Emailleüberzuges konnte so weit erhöht werden, daß er den unvermeidbaren Stößen bei der Montierung und beim Transport gewachsen ist.

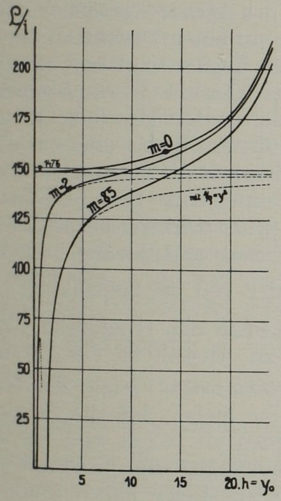
Damit komme ich zum Schluß!

Im Kampf gegen den Rost gilt für den Glasdachbau in erhöhtem Maße das, was allgemein in der Bautechnik Gültigkeit hat: Wir sind einige große Schritte vorwärtsgekommen; doch müssen wir aus Praxis und Wissenschaft noch weiterhin neue Lehren ziehen, prüfen, verbessern und das Beste behalten!

Doz. Dr. Ing. E. Chwalla, Wien:

Die Stabilität zentrisch und exzentrisch gedrückter Stäbe aus Baustahl

Meine Herren! Die frühzeitig gewonnene Erkenntnis der Ungültigkeit der klassischen Eulerformel im Falle kleiner Stabschlankheiten wies schon in den ersten Entwicklungsjahren des Eisenbaues auf den entscheidend großen Einfluß, der dem *Formänderungsgesetz* eines Werkstoffes im Komplex der Knickerscheinungen zuzuschreiben ist. Da sich die Theorie von damals einer Erfassung des Problems noch nicht gewachsen zeigte, war man auch im einfachen Falle des rein zentrischen Kraftangriffes auf Formeln angewiesen, die ausschließlich der Versuchserfahrung entsprangen, bis es vor etwa zwei Jahrzehnten Th. v. Kármán in Anknüpfung an die Gedankengänge Engessers gelang, zielbewußt die Gesetzmäßigkeit der zentrischen Knickfestigkeit aus dem Verhalten des Baustoffes unter reinem Druck, also aus dem Formänderungsgesetz, abzuleiten und die erhaltenen Ergebnisse durch sorgfältig durchgeführte Versuche zu bestätigen. Kármán entwickelte in seiner Abhandlung auch eine (wenn man von den verwendeten Spannungsbildern absieht) einwandfreie Methode zur Ermittlung der kritischen Achsiallasten bei *exzentrischen* Angriffen, hatte jedoch bei diesen Untersuchungen einzig die Erkenntnis des Einflusses sehr kleiner, sogenannter ,,unvermeidlicher" Angriffsexzentrizitäten zum Ziele. Erst in den letzten Jahren erschienen zwei breiter angelegte Arbeiten, die auch die sog. ,,Knickfestigkeit" beliebig exzentrisch gedrückter Baustahlstäbe behandeln und Prof. Krohn bzw. Roš-Brunner zum Verfasser haben. Die in der ,,Bautechnik 1923" erschienene Abhandlung Krohns beinhaltet den Versuch einer rein *analytischen* Erfassung des Problems, die begreiflichen Schwierigkeiten begegnet und zu vereinfachenden Annahmen wie auch zur Festsetzung der Sinuslinie als Gleichgewichtsform zwingt. Das erstrebenswerte Ziel, das Problem bis zu einem der Praxis unmittelbar zugänglichen Resultat zu verfolgen, hat nur die Arbeit Roš-Brunners erreicht, deren praktisch bedeutungsvolle Ergebnisse Sie im Referate finden. Auch bei diesen Untersuchungen sind die Gleichgewichtsformen willkürlich angenommen, und zwar wurden der Einfachheit halber auch bei beliebig *exzentrischen* Kraftangriffen *ganze* Halbwellen der Sinuslinie gewählt (die z. B. an den beiden Stabenden zu dem Widerspruche führen, daß dem oft beträchtlichen Angriffsmoment der Achsialkraft eine Achsenkrümmung Null gegenübersteht). Dem exzentrischen ,,Knickproblem" wurden ferner Spannungsbilder zugrunde gelegt, die im unelastischen Bereich ungeachtet des *gemeinsamen* Anwachsens von Grund- und Biegespannung eine Entlastungsgerade auf der Biegezugseite aufweisen, wodurch ein Teil der ermittelten Knicklasten zu groß erhalten wird. Wie ich schon im Rahmen der Diskussionen erwähnte, habe ich, insbesonders um die willkürliche Annahme der Deformationsfiguren auf ihre *praktische* Zulässigkeit zu prüfen, das Stabilitätsproblem eines zentrisch oder beliebig exzentrisch gedrückten Baustahlstabes mit Schärfe behandelt und in den ,,Sitzungsberichten der Akad. d. Wiss. in Wien 1928 (Abt. IIa, S. 469)" das graphisch-analytische Verfahren zur Festlegung der ersten kritischen Achsiallasten für einen beiderseits gelenkig gelagerten Stab von Rechteckquerschnitt entwickelt. Die Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse von den Diagrammwerten Roš-Brunners, denen das gleiche Formänderungsgesetz zugrunde liegt, erweisen sich auch tief im elastischen Bereiche, in dem die Annahme einer Sinuslinie noch am ehesten gerechtfertigt erscheinen muß, zum Teil als erheblich. Bei nur 1000 kg/qcm mittlerer Druckspannung resultierten die kritischen Stabschlankheiten z. B. bei einem exzentrischen Angriff in der dreifachen Kernweite um etwa 46% größer. Ohne auf irgendwelche Herleitungen einzugehen, möchte ich nur kurz bemerken, daß ich auch die Schubverzerrung und Nullinienverschiebung in Rücksicht gezogen habe, was jedoch ausschließlich theoretisches Interesse beansprucht. Die Differentialbeziehung kann graphisch exakt festgelegt und ihre Lösung in bekannter Weise auf Quadraturen zurückgeführt werden; es resultiert dann für jeden vorgegebenen Wert der mittleren Druckspannung ,,P/F`` eine Gruppe von Gleichgewichtslagen, also eine Schar jener Kurven, die die ursprünglich gerade Stabachse bei verschiedenen Werten der Scheitelausbiegung unter der unveränderlichen Last ,,$P$`` annimmt. Die Länge dieser Kurven innerhalb der beiden Integrationsgrenzen, also vom Lager bis zum



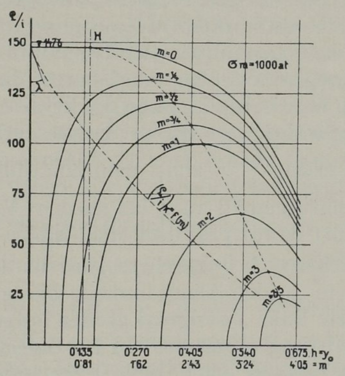


Abb. 1

Scheitelpunkt gemessen, führt dann auf die sogenannten ,,Gleichgewichtsschlankheiten``, d. s. die Schlankheiten jener Stäbe, die allein bei der vorgegebenen Scheitelauslenkung und vorgegebenen Achsialkraft ein Gleichgewicht ermöglichen. Im rechten Diagramm der Abbildung 1 ist der Verlauf dieser Gleichgewichtsschlankheiten zu erkennen, wie er sich im Zuge wachsender Scheitelausbiegung für einen Stab aus Baustahl von Durchschnittsqualität unter einer mittleren Druckspannung von $P/F = 1000$ kg/qcm, also im sogenannten ,,elastischen`` Bereich ergibt. Die den einzelnen Kurven beigeschriebenen ,,$m$``-Werte bedeuten die Verhältniszahlen der Angriffsexzentrizität zur Kernweite des Querschnittes; die Kurve ,,$m = 2$`` bezieht sich sonach auf einen beiderseits gelenkig gelagerten Baustahlstab von Rechteckquerschnitt, dessen Achsiallast in der zweifachen Kernweite angreift und gleich ist der Querschnittsfläche mal 1000 kg/qcm. Auf der Abszissenachse sind die gesamten Scheitelauslenkungen aufgetragen, d. s. die jeweiligen Angriffsexzentrizitäten plus den eigentlichen Biegepfeilen der verformten Stabachse; hat also der eben erwähnte Stab z. B. die Schlankheit $L/i = 50$, so beträgt diese Gesamtauslenkung, wie man der ,,$m = 2$``-Kurve entnehmen kann, ungefähr die 0,4fache Querschnittshöhe ,,$h$``. Die Kurve ,,$m = 0$``, die sinngemäß dem Fall eines rein zentrischen Kraftangriffes entspricht, besitzt in Form der Ordinatenachse einen unbeschränkten zweiten Ast und trifft diesen an der Stelle $\frac{L}{i} = 147{,}6$, welcher Wert identisch ist mit der nach EULER-KÁRMÁN berechneten Knickschlankheit für 1000 kg/qcm Druckspannung. Mit Beziehung auf die später erfolgenden Gleichgewichtsprüfungen sei hier noch vermerkt, daß der eingetragene Kurvenverlauf im Sinne seiner Herleitung nur für zunehmende, jedoch nicht allgemein auch für abnehmende Scheitelausbiegungen Geltung besitzt, da diesfalls die Spannungsbilder durch das Entlastungsgesetz Veränderungen erfahren und unter Voraussetzung ebenbleibender Querschnitte eigenartige Gleichgewichtsformen liefern, die noch der genaueren Untersuchung bedürfen.

Bevor wir auf den Kurvenverlauf des näheren eingehen und aus ihm Schlüsse ziehen, wollen wir kurz das *linke* Diagramm betrachten. Es zeigt die gleichen Koordinaten wie das rechte, gilt ebenfalls für $P/F = 1000$ und unterscheidet sich einzig in der Voraussetzung, die bezüglich des *Materialverhaltens* getroffen wurde. Das linke Graphikon bezieht sich allgemein auf einen Druckstab aus einem *ideellen* Werkstoff, der *unbeschränkt dem* HOOKE*schen Gesetze* folgt und ausreichend bruchsicher ist, während das rechte für den *Baustahl*, also ein „*elastisch-plastisches*" Material mit ausgesprochener Fließgrenze ermittelt wurde. Das linke Diagramm vertritt die Stabilitätsprobleme unserer Elastizitätstheorie, die ja alle, auch bei Zuziehung der sogenannten „Knickmoduli", die Geradlinigkeit der Spannungsverteilung schlechtweg voraussetzen, und das rechte Diagramm repräsentiert die Stabilitätsprobleme für elastisch-plastische Werkstoffe, also die des *praktischen Eisenbaues*. Das Wort „Bau" gewährleistet hiebei die Beschränkung auf Stabschlankheiten, die kleiner sind als etwa $\frac{L}{i} = 200$; denn eine dünne Blattfeder von der Schlankheit „2000" verläßt naturgemäß auch bei starken Verbiegungen nicht den HOOKEschen Bereich und gehört damit praktisch dem *linken* Graphikon zu, wiewohl sie aus „Stahl" ist.

Beachten Sie, verehrte Herren, den *grundverschiedenen Verlauf* der Kurvenscharen in beiden Diagrammen, berücksichtigen Sie hiebei, daß die Scheitelausbiegungen links *vierzigmal* größer aufgetragen wurden als rechts, und Sie werden die Verwirrung ermessen, die bei Stabilitätsuntersuchungen eine nicht *ausreichend scharfe Trennung* nach dem Formänderungsgesetz zur Folge haben muß. Beide Diagramme stimmen nur in einem *einzigen* Punkte überein, das ist der kritische Schlankheitswert im Falle zentrischer Knickung; hier handelt es sich um den Grenzfall einer unendlich kleinen Verformung, der auch im unelastischen Bereich eine geradlinige Spannungsverteilung im Sinne des KÁRMÁNschen Knickspannungsbildes zuläßt. Wenn ich nun noch vorgreifend darauf verweise, daß die Maxima des Kurvenverlaufes, wie Sie solche im rechten Graphikon bei allen „$m > 0$"-Kurven finden, kritische Gleichgewichtszustände bedeuten, so können wir den Schluß wagen, daß alle Stabilitätsuntersuchungen unserer Elastizitätstheorie (vertreten durch das linke Bild) dem *Eisenbau* (vertreten durch das rechte Bild) nicht mehr geben können als *einen Teil* seiner kritischen *Belastungswerte*, während eine Gruppe *gänzlich neuer*, baupraktisch bedeutungsvoller kritischer Zustände, wie hier die des exzentrischen Druckes (und damit wahrscheinlich auch neue kritische Laststellungen z. B. bei eisernen Bogenträgern), und auch das Verhalten in *qualitativer* Hinsicht dem *Formänderungsgesetz des Baustahls* entspringt. Ich habe es mir zum Ziele meiner Ausführungen gesetzt, diese Tatsache besonders zu unterstreichen und dürfte damit auch ausreichend betont haben, daß der Eisenbau ungeachtet der Fülle vorhandener Literatur noch immer der Lösung vieler seiner Gleichgewichtsprobleme harrt.

Ich will nun noch zusammenfassend vom Standpunkt des so bedeutungsvollen Formänderungsgesetzes die Stabilitätsverhältnisse achsial gedrückter, gerader Stäbe an Hand der beiden Diagramme kurz skizzieren und möchte vorher noch bemerken, daß der Kurvenverlauf in seinem Wesen der gleiche bleibt, auch wenn Sie sich (gerade umgekehrt, als es hier der Fall ist) die *Stabschlankheit* unveränderlich gegeben denken und dafür die *Achsiallasten* dieses betrachteten Stabes als Variable auf der Ordinatenachse auftragen.

Das linke Graphikon gilt, wie wir schon festgestellt haben, für einen ursprünglich geraden Stab aus einem Werkstoff, der nach Voraussetzung unbeschränkt dem HOOKEschen Gesetze folgt und ausreichend bruchsicher ist. Die drei eingetragenen Kurven, die sich auf einen Lastangriff im Schwerpunkt, in der zweifachen und in der 8,5 fachen Kernweite beziehen, sind nach der *genauen* Theorie berechnet, die auf den exakten analytischen Ausdruck für die Achsenkrümmung Rücksicht nimmt. Würde man, wie es bei der elementaren Herleitung der Eulerwerte gerechtfertigt ist, nur die Näherungsbeziehung: „Krümmung gleich der zweiten Ableitung der Ausbiegung" in Rechnung stellen, so würden die gestrichelt eingetragenen Linien resultieren; bei zentrischem Kraftangriff wäre dann die Gleichgewichtsschlankheit unter der Wirkung der Eulerlast falscherweise *unabhängig* von der Ausbiegung, und bei exzentrischen Angriffen würde man unter dieser Eulerlast ungeachtet der endlichen Stablänge eine *unendlich große* Scheitelausbiegung „y_0" erhalten. Dieses fälschliche Unendlichwerden der Stabausbiegung wird nicht selten als Kriterium eines „Stabilitätswechsels" angesehen und führt dann zu dem immer wiederkehrenden Irrtum, daß ein gerader, exzentrisch gedrückter, unbeschränkt „elastischer" Stab unter der Eulerlast der Knickung unterliegt; wie Sie dem Graphikon entnehmen, besteht auch unter dem Eulerwert und auch unbeschränkt darüber hinaus *immer nur ein einziger*, ganz bestimmter, endlich großer Wert für die Scheitelausbiegung. Bei *zentrischem* Kraftangriff „$m = 0$" schneidet eine horizontale Gerade „$\frac{L}{i}$ = konstant, jedoch kleiner als 147,6" einzig die Ordinatenachse, so daß ausschließlich die biegungsfreie Gleichgewichtsform möglich ist. Wird „$\frac{L}{i}$" größer als 147,6, so gibt es, wenn von der Erzwingung höherer Knickformen abgesehen wird, zwei Schnittpunkte dieser Horizontalen mit der gesamten Diagrammkurve, so daß neben der gestreckten noch eine *ausgebogene* Gleichgewichtslage besteht. Das Gleichgewichtsproblem ist somit (entgegen den Verhältnissen im rechten Diagramm) unterhalb der kritischen Belastung grundsätzlich *eindeutig* und oberhalb grundsätzlich *mehrdeutig*; im ersten Fall ist der Zustand stabil, da ein positiver Arbeitsaufwand für jede unendlich kleine Ausbiegung erforderlich ist, und zwar können wir ihn „*unbeschränkt stabil*" nennen, da in wachsendem Maße auch zu jeder *endlich* großen gewaltsamen Scheitelausbiegung „y_0" nach dem Graphikon eine *größere* Gleichgewichtsschlankheit gehört, als der Stab tatsächlich besitzt. Mit derselben Überlegung ergibt sich ferner, daß oberhalb des kritischen Zustandes die gestreckte Form labil und die ausgebogene stabil ist. Besitzt der untersuchte Stab die Eulerschlankheit „147,6", die der zugrunde gelegten Druckspannung von 1000 kg/qcm zugehört, so wird unsere Schnittgerade zur *Tangente* und innerhalb der beiden unendlich nahe benachbarten Gleichgewichtsformen besteht ein Indifferentismus.

Gehen wir nunmehr zum *rechten* Diagramm, also zur Gleichgewichtsprüfung bei „elastisch-plastischem" Materialverhalten über und betrachten wir wieder vorerst den Fall eines *exzentrischen* Kraftangriffes, etwa in der doppelten Kernweite; eine horizontale Gerade „$\frac{L}{i}$ = konstant, jedoch kleiner als 65" schneidet die Kurve „$m = 2$" in *zwei* Punkten, so daß *zwei* Gleichgewichtsformen existieren, deren verschieden große Scheitelausbiegungen $(y_0)_{\mathrm{I}}$ und $(y_0)_{\mathrm{II}}$ jeweils dem Diagramm zu entnehmen sind. Die erste, weniger ausgebogene Form ist gemäß dem Arbeitserfordernis für unendlich kleine Störungen stabil, die zweite, stärker ausgebogene, labil. Wir wollen nun wieder *endlich große* störende Ausbiegungen, und zwar Ausbiegungsvergrößerungen, in Rücksicht ziehen und das Ergebnis dieser *baupraktisch* erweiterten Gleichgewichtsprüfung hier durch ein „Anführungszeichen" kennzeichnen; endlich große Ausbiegungs*verkleinerungen*, wie sie beim exzentrischen Druck denkbar wären, wollen wir außer acht lassen, da der dargestellte Kurvenverlauf wegen des Entlastungsgesetzes hiefür nicht allgemein gilt, und weiters müssen wir aus dem gleichen Grunde darauf verzichten, daß gestörte „stabile" Formen *genau* in die störungsfreie Lage zurückfedern. In diesem Sinne ist dann die weniger ausgebogene Gleichgewichtsform bezüglich einer Vergrößerung der Ausbiegung als „*beschränkt stabil*" zu bezeichnen, da der Stab seine ursprüngliche Form nicht mehr anstrebt, wenn die störende Ausbiegung den Wert $(y_0)_{II}$ (es handelt sich hiebei, wie man dem Graphikon entnehmen kann, nur um Bruchteile der Querschnittshöhe) erreicht. Das Verhalten der ersten Form ist somit bei Baustahlstäben an einen kritischen Wert transversaler Störung, an ein „*Stabilitätsmaß*", wie wir es nennen wollen, gebunden; als derartiges „Stabilitätsmaß" vermag die Ausbiegungsvergrößerung $(y_0)_{II} - (y_0)_I$, die nicht überschritten werden darf, oder auch die Arbeitsmenge zu dienen, die zu dieser störenden Verbiegung aufgewendet werden muß und für deren Verlauf der Flächeninhalt des Kurvensegmentes oberhalb der horizontalen Schnittgeraden angenähert ein Bild zu liefern vermag. Die zweite, stärker ausgebogene Gleichgewichtsform ist bezüglich einer Vergrößerung der Ausbiegung im gleichen Sinne „unbeschränkt labil", da zu jedem „$y_0 > (y_0)_{II}$" immer *kleinere* Gleichgewichtsschlankheiten gehören als tatsächlich vorhanden sind, so daß der vorhandene Stab in immer höherem Maße zu schlaff erscheint und seine Ausbiegung *immer rascher* zunehmen muß, bis er biegezugseitig bricht oder eine äußere Stützung findet. Wir können diesen Zustand ständig wachsender Unterlegenheit des inneren Widerstandes gegenüber dem äußeren Angriff etwa mit „*Erschlaffung*" bezeichnen. Da sich das erwähnte „Stabilitätsmaß" unmittelbar auf den Beginn dieses Erschlaffungszustandes bezieht, erhält es seine besondere Bedeutung und stellt *allgemein* einen wichtigen Faktor im baupraktischen Begriff der „Knicksicherheit" eines gedrückten Baustahlstabes vor, um so mehr als die kritischen Ausbiegungsvergrößerungen, wie Sie dem Diagramm entnehmen können, relativ kleine Werte (etwa von der Größe des Trägheitshalbmessers) sind und durch unberücksichtigte Einflüsse (Schwingungen, Nebenspannungen u. a.) zum Teil zur Ausbildung gelangen können.

Wird die Schlankheit des betrachteten Stabes *größer* gewählt, so liegt die horizontale Schnittgerade höher; die beiden Gleichgewichtslagen, die stabile und die labile rücken dann näher aneinander und das sie trennende Stabilitätsmaß wird kleiner. Den *größtmöglichen* Schlankheitsgrad, der überhaupt noch ein Gleichgewicht zuläßt, liefert die horizontale *Tangente* an die Diagrammkurve; hier sind beide Gleichgewichtsformen unendlich nahe benachbart und das sie trennende Stabilitätsmaß ist Null, so daß ein Indifferentismus gegen unendlich kleine Verformung und Einleitung der „Erschlaffung" besteht. Dieser Zustand wird mit Beziehung auf die äußere Erscheinung „*Knickzustand*" des exzentrisch gedrückten Baustahlstabes, die erhaltene Schlankheit die „*Knickschlankheit*" und die zugrundeliegende mittlere Druckspannung von 1000 kg/qcm die „*Knickspannung*" genannt. Bedeutungsvoll erscheint hiebei, daß im Rahmen unseres Beispiels, also bei 1000 kg/qcm mittlerer Druckspannung, in den Fällen „$m < 1$" dieser Knickzustand schon bei Scheitelausbiegungen von weniger als der 0,4fachen Querschnittshöhe erreicht wird, denn zu derartig kleinen Ausbiegungen der Gleichgewichtslage gehören Spannungsbilder, bei denen die größte auftretende *Randpressung noch nicht die Quetschgrenze erreicht.* Man ersieht daraus, daß durch eine exakt nachgewiesene

Unterschreitung der Quetschgrenze im Stabe nicht auch im gleichen Maße diese *Knickgefahr* gebannt sein braucht. Ist die vorhandene Stabschlankheit größer als der kritische Wert, so existiert *überhaupt kein* Gleichgewicht zwischen dem äußeren Angriff und dem inneren Widerstand; der Stab biegt sich unter der Belastung vorerst immer weniger und dann, nach Überschreitung des Kurvenmaximums, immer stärker beschleunigt durch, bis er bricht oder eine äußere Stützung findet (Schleifenformen berücksichtigen wir nicht).

Für den Fall eines rein *zentrischen* Angriffes „$m = 0$“ bestehen ganz analoge Verhältnisse. Unterhalb des kritischen Zustandes gibt es grundsätzlich *mehrere* Gleichgewichtsformen, eine gestreckte und (mindestens) eine ausgebogene mit einer Scheitelausbiegung „$(y_0)_{II}$“. Die gestreckte Form ist im dargelegten erweiterten Sinne „beschränkt stabil“ mit dem Stabilitätsmaß „$(y_0)_{II}$“ (bzw. der erforderlichen Störungsarbeit) und die ausgebogene Gleichgewichtsform ist bezüglich einer Vergrößerung der Ausbiegung wieder „unbeschränkt labil“ und führt auf den Zustand ständiger Unterlegenheit des inneren Widerstandes, auf den „Erschlaffungszustand“. Die allgemeine Bedeutung des „Stabilitätsmaßes“ für die Knicksicherheit eiserner Bauwerkstäbe wurde schon unterstrichen; als Beispiel eines gefährlich erscheinenden Verstoßes gegen diesen Begriff sei etwa die Verwendung systemgedrückter Fachwerkständer als Halbrahmenstiele offener Brücken erwähnt. Oberhalb des kritischen Zustandes existiert hier einzig die labile, gestreckte Lage; einen *ausgebogenen* Gleichgewichtszustand *gibt es nicht.* Der kritische Zustand begrenzt also schlechtweg die Tragfähigkeit und wird durch die EULER-KÁRMÁN-Formel *einwandfrei*[1] erfaßt.

Bei Ausbiegungen innerhalb der vertikalen Geraden „H“ wird im Stab der HOOKEsche Bereich, also die Proportionalitätsgrenze nicht überschritten, würden somit die Verhältnisse des *linken* Diagrammes Geltung besitzen. Wie man aber aus dem Diagramm ersieht, ist dieser Bereich hier auf Scheitelausbiegungen unterhalb der 0,14fachen Querschnittshöhe, d. i. weniger als ein Dreihundertstel der Stablänge beschränkt, so daß der im linken Graphikon ersichtliche Kurvenanstieg nicht einmal mit *ein Tausendstel Prozent* zur Geltung kommen würde. Es ist demnach eine Berücksichtigung des *exakten* analytischen Ausdruckes für die Achsenkrümmung bei Baustahlstäben *nicht erforderlich,* da auch bei den größten praktisch vorkommenden Schlankheitsgraden der Einfluß des Formänderungsgesetzes ganz wesentlich überwiegt. Die Übertragung der „$m = 2$“-Kurve vom rechten in das linke Diagramm würde die kaum merkbare gestrichelte Linie ergeben.

Im rechten Graphikon ist strich-punktiert auch der Verlauf der kritischen Schlankheitswerte als Funktion des Exzentrizitätsmaßes „m“ (hiezu der untere Abszissenmaßstab) aufgetragen und läßt den starken Abfall der „Knickschlankheiten“ bei wachsender Angriffsexzentrizität erkennen. Die reziproken Werte des Anlaufwinkels „λ“ dieser Diagrammkurve vermögen im Rahmen des *zentrischen* Knickproblems als Maße der „Empfindlichkeit bezüglich unvermeidlicher Angriffsexzentrizitäten“ zu dienen und nehmen mit wachsender mittlerer Druckspannung stark zu, um dann im „unelastischen“ Bereiche eine auch empirisch auffallende Größe zu erreichen.

---

[1] Den im Rahmen der Diskussionen von Prof. BROSZKO, Warschau, diesbezüglich vorgebrachten Darlegungen (Compt. rend. d. s. de l'Acad. d. sciences, t. 186, p. 1041) kann ich mich nicht anschließen, da auch bei infinitesimalen Ausbiegungen Verformung, Biegespannung und Moment von der gleichen Größenordnung sind und somit der unveränderliche Modul des Entlastungsgesetzes wie auch das Tangentengesetz auf der Biegedruckseite niemals, *auch im Grenzfall nicht,* durch die Dehnungszahl „σ/ε“, der Grundspannung ersetzbar ist.

Bezüglich einer *näherungsweisen* Berechnung außermittig gedrückter Baustahlstäbe möchte ich noch bemerken, daß der Nachweis effektiver Randpressungen die gewünschten Sicherheitsgrade in befriedigender Annäherung nicht gewährleistet. Meines Erachtens vermag im praktischen Schlankheitsbereich eine Beziehung von der Form $(\sigma_K)_{\text{exz}} = \frac{1}{1 + a \cdot \frac{p}{i}} \cdot (\sigma_K)_{\text{zent}}$ die theoretischen und auch die vorhandenen (Züricher) Versuchsergebnisse zutreffend zu umschreiben; sie ist für den praktischen Gebrauch recht geeignet, da die vorhandenen Knickzahlen des zentrischen Angriffes einfach mit dem Beiwert $\left(1 + a \cdot \frac{p}{i}\right)$ zu multiplizieren sind (hiebei bedeutet „*p*" den Hebelarm des Angriffes, „*i*" den Trägheitshalbmesser in Richtung von „*p*" und für den Beiwert „*a*" kann bei gewöhnlichem Material etwa $^3/_2$ gesetzt werden).

Diskussion

J. Ratzersdorfer, Breslau:

Ich möchte feststellen, daß man nach den Darlegungen von Herrn E. Chwalla das Knicken erst neu definieren müßte. Es ist aber aus leicht zu ersehenden Gründen erforderlich, bei einer Definition unabhängig vom Material des Baustoffes zu sein. Und also dabei zu bleiben, daß der *reelle* Verzweigungspunkt des Gleichgewichtes oder der Beginn der Ausbiegung das Knicken vorstellt und nicht ein Verzweigungspunkt, der komplex ist. Eine „exzentrische Knickung" gibt es dann natürlich nicht.

Dr. E. Chwalla:

Ich bestehe durchaus nicht darauf, das Verhalten eines Baustahlstabes unter seiner kritischen exzentrischen Last als „Knickung" zu bezeichnen; dieses Wort wurde von Krohn, Roš u. a. gebraucht und sollte vor allem die *äußere Erscheinung* kennzeichnen. Zusätzlich liegt hier, wie ich dargelegt habe, im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Hookeschen Idealmaterial tatsächlich ein (durch das eigenartige Formänderungsgesetz des Baustahls bedingtes) *Stabilitätsproblem* vor und überdies gilt auch das analytische Kriterium der unendlich nahe benachbarten Gleichgewichtsformen und des Indifferentismus innerhalb dieser. Vom Standpunkt des *Mathematikers*, der dem Begriff „Knickung" im Rahmen der Elastizitätstheorie seine klar umschriebene Definition gab (der Übergang von Biegefreiheit zur Biegung ist, wie die reine Fachwerksknickung zeigt, nicht grundsätzlich erforderlich), ist es sicherlich gerechtfertigt zu verlangen, das *Wort* „exzentrische Knickung" hier durch ein anderes zu ersetzen; an der Erscheinung selbst, auf die es ja schließlich ankommt, und an den Stabilitätsverhältnissen, wie ich sie geschildert habe, wird damit natürlich nichts geändert.

Oberinspektor Ing. Julius Brummer, Resita:

Neue Methode der Aufstellung hoher Eisenfachwerksäulen und Maste mittels Doppelhebel

Die Aufstellung hoher Eisenfachwerksäulen und Maste, wie sie für Funkstationen, manchmal auch für Seilbahnen und elektrische Hochspannungsleitungen verwendet werden, hat heute, durch die ständig wachsende Anzahl derartiger Anlagen, eine wenn auch bescheidene, immerhin keineswegs zu vernachlässigende