeführt ist, daß der Zustand des plastischen Fließens nicht eine Funktion des örtlichen Spannungszustandes ist, sondern des Spannungszustandes eines ganzen Gebietes.

Diese neue Fließbedingung ist von großem Interesse und enthält zahlreiche neue Elemente, welche sich auf unbezweifelbare Versuchsergebnisse stützen. Ich hatte schon selbst diese Erkenntnis anlässlich von eingehenden Versuchen, welche ich mit einbetonierten Walzträgern durchgeführt habe.

II. Über die Anwendbarkeit der Berechnung auf Eisenkonstruktionen.

Ich stimme vollkommen mit Dr. Ing. *F. Bleich* überein, welcher die Aufmerksamkeit darauf lenkt, daß diese Prinzipien nur mit großer Vorsicht auf die Eisenkonstruktionen anzuwenden sind.

Er führt aus, daß das neue Berechnungsverfahren weder auf solche Systeme angewandt werden darf, bei denen die Ermüdungsfestigkeit des Materials zu berücksichtigen ist, noch auf Fachwerkträger.

Es darf daher zur Zeit nur auf solche einfache Systeme angewandt werden, welche nur in geringem Maße statisch unbestimmt sind und aus mehreren auf Biegung beanspruchten Elementen bestehen, deren auf Druck beanspruchte Teile ihre Stabilität nicht verlieren. Derartige einfache Systeme treten fast nur bei Hochbauten auf, welche nicht häufig wiederholten Beanspruchungen und auch nicht den Schwingungen von Maschinen ausgesetzt sind.

Außerdem empfiehlt es sich, derartige Bauwerke gemäß der Theorie des plastischen Gleichgewichtes auf derartige Spannungen zu berechnen, daß die Fließspannung nicht erreicht wird und daß der in der Plastizität vorhandene Ausgleichsfaktor eine wirkliche Reserve bildet.