Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 1 (1932)

Artikel: Der Sicherheitsgrad als Bemessungsgrundlage im Stahlbau
Autor: Efstratiadis, D.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-710

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: 28.01.2026

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

DER SICHERHEITSGRAD ALS BEMESSUNGSGRUNDLAGE IM STAHLBAU

LE COEFFICIENT DE SÉCURITÉ COMME BASE DU CALCUL DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

DEGREE OF SECURITY AS A BASIS FOR CALCULATING DIMENSIONS IN STEEL STRUCTURES

Dipl. Ing. D. EFSTRATIADIS,
Chef der Brückenabteilung der Peloponnesbahn, Athen.

A. Nachteile der gewöhnlichen, auf Grund zulässiger Spannungen aufgebauten Methode.

Das Berechnungssystem auf Grund zulässiger Spannungen (unten kurz Z. S.-System genannt), welches in der Praxis für das Berechnen und die Prüfung der Stahlbauten im allgemeinen angewandt wird, enthält bestimmte und wesentliche Nachteile, welche hauptsächlich auf die Verschleierung der wahren Tatsachen, die uns das eigentliche Kriterium der Sicherheit der Konstruktion geben, zurückzuführen sind.

Das natürliche Kriterium der Sicherheit einer Konstruktion ist die genaue Kenntnis des wirklichen Verhältnisses zwischen der kritischen und der auf der Konstruktion wirkenden Belastung, oder, was eigentlich dasselbe ist, zwischen der kritischen und der sich entwickelnden (oder besser errechneten) Spannung, d. h.

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = n \qquad (1)$$

Der Wert des sich aus der Berechnung e r g e b e n d e n Verhältnisses n stellt eine absolute Größe dar und wird als Sicherheitsgrad bezeichnet, da derselbe das Sicherheitsmaß der Konstruktion bestimmt. Er darf nicht unter einem bestimmten Werte ν liegen, der den e r f o r d e r l i c h e n Sicherheitsgrad darstellt, d. h. n immer $\geqq \nu$.

Der Begriff „zulässige Spannung" stellt eben keine absolute Größe dar. Er wird lediglich von einer konventionellen Zahl vertreten, deren Bedeutung wir nicht einschätzen können, wenn wir nicht kennen:

die Art des Materials,
den Belastungsfall,
die Berechnungsweise,
den verwendeten Sicherheitsgrad.

Es ist gewiß wahr, daß die zwei letzteren Einflüsse, die von unserem Willen abhängig sind, als unveränderlich betrachtet werden können, die übrigen zwei aber, und insbesondere der erstere allein genügen, um die Zahl, welche die Spannung angibt, ihres absoluten Sinnes zu berauben und derselben die Ausdrucksmöglichkeit ausschließlich für einen bestimmten Fall zu lassen.

Außerdem gibt es auch einen weiteren wichtigen Nachteil, der durch die Bestimmungsweise der zulässigen Spannungen bedingt wird. Wenn die zulässigen Spannungen streng nach der obigen Auffassung (1) zu bestimmen wären, d. h.

$$\sigma_{zul.} = \frac{\sigma_{kr}}{\nu}$$

würden sie mindestens den Vorteil einer gerechtfertigten Größe haben. Es trifft aber leider auch dies nicht zu. Es werden häufig einfachheitshalber und der Abrundung zuliebe die zulässigen Spannungen a priori und intuitiv, ohne Feststellung der jeweiligen kritischen Spannung und ohne Zugrundelegung des entsprechenden ν bestimmt[1]). Die so festgesetzten Werte der zulässigen Spannungen sind weit entfernt, gerechtfertigte Werte zu sein. Diese willkürliche Bestimmung bringt eine ungleiche Sicherheit bei verschiedenen Belastungsfällen und Materialsorten mit sich und manchmal eine Überschreitung der natürlichen zu rechtfertigenden Grenzen (zum Schaden der Sicherheit) oder umgekehrt (zum Schaden der Wirtschaftlichkeit). Abb. 4 und 5 bringen diesen Mißstand zum Ausdruck.

Folge des Obengesagten ist, daß das Z. S.-System nachstehende Nachteile enthält:

1. Es bringt nicht unmittelbar die Tragfähigkeit einer Konstruktion zum Ausdruck.
2. Es hindert in bestimmten Fällen die vollständige Ausnutzung des Materials.
3. Es bietet die Möglichkeit der Überschreitung des erforderlichen Sicherheitsgrades.
4. Es ermöglicht keinen gerechten Vergleich, insbesondere wenn es sich um die Verwendung verschiedenartigen Materials handelt.
5. Es ermöglicht nicht die Regulierung der Tragfähigkeit in allen Fällen gleichmäßig und nach einem bestimmten Grad.
6. Es ermöglicht nicht die Vorausbestimmung der gewünschten Tragfähigkeit vor der Feststellung der Materialsorte (was bei Ausschreibungen und Wettbewerben der Fall sein kann)[2]).

Wir werden unten versuchen, eine Methode für die Berechnung und die Prüfung der Stahlbauwerke anzugeben, die von den obigen Nachteilen frei ist, ohne daß dadurch die Einfachheit bei der Berechnung beeinträchtigt, sondern eher gefördert wird.

B. Die allgemeinen Grundsätze der vorliegenden Methode.

Die natürlichste Lösung des obigen Problems ist die allgemeine, systematische Einführung des Sicherheitsgrades bei den Berechnungen als ein

---

[1]) Die belgischen Vorschriften von Mai 1926 für die Berechnung eiserner Brücken, die von der Administration des Ponts et Chaussées gebaut werden, bestimmen im allgemeinen für wechselnde Belastung Spannungen, die lediglich um 2 kg pro mm² niedriger sind als die normalen. Die französischen Vorschriften von Mai 1927 dagegen bestimmen keine besondere Spannung für solche Fälle.

[2]) Wegen dieses Nachteils ist es beim internationalen Wettbewerb für die Dreirosenbrücke (in der Schweiz), wo kein bestimmtes Material vorgeschrieben war, nötig geworden, im Lastenhefte nicht bestimmte Werte für die zulässigen Spannungen anzugeben, sondern ihr Verhältnis zu bestimmten gegebenen Materialeigenschaften wie Bruchfestigkeit usw.

Kriterium der Tragfähigkeit der Stahlbauten für alle Belastungsfälle [3]) gemäß dem oben angegebenen Verhältnis.

Durch eine solche Methode hätten wir folgende grundsätzliche Vorteile:

1. Wir würden genötigt sein, die kritischen Spannungen σ_{kr} zu erforschen, ein Umstand, der uns zu einer Genauigkeit führen würde, die von dem Z. S.-System am meisten ignoriert wird.
2. Wir würden eine reine Angabe der Sicherheit (n) haben, gesondert von der Materialsorte, während bei der gewöhnlichen Methode des Z. S.-Systems die Begriffe der Sicherheit und der Tragfähigkeit des Materials unrichtigerweise in einem einzigen zusammengesetzten Begriffe, der zulässigen Spannung, vermischt werden.

Aus diesen Vorteilen ergeben sich noch andere.

Die vorliegende Methode erscheint also grundsätzlich als überaus zufriedenstellend. Wir wollen sehen, wie sie für die Anwendung systematisiert werden kann, indem wir einzeln die Eigenschaften der zwei Begriffe σ_{kr} und ν untersuchen, welche von ihr eingeführt werden.

Kritische Spannungen σ_{kr}.

Die kritischen Spannungen in den verschiedenen Belastungsfällen können natürlich auf Grund der Festigkeitslehre bestimmt werden. Jede Materialsorte wird aber im allgemeinen verschiedene kritische Spannungen haben. Alle diese Spannungen werden wir nicht festzustellen suchen. Dies wäre übertrieben und unvorteilhaft, denn in einem solchen Falle würde die Feststellung notwendigerweise bestimmte Materialsorten betreffen, während wir eine allgemeine Geltung der Methode fordern. Wir wollen nämlich die Anwendung der Methode auf alle Materialsorten erstrecken. Wir fordern dies, weil dann vollständigere Ausnutzung des Materials erzielt werden kann. Anstatt also die unmittelbare Feststellung der Werte der kritischen Spannungen vorzunehmen (was nur in außergewöhnlichen Fällen vielleicht gerechtfertigt wäre), werden wir vorziehen, ein Gesetz allgemeiner Gültigkeit aufzustellen, das die kritischen Spannungen auf Grund bestimmter, bekannter Merkmale des Materials (möglichst weniger) und einiger konstanten (den gleichen für alle Materialsorten) festsetzt. Der gegenwärtige Stand der Festigkeitslehre bietet uns die Möglichkeit, diese sehr bedeutende Vereinfachung anzuwenden und zwar mit befriedigender Genauigkeit.

Auf diese Weise bildet die Bestimmung von σ_{kr} für irgendwelche Materialsorten eine einfache Rechnungsfrage, die sich auf sehr wenige experimentell bestätigte Größen stützt. Bei genormten Materialsorten insbesondere kann diese einfache Arbeit ein für allemal ausgeführt werden. Ausführliche Aufstellung und Begründung des besagten Gesetzes erfolgt im nächsten Kapitel.

Sicherheitsgrad ν.

Wie wir schon gesehen haben, Grundlage der in Rede stehenden Methode ist der Vergleich des errechneten Sicherheitsgrades n mit dem erforderlichen ν. Es wäre eine außerordentliche Einfachheit für die Methode,

---

[3]) Ein allgemeiner Hinweis auf eine solche Methode ist bereits vom Verfasser in seiner in griechischer Sprache erschienenen Abhandlung „Über die Art der genauen Schätzung der Tragfähigkeit alter Eisenkonstruktionen und der Prüfung ihrer Sicherheit". Athen 1929. gegeben worden.

wenn ν stets konstant sein könnte. Kann dies aber der Fall sein? Der Sicherheitsgrad, wenn er auch eine a priori festzusetzende und folglich mehr oder weniger willkürliche Größe ist, kann nicht von bestimmten Bedingungen, welche von seinem Zwecke selbst herrühren, frei werden. Sein Zweck, wie gesagt, ist, die auf die Konstruktion wirkende Belastung in einem solchen Verhältnis unter dem kritischen zu halten, so daß immer ein ausreichender Überschuß verbleibt zur Deckung

1. von Einflüssen, die der Berechnung entgehen und welche die tatsächliche Beanspruchung über die errechneten Werte erhöhen können;
2. von eventueller Herabsetzung der Tragfähigkeit der Konstruktion (oder deren Elemente) wegen unbekannter und unmeßbarer Fehler und Mängel in der Ausführung oder in dem Werkstoff.

Keine der obigen Fragen steht zur Tragfähigkeit des Materials in Beziehung (die unbekannten und unmeßbaren Mängel des Werkstoffes können bei allen Materialsorten vorkommen). Es besteht also kein Grund, daß der Sicherheitsgrad bei der einen oder anderen Materialsorte sich ändert.

Das kommt aber nicht vor bei den verschiedenen Belastungsfällen, bei denen die Ungewißheit in der Berechnung oft größer ist, als bei anderen (z. B. bei Knickung). Solange also der Sicherheitsgrad im Voraus bestimmt ist (wobei er auch die Unvollkommenheiten und Ungenauigkeiten der angewandten Berechnungsweise zu decken hat), ist es unvermeidlich, daß die für jede Konstruktion entsprechende normale Größe erhöht wird, wo der Belastungsfall ein solcher ist, daß der Verdacht des Vorkommens ähnlicher Unvollkommenheiten und Ungenauigkeiten entsteht. Da auch diese erhöhte Größe des erforderlichen Sicherheitsgrades aus Kontinuitätsgründen nicht auf einmal gegeben werden darf, werden wir noch dazu eine zwischenliegende Gruppe von Belastungsfällen haben, in welcher die Größe von ν von dem Grundwerte ν_0 bis zu dem erhöhten Wert steigen wird.

Das Ergebnis ist, daß der errechnete Sicherheitsgrad n nicht immer mit einer konstanten, sondern in bestimmten Fällen mit einer veränderlichen Zahl zu vergleichen sein wird.

Es ist klar, daß unter diesen Bedingungen die Methode wegen der beim Vergleich und der Einschätzung der Tragfähigkeit eintretenden Verwirrung einen ihrer hauptsächlichsten Vorteile verlieren würde.

Diese Gefahr kann aber praktisch vollständig ausgeschaltet werden und zwar wie folgt:

Wir lösen den wirklich erforderlichen (veränderlichen) Sicherheitsgrad ν in zwei Faktoren auf, von denen der eine konstant und gleich dem Grundwerte ν_0 des Sicherheitsgrades, und der zweite ψ veränderlich ist und dazu dient, die Erhöhung des ersteren auf einen jedem besonderen Fall entsprechenden Wert zu verwirklichen, d. h.

$$\nu = \nu_0 \cdot \psi.$$

Anstatt den errechneten Sicherheitsgrad n (das Verhältnis der Spannungen) mit dem wirklich erforderlichen (veränderlichen) Sicherheitsgrad zu vergleichen, d. h. anstatt

$$\left(n = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma}\right) \geqq (\nu = \nu_0 \cdot \psi)$$

zu setzen, dividiert man vorher dieses Verhältnis durch den entsprechenden Wert von ψ, und vergleicht nachher nicht mehr mit dem wirklich erforder-

lichen (veränderlichen) Wert des Sicherheitsgrades ν, sondern mit seinem Grundwerte ν_0, d. h.

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma \cdot \psi} \geqq \nu_0$$

Auf diese Weise vermeidet man das stets unangenehme Vergleichen mit einer veränderlichen Zahl, und die Einfachheit der Methode bleibt bestehen. Das unmittelbare Erscheinen des wirklichen Wertes des Sicherheitsgrades bei den Berechnungen muß zwar geopfert werden, aber — und das ist sehr wichtig — das Verhältnis der errechneten Sicherheit zu der erforderlichen bleibt unvermindert bestehen. Es ist nicht zu vergessen, daß gerade dies unsern Hauptzweck in der Prüfung bildet. Wir interessieren uns mit anderen Worten hauptsächlich nicht für die absolute Größe der jeweils erreichten Sicherheit, sondern für das Verhältnis zwischen dem errechneten und dem erforderlichen Sicherheitsgrade. Und dieses Verhältnis gibt uns unveränderlich und tatsächlich die obige zur Vereinfachung dienende Abänderung. Es muß außerdem bemerkt werden, daß diese Abweichung von der einmal bestimmten Hauptrichtung der Methode eine vorübergehende Unregelmäßigkeit — dem Mechanismus der Methode fremd — darstellt. Wir sind genötigt, sie zu dulden, solange die erwähnten Gründe, die sie aufdrängen, bestehen. Wenn dieser Grund wegfällt, so wird die Methode ihren absoluten Charakter auch in diesem Falle wiederfinden.

Im praktischen Gebrauch bietet die nach dieser Art modifizierte Methode keine Verwicklung. Es genügt, in den Berechnungen statt der kritischen Spannungen σ_{kr} das Verhältnis

$$\frac{\sigma_{kr}}{\psi} = \sigma_\nu$$

einzuführen, d. h. eine reduzierte Spannung, welche man Vergleichsspannung nennen kann.

Wir können noch hinzufügen, daß die Art der Schwankung von ψ (selbstverständlich unabhängig von Materialsorten, da auch ν unabhängig davon ist) eine allgemeine Gültigkeit hat, sodaß die Werte von ψ, einmal bestimmt, in allen Fällen Anwendung finden können. Die ausführliche Aufstellung und Begründung der Feststellung der Werte von ψ, sowie auch des Sicherheitsgrades im allgemeinen, sind im übernächsten Kapitel angegeben.

Kontinuierliches System zur Darstellung der verschiedenen Belastungsfälle.

Die Beobachtung der Änderungen der kritischen Spannungen und des Sicherheitsgrades in den verschiedenen Belastungsfällen wird wesentlich erleichtert, wenn es gelingt, dieselben so in Gruppen einzuteilen, daß jede Gruppe (einzeln genommen, sowie in Verbindung mit den anderen) ein kontinuierliches System bildet. In diesem Falle muß die Änderung der Werte der obigen Größen in einer solchen Gruppe ebenfalls kontinuierlich sein und die Untersuchung der Gesetze der Änderung derselben wird wesentlich vereinfacht. Damit man dies aber erreicht, muß man unbedingt die Belastungsfälle (von welchen die kritischen Spannungen und die Sicherheitsgrade abhängen) in solche Gruppen einordnen.

Zu diesem Zwecke stellen wir uns das nachstehend erläuterte System zusammen, indem wir nicht danach streben, eine Lösung zu finden, die auf

theoretische Vollendung Anspruch hat, sondern nur eine Übersicht der Abhängigkeit der Belastungsfälle, die am meisten den Stahlbau interessieren, erzielen wollen.

Auf einer horizontalen Grundebene wollen wir uns verschiedene senkrechte Ebenen vorstellen, von denen jede einer Gruppe von Fällen (Belastungen oder Anstrengungen) entspricht, wie nachstehend bestimmt wird (Abb. 1).

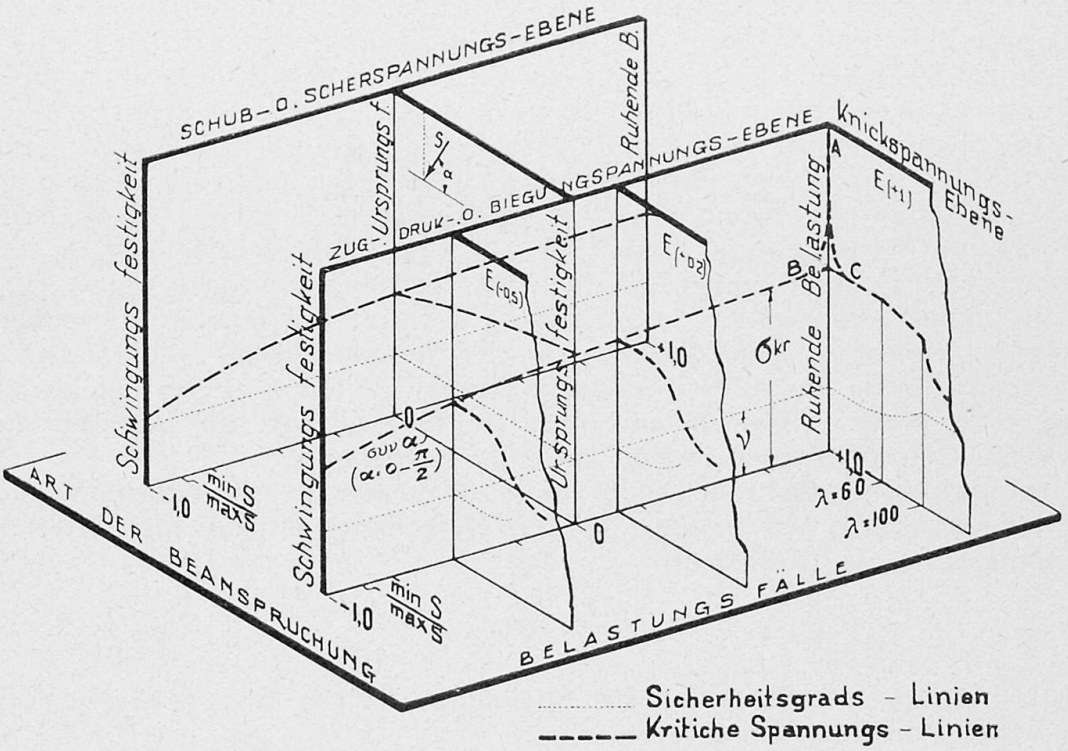

Fig. 1.
Schematische Darstellung der Kontinuität der verschiedenen Belastungsfälle.
Représentation schématique de la continuité des différents cas de charge.
Diagrammatic Representation of the Continuity of the various cases of Loading.

Für jede Hauptspannungskategorie (normale Spannungen, Scherspannungen) wird eine besondere parallele Ebene nötig sein (Abb. 1), die sich mit jeder anderen in der nachstehend angeführten Weise verbinden läßt. Lassen wir uns das Diagramm in der Ebene für die normalen Spannungen ausarbeiten, das natürlich für Zug-, Druck- und Biegungsspannungen gilt (Abb. 2).

Wir behandeln die Belastungsfälle, welche wir nach dem Verhältnis

$$\frac{\min S}{\max S} \quad \left(\text{oder } \frac{\min M}{\max M}\right)$$

unterscheiden (wobei die S und M als absolute Werte angenommen werden sollen) und zwar positiv oder negativ, soweit es sich um eine wechselnde Belastung im gleichen Sinne oder im entgegengesetzten Sinne handelt.

Die Abänderung dieses Verhältnisses von -1 (Schwingungsfestigkeit) zu 0 (Ursprungsfestigkeit) und ferner in $+1$ (ruhende Belastung) umfaßt

jeden möglichen Belastungsfall. Der rechte Teil des Diagramms (Knickspannungen) muß als ein Diagramm betrachtet werden, das auf einer zur Diagrammebene senkrechten Ebene E_{+1} liegt (Abb. 1) und die Knickung im Falle rein ruhender Belastung $\left(\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S} = +1\right)$ umfaßt. Solche quer liegende parallele Ebenen können in unendlicher Zahl gedacht werden und zwar je eine für jeden Wert des Verhältnisses $\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S}$ (z. B. $E_{+0\cdot2}$, $E_{-0\cdot5}$ u. s. w.). Sie beziehen sich alle auch auf Knickung bei den verschiedenen Arten der wechselnden Belastung. Solche Fälle sind noch nicht untersucht worden. Sie können aber, wenn sie in Zukunft untersucht werden, hier ihren Platz finden.

Parallel und hinter der Ebene der normalen Spannungen können wir uns in einer mit $+1$ bezeichneten Entfernung ein anderes ähnliches Diagramm für Schubspannungen vorstellen (Abb. 1). Auch hier sind keine genügenden Untersuchungen gemacht worden, um dieses Diagramm zu ergänzen (wechselnde Belastung u. s. w.). Es hat also auch erst in Zukunft seine Ergänzung zu erwarten. Der Raum zwischen diesen beiden Ebenen könnte vielleicht anderen, zwischenliegenden parallelen Diagrammebenen Platz geben, die einer Belastung von einer unter dem Winkel α angreifenden Kraft (α von 0 bis $\frac{\pi}{2}$ schwankend) entsprechen, sodaß die Kraft gleichzeitig Normal- und Schubspannungen erzeugt, deren äußerste Werte sich in den Diagrammen der äußersten Ebenen befinden werden (größte Normalspannung für $\cos\alpha = 0$ und größte Schubspannungen für $\cos\alpha = 1$).

Durch einen analogen Gedankengang können wir uns aus der Normalspannungsebene hervorgehend z. B. auch Leibungsdruckspannungsebenen vorstellen und zwar in verschiedenen, dem Verhältnis $\frac{1}{R}$ (von 0 bis ∞ schwankend) entsprechenden Entfernungen. Durch die Verbindung der in jeder Ebene bestimmten Werte der kritischen Spannungen bezw. des Sicherheitsgrades bilden sich zwei kontinuierliche Flächen, welche unsere Gedanken allgemein zur Schätzung der Art der Änderung beider Größen (σ_{kr}, ν) bei verschiedenen Belastungsfällen leiten können (Abb. 1).

C. Bestimmung der kritischen Spannungen.

Als kritische Spannungen werden wir hier solche Grenzwerte von Spannungen betrachten, deren Überschreitung in jedem Belastungsfall den Bruch verursacht. Darüber besteht im allgemeinen kein Streit. Ausnahmsweise ist es, soweit es sich um rein ruhende Belastung handelt, üblich geworden, als kritische Spannung nicht die Bruchspannung, sondern die Spannung an der Fließgrenze zu betrachten. Das ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß fast nie in der Praxis ein Fall rein ruhender Belastung vorkommt. Außerdem sind es auch andere Gründe, die auf die Elastizitätseigenschaften des Stahles sich beziehen, welche nach der heutigen Auffassung auch in diesen seltenen Fällen für die Beschränkung der Spannungen unter eine bestimmte Grenze sprechen.

Wir wollen jetzt einzeln jeden Bereich des Diagramms (Abb. 2) untersuchen.

1. Wechselnde Belastung in entgegengesetztem Sinne.

In diesem Bereiche befindet sich bekanntlich die kritische Spannung in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S}$ und vermindert sich von der Ursprungsfestigkeit bis zur Schwingungsfestigkeit. Die Ursprungsfestigkeit wird im allgemeinen als in Nähe der Fließgrenze liegend anerkannt [4]), was auch experimentell nachgewiesen worden ist. Es ist aber nicht gelungen, ein absolutes und festes Verhältnis für jede Materialsorte zu finden, das die Schwingungsfestigkeit mit irgend einer andern Festigkeitseigenschaft des Materials verbinden würde. Manche Forscher äußern sich ablehnend über das Bestehen eines solchen festen Verhältnisses.

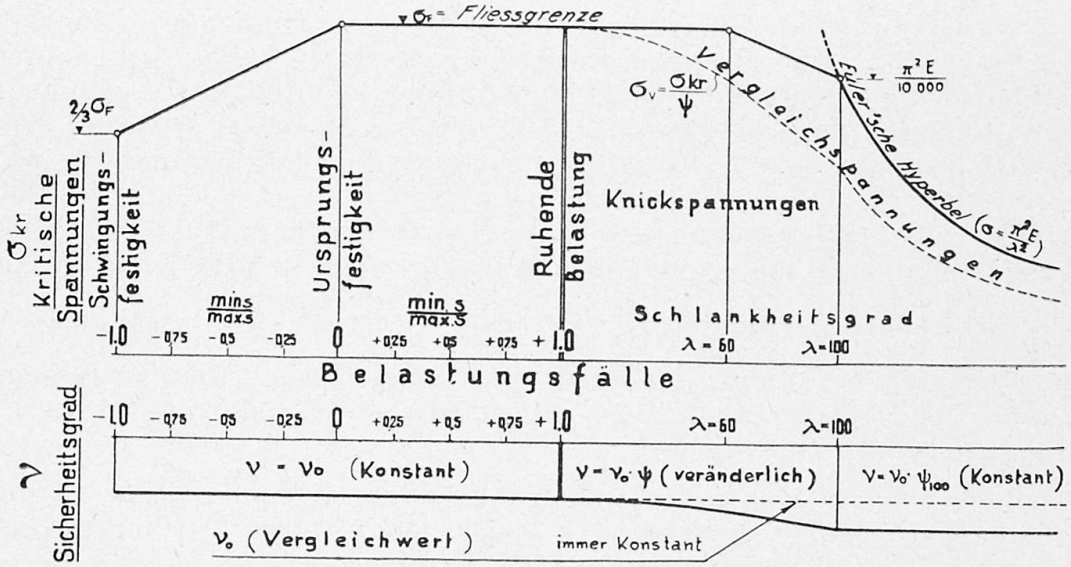

Fig. 2.

Typisches Diagramm der drei Größen E, σ_F, ν. Veränderung der kritschen Spannungen und des Sicherheitsgrades in verschiedenen Belastungsfällen.

Diagramme caractéristiques des trois grandeurs E, σ_F, ν. Variabilité des efforts critiques et des coefficients de sureté suivant les différents cas.

Typical Diagram of the three Properties E, σ_F, ν. Alteration in the Critical Stresses and in the Degree of Safety for various cases of Loading.

Bei solchen Zweifeln ist das Richtigste, bei der Abnahme des Materials auch die Schwingungsfestigkeit zu bestimmen. Da dies aber nicht einfach ist und die schnelle Weiterführung der Arbeit in gewöhnlichen Fällen gehindert wird, könnte man auch die folgende einfache und praktische Lösung befürworten.

Wenn auch das Bestehen eines für alle Materialsorten konstanten Verhältnisses bezweifelt wird, so kann doch nicht das Vorhandensein eines Verhältnisses abgelehnt werden, das in engerem Rahmen gilt, d. h. für Baustähle, die uns ja hier interessieren.

Wenn wir so auf die von MEMMLER und LAUTE, LUDWIK, GRAF [5]) ge-

[4]) SCHAPER, Eiserne Brücken, V. Aufl., S. 66. — F. BLEICH, Theorie und Berechnung der eisernen Brücken. Berlin 1924, S. 86.

[5]) M. MEMMLER & K. LAUTE, Dauerversuche an der Hochfrequenz-Zug-Druck-Maschine (Forschungsarbeiten des V. D. I., Heft 329), Berlin 1930. — P. LUDWIK, Ermüdung (Erste Mitteilungen des N. I. V. M.), Zürich 1930. — O. GRAF, Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Berlin 1929, S. 18 bis 21.

gebenen Werte Bezug nehmen, werden wir sehen, daß das Verhältnis für die Baustahlgruppe nicht in übertriebener Vielfältigkeit erscheint. Die einfache Auffassung, daß die Schwingungsfestigkeit rund bei $^2/_3$ der Fließgrenze liegt, kann nicht absolut verworfen werden. Im Gegenteil hat GRAF [6]) kürzlich erwähnt, daß die neueren Versuche eine kleinere Abstufung zulassen und daß, nach der sicheren Seite abgerundet, ein allgemeines Verhältnis zwischen Schwingungsfestigkeit und Ursprungsfestigkeit das Verhältnis 0.5 : 0.8 sein kann.

Eine offizielle Anerkennung dieser Auffassung in der Praxis finden wir in den Deutschen Vorschriften [7]), wo die zul. Spannung bei wechselnder Belastung nach der Formel

$$\sigma_{zul} \geqq \frac{\max S + 0.3 \min S}{F'}$$

bestimmt wird, d. h. die wirkliche Spannung sich nach der Formel

$$\sigma = \frac{\max S}{F} = \frac{\sigma_{zul}}{1 + 0.3 \frac{\min S}{\max S}}$$

mindert, und im Falle gleicher Schwingungen nach zwei Richtungen $\left(\frac{\min. S}{\max. S} = -1\right)$ die wirkliche Spannung

$$\sigma_{-1} = \frac{\sigma_{zul}}{1 + 0.3}$$

ist. Diese Spannung befindet sich für St. 37 bei 1077 kg/cm². Wenn wir also annehmen wollen, daß mindestens der gleiche Sicherheitsgrad beibehalten wird, der für die Ursprungsfestigkeit gilt und welcher nach denselben Vorschriften $\frac{2400}{1400} = 1.71$ ist, kommen wir zu einer Annahme der kritischen Spannung bei Schwingungsfestigkeit von $1077 \times 1.71 = 1842$ kg/cm² (was größer als $^2/_3\, \sigma_F = 1600$ ist). Für St. 52 nehmen die Deutschen Vorschriften [8]) entsprechend genau $\frac{2}{3}\sigma_F = 2400$ an $\left(\frac{2400}{1.71} = 1400\right)$. Die belgischen und insbesondere die französischen Bestimmungen lassen in solchen Fällen für den gewöhnlichen Flußstahl relativ noch größere Spannungen zu (Abb. 5). Wenn wir also als Schwingungsfestigkeit $^2/_3$ der Fließgrenze annehmen, sind wir wissenschaftlich genügend gedeckt und praktisch den gegenwärtigen Bedingungen angepaßt.

Es bleibt nun noch die Frage der Art der Änderungen der kritischen Spannungen im Verhältnis von $\frac{\min. S}{\max. S}$ offen. Es stehen uns auch in diesem Falle keine anderen Mittel zur Verfügung als die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen. Wir greifen auf die Ergebnisse der Forschungen

---

[6]) O. GRAF, Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Berlin 1929, S. 21.

[7]) D. R. G. Vorschriften für Eisenbauwerke. Berechnungsgrundlage für eiserne Eisenbahnbrücken 1925.

[8]) D. R. G. Vorläufige Vorschriften für die Lieferung von Stahlbauwerken aus Baustahl St. 52, Ausgabe 1930.

von SMITH und MOORE, die von GRAF [9]) erwähnt werden, zurück. Wenn diese Ergebnisse in einem Diagramm nach dem Verhältnis von $\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S}$ eingeordnet werden, stellen wir fest (Abb. 3), daß wir einfachheitshalber mit ziemlicher Genauigkeit den Verlauf der kritischen Spannung von der Ursprungsfestigkeit bis zur Schwingungsfestigkeit als Geraden, die an der Fließgrenze σ_F beginnt (Ursprungsfestigkeit) und bei $\frac{2}{3}\,\sigma_F$ (Schwingungsfestigkeit) endet, annehmen können (Abb. 3).

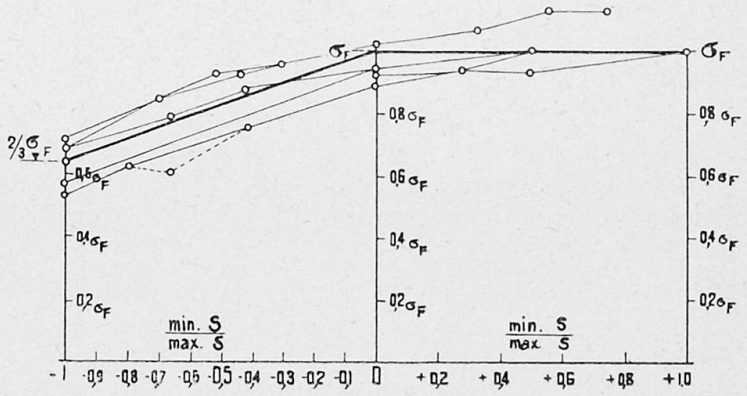

Fig. 3.

Abhängigkeit der Arbeitsfestigkeit (ausgedrückt in Prozentsätzen der Fließgrenze) mit Bezug auf das Verhältnis $\frac{\min S}{\max S}$.

Relation entre la résistance effective (exprimée en % de la limite d'écoulement) et le rapport $\frac{\min S}{\max S}$.

Dependence of the Strength for Variable Load (— P to + P) expressed as a Percentage of the Yield Point, on the Relationshig $\frac{\min S}{\max S}$.

2. Wechselnde Belastungen im gleichen Sinne.

Die kritische Spannung in diesem Bereiche verbleibt unter der Fließgrenze für alle Verhältnisse $\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S}$ (von 0 bis + 1). Nur in einem sehr engen Bereiche unmittelbar bei der ruhenden Belastung $\left(\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S} = +1\right)$, den wir als Bereich der kleinsten Schwankungen bezeichnen können, ist eine Steigerung der Arbeitsfestigkeit über die Fließgrenze festzustellen, was natürlich ist, da im äußersten Falle $\left(\frac{\text{min. } S}{\text{max. } S} = +1\right)$ die Arbeitsfestigkeit den Wert der Bruchspannung erhalten soll, und da auch der Übergang für die kritische Spannung kontinuierlich sein muß, wie er es für die Belastung ist. Diese außerordentliche Steigerung der kritischen Spannung, die wir auf der Abbildung 1 mit punktierten Linien kennzeichnen, wird nicht berücksichtigt und zwar sowohl wegen der Enge dieses Bereiches als auch weil sie die Einfachheit der Linie der kritischen Spannungen ohne jedes praktische Ergebnis beeinträchtigen würde, solange als kritische Spannung für die rein ruhende Belastung im allgemeinen auch die Fließgrenze angenommen zu werden pflegt.

[9]) O. GRAF, wie oben, unter No. 5), Seite 18 19, 21.

3. Knickung.

Die Knickung ist bekanntlich bis jetzt lediglich mit Bezug auf ruhende Belastung erforscht worden[10]). Bei wechselnder Belastung ist natürlich zu erwarten (mit Ausnahme vielleicht des engeren Bereiches AB, Abb. 1), daß, wenn nicht der ganze Zweig der kritischen Knickspannungen, so mindestens der Teil AC des Zweigs (der kleinen Werten des Schlankheitsgrads entspricht) seine Lage ändern und mehr und mehr zur Linie an der Fließgrenze herabsteigen wird, denn er wird aus Kontinuitätsgründen bei der Linie AB beginnen ($\lambda = 0$).

Da also sofort nach dem Bereiche der kleinen Schwankungen die kritische Spannung von der Fließgrenze beginnen muß, können wir einfachheitshalber auch in diesem Bereiche wegen der Enge des Bereiches und weil in demselben sehr selten Fälle von Knickbelastungen vorkommen, als kritische Knickspannungslinie für die Fälle der kleinen Werte von λ die an der Fließgrenze horizontale Linie annehmen.

Diese Vereinfachung kommt auch hier der Sicherheit zugute und läßt sich mit der oben erwähnten Annahme bei der reinen ruhenden Belastung vereinbaren.

Für große Werte des Schlankheitsgrads wird die Linie der kritischen Knickspannungen nach der allgemeinen Erkenntnis durch die EULER'sche Hyperbel gegeben.

Es bleibt die Art der Verbindung der beiden Teile der Knickspannungslinie zu bestimmen. Die TETMAJER'sche Gerade, experimentell bestätigt, bietet uns die Lösung (Abb. 5). Neuere theoretische und experimentelle Untersuchungen von ROŠ und BRUNNER[11]) geben für diesen Zwischenteil keine wesentlichen Unterschiede. Eine andere auch einfache Art ist die von den Deutschen Vorschriften angegebene[12]). Man könnte vielleicht hierzu bemerken, daß diese Vorschriften, welche als Ausgangspunkt der Geraden für alle Stahlsorten dieselbe Stelle ($\lambda = 100$) festsetzen, einen Verlust zulassen, während sich der Wert tatsächlich in der Nähe der Elastizitätsgrenze befindet.

Die Österreichischen[13]) Vorschriften und die der Tschechoslovakischen Republik[14]) geben verschiedene Ausgangspunkte, was theoretisch und auch experimentell gerechtfertigt ist. Dies würde aber — soweit es sich um nicht genormte Materialien handelt — die Frage der geeignetsten Anpassung aufwerfen. Wie sich aus Abb. 5 ergibt, haben diese Unterschiede keine praktisch wesentliche Bedeutung.

Infolgedessen können wir zur Aufstellung einer einheitlichen Regel für alle Materialsorten annehmen, wie dies die Deutschen Vorschriften tun, daß alle Geraden von dem gleichen Punkte ($\lambda = 100$) ausgehen und die Horizontale an der Fließgrenze im Punkt $\lambda = 60$ treffen.

4. Abscherung.

Systematische Forschungen zur Bestimmung der Werte der kritischen Scherspannungen in allen Belastungsfällen sind nicht vorhanden.

---

[10]) Knickversuche unter dem Einfluß wiederholter Belastungen (Ermüdung) sind nach Bericht von Prof. ROŠ (Zürich) in Vorbereitung (II. Internat. Tagung für Brückenbau und Hochbau. Wien 1928).

[11]) T. K. V. B. S. Die Knicksicherheit von an beiden Enden gelenkig gelagerten Stäben aus Konstruktionsstahl. Zürich 1926.

[12]) Wie oben unter 7) und 8).

[13]) ÖENORM B-1002. Gedrückte Tragwerksteile, Ausgabe 1930.

[14]) ČSN 1051 (1929). Vorschriften für Eisenkonstruktionen im Hochbau. Prag.

Es ist deshalb nicht möglich, auch für diese ein Gesetz ihrer Änderungen aufzustellen, wie es bei den normalen Spannungen der Fall war, und ein ähnliches Diagramm auszuarbeiten, das in die vorliegende Methode eingeführt werden könnte.

Die Frage der bei Wechselbelastung bestehenden Festigkeit der Nietverbindungen ist erst zuletzt gestellt worden. Man erwartet mit Interesse die Ergebnisse von Experimenten, die bekanntlich in Stuttgart von dem Deutschen Stahlbauverband und der Deutschen Reichsbahn unternommen werden [15]). In Erwartung des Ausgangs derselben werden wir uns damit begnügen, zur Berechnung der Scherspannungen als kritische Scherspannung die kritische Normalspannung anzunehmen, die durch einen Koeffizienten vermindert wird, d. h. $\tau_{kr} = a \cdot \sigma_{kr}$, wobei a den gewöhnlich im Z. S.-System eingeführten Wert hat ($a = 0.70 - 0.80$) [16]).

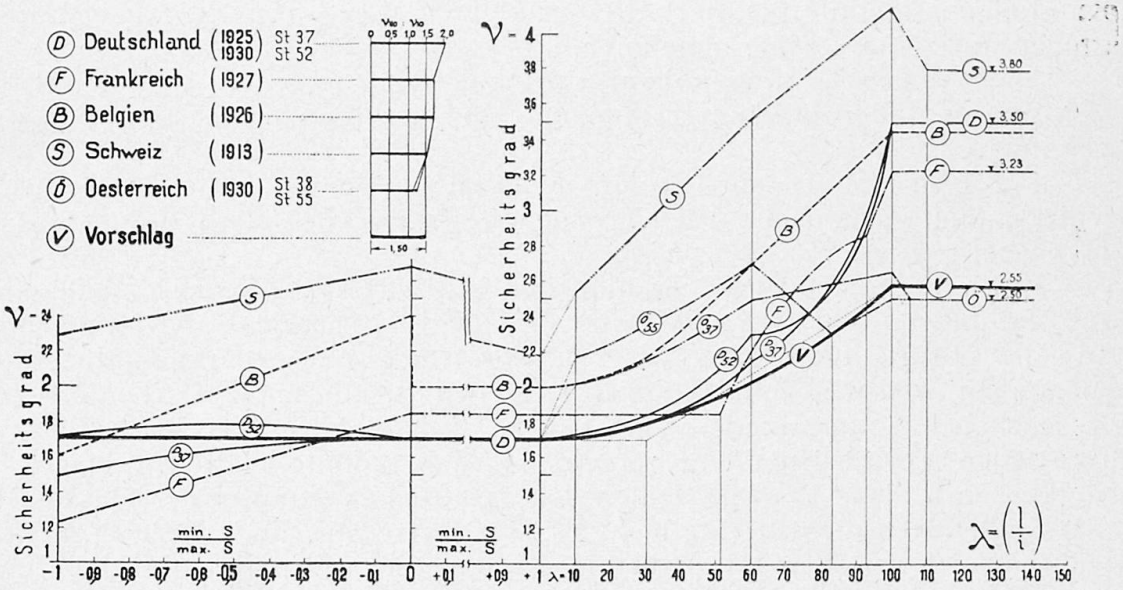

Fig. 4.

Sicherheitsgradslinien. Die Werte ergeben sich aus dem Vergleich der nach den verschiedenen Vorschriften bestimmten zulässigen Spannungen, mit den als kritisch anerkannten Spannungen.

Courbes du coefficient de sécurité. Ces valeurs résultent de la comparaison entre les efforts admissibles déterminés d'après les différentes prescriptions et les efforts reconnus comme critiques.

Lines of Safety. The values are obtained by comparing the permissible stresses determined according to the various Regulations with the stresses recognised as critical.

5. Lochleibungsdruck.

Auch in diesem Falle ist das einzig anerkannte Element, das die Berechnung beeinflußt, der Koeffizient d des Verhältnisses dieser Spannung zu der gewöhnlich zulässigen Normalspannung, welche gewöhnlich mit dem Werte 2.0 — 2.50 angenommen wird. Die Richtigkeit der Annahme des Wertes dieses Koeffizienten wird noch erörtert [17]), obschon er bei wieder-

[15]) Prof. H. Kayser, Versuche über die Abscher- und Lochleibungsfestigkeit von Nietverbindungen. Der Stahlbau 1931, Heft 8.

[16]) Berichte von Gallik, Frölich usw. an der II. Internat. Tagung für Brücken- und Hochbau. Wien 1928.

[17]) Berichte von Findeisen, Gallik, Dörnen, Frölich, Weidmann und Prof. Gehler an der II. Internat. Tagung für Brückenbau und Hochbau. Wien 1928.

holten ernsten Forschungen nicht abgelehnt worden ist. Die Größe dieses Wertes jedenfalls interessiert nicht für die Anwendung der vorliegenden Methode. Wir können also auch bei Lochleibungsdruck mit diesem Koeffizienten d rechnen, d. h. $\sigma_{kr}^{l} = d \cdot \sigma_{kr}$, bis die künftigen Forschungen uns mehr Unterlagen für gründlichere Berechnung geben.

6. Schlußfolgerung.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß zur Bildung des allgemeinen Diagramms der kritischen Spannungen (richtiger der normalen Spannungen) für jedes Material wir nur zwei charakteristische Merkmale

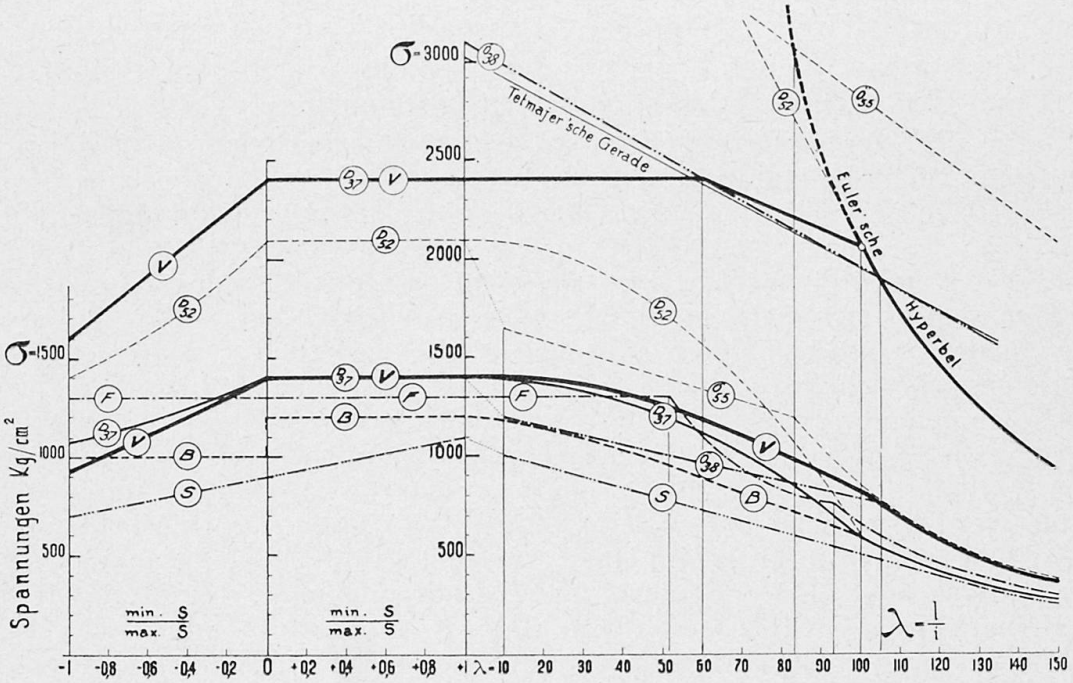

Fig. 5.

Zulässige Spannungslinien in allen Belastungsfällen nach verschiedenen geltenden Vorschriften (für den gewöhnlichen Baustahl und einige hochwertige Baustähle).

Efforts admissibles pour tous les cas de charge d'après les différentes prescriptions en vigueur (pour l'acier de construction de qualité courante et pour quelques aciers à haute résistance).

Lines of Permissible Stresses for all cases of Loading according to Various Regulations in Force. (For ordinary structural steel and a few kinds of high-grade structural steels.)

des Materials benötigen, d. h. E und σ_F, was uns mit Genauigkeit eine einfache und leichte Bestimmung der kritischen Spannungen für jeden Fall sichert. Es erübrigt sich, zu erwähnen, daß die Ersetzung der so bestimmten kritischen Spannungen durch andere (natürlich ebenso oder noch mehr gerechtfertigte) den Mechanismus, sowie die Vorteile der Methode keineswegs beeinflußt. Wir können also statt der oben bestimmten einfachen Art eine noch genauere Festsetzung der kritischen Spannungen, den einzelnen Fällen entsprechend, anwenden. Die Möglichkeit ist immer vorhanden, daß die Bestimmung der kritischen Spannungen sich ändert, um den Fortschritten in der Festigkeitslehre folgen zu können, sodaß in jedem Moment die als kritisch bestimmten Spannungen die tatsächlich bestehende Überzeugung über die Lage ihrer Grenzwerte vertreten.

D. Die Bestimmung der Werte des Sicherheitsgrades.

Der Belastungsfall, in welchem besonders der Verdacht der Unzulänglichkeit und Ungewißheit der Berechnungen akut wird, ist bekanntlich der Fall der Knickung. In jedem anderen Belastungsfall dagegen besteht kein Grund zur Erhöhung des Wertes des Sicherheitsgrades. Wir nehmen also bei einer und derselben Konstruktion als Grundwert des Sicherheitsgrades für alle Belastungsfälle (mit Ausnahme der Knickung) den Wert ν_0 an, und werden die Art der Erhöhung desselben, wo es nötig ist, bestimmen. Es ist zu bemerken, daß, soweit die Knickung für die kleinen Werte des Schlankheitsgrades λ in reinen Druck ausartet (für welchen der Sicherheitsgrad, wie gesagt, ν_0 sein soll), auch der Sicherheitsgrad aus Kontinuitätsgründen nach dem Grundwert streben muß, den er im Falle $\lambda = 0$ erreichen soll.

Wir wollen jetzt das Verhältnis der Erhöhung von ν über seinen Grundwert und das Änderungsgesetz derselben bestimmen.

Zur allgemeinen Orientierung stellen wir auf dem Diagramm Abb. 4 verschiedene Sicherheitsgrad-Linien dar, welche aus dem Vergleich der in den verschiedenen Vorschriften vorgeschriebenen zulässigen Spannungen (Abb. 5) und den kritischen Spannungen (die nach dem oben Gesagten bestimmt werden) abgeleitet werden. Es muß in diesem Zusammenhange betont werden, daß es sich nicht um einen strengen Vergleich der wirklichen Größen der Sicherheitsgrade handelt, für welche die nach den verschiedenen Vorschriften abweichenden Berechnungsweisen berücksichtigt werden müssen. Ein solch genauer Vergleich könnte schwerlich in einem Diagramm abgebildet werden, und zwar wegen der mehrfachen Abhängigkeiten. Er könnte übrigens zum Teil aus entsprechenden darstellerischen Vergleichsdiagrammen abgeleitet werden, welche von Chefingenieur A. Pilder veröffentlicht worden sind[18]) Wir haben uns hier auf einen einfachen Vergleich beschränkt, wodurch wir hauptsächlich den merkwürdigen Veränderungsgang der so abgeleiteten Sicherheitsgrade nachweisen wollen, die u. E. ungerechtfertigte Differenz der Werte bei einigen Belastungsfällen außer der Knickung (für das gleiche Material und das gleiche Land), den Mangel an Kontinuität und die ebenfalls u. E. ungerechtfertigte Differenz der Werte bei verschiedenen Materialsorten (für den gleichen Belastungsfall und das gleiche Land). Das einzige Gemeinsame ist, daß der Sicherheitsgrad sich im plastischen Bereiche steigert (bis zu $\lambda = 100$ bezw. 110) und daß der erhöhte Wert im elastischen Bereiche konstant bleibt.

Bei einer solchen Verschiedenartigkeit und Willkür der Auffassungen, was sollte man da als das Richtige festlegen? Wir werden als Grundlage die Tatsache festhalten, daß keiner der obigen Vorschriften vorgeworfen werden kann, daß sie in gefährlichem Maße die Sicherheit vernachlässigt, da es sich um amtliche Vorschriften handelt, welche seit Jahren Anwendung finden, und auf Grund deren eine ganze Reihe von Konstruktionen ausgeführt worden ist. Dies vorausgesetzt, können wir, ohne allzu unvorsichtig zu sein, allgemein Werte annehmen, die den niedrigsten Punkten der ganzen im Diagramm dargestellten Gruppe folgen.

Als einen anderen Grundsatz wollen wir einfachheitshalber eine auf Grund eines einzigen Gesetzes erfolgende Änderung des Wertes von ν bis zu

---

[18]) A. Pilder, Vergleich der behördlichen Bauvorschriften für Eisenbahnbrücken aus Flußstahl. Bautechnik 1925, Heft 46. Bautechnik 1928, H. 55.

$\lambda = 100$ annehmen, und wir werden festhalten am konstanten erhöhten Wert von ν unter $\lambda = 100$.

Nach alledem könnten wir als Erhöhungskoeffizienten ψ des Grundwertes für den Schlankheitsgrad $\lambda = 100$ und darüber $\psi_{100} = 1{,}50$ annehmen, d. h. $\nu = 1{,}50\ \nu_0$. Für die Österreichischen Vorschriften [19]) wäre dieser Koeffizient 1,46 (Abb. 4). Wenn man die zulässige Spannung in dem Falle $\lambda = 10$ berücksichtigt (welcher Fall nach den Vorschriften als der Beginn der Knickungsfälle betrachtet wird), wird dieser Koeffizient 1,25 sein und für den genormten St. 55.12 (ähnlich mit dem deutschen St. 52) wird er nur 1,15 betragen. Für die Deutschen Vorschriften wäre dieser Koeffizient 2,05 und für die übrigen Vorschriften liegt er zwischen diesen Werten.

Diese Differenzen sind natürlich wesentlich. Es ist nicht möglich, daß dieselben nur auf Verschiedenheit der Auffassungen zurückzuführen sind. Wir müssen deshalb auch hier den Grund hiefür in der Verwirrung sehen, welche durch die Anwendung des Z. S.-Systems erzeugt wird.

Für die Art der Steigerung des ν (von ν_0 bis $1{,}50\ \nu_0$) gibt es natürlich keine tatsächlich begründete Bedingung. Sie könnte z. B. geradlinig sein und unter Berücksichtigung der Meinung von Prof. GEHLER [20]), daß die Knickung praktisch von dem Fall $\lambda = 40$ beginnt, könnten wir eine Gerade annehmen, die von $\lambda = 30$ bis $\lambda = 100$ sich steigert, und die Werte von ν bis $\lambda = 30$ auf ihrem Grundwert ν_0 konstant halten (Abb. 4). Wir ziehen aber einen parabolischen Übergang vor (mit einer wagerechten Tangente bei $\lambda = 0$), damit die Steigerung stetiger wird. Auf diese Weise haben wir die Möglichkeit, ziemlich genau den niedrigsten Werten des Sicherheitsgrades zu folgen, gemäß dem oben angenommenen Grundsatz.

Die Gleichung dieser Parabel wird

$$\nu = \nu_0 \left[1 + \frac{\lambda^2}{10\,000}\right] \quad \text{wo} \quad \left[1 + \frac{\lambda^2}{10\,000}\right] = \psi \quad \text{ist.}$$

Die Werte des veränderlichen Koeffizienten ψ für verschiedene Fälle von λ schwanken zwischen 1,00 und 1,50 (Tabelle B). Es muß hervorgehoben werden, daß die Werte von ψ stets konstante Werte darstellen, für jeden möglichen Fall, für jede mögliche Materialsorte, und dazu noch für jeden zu wählenden Sicherheitsgrad, denn diese Werte von ψ hängen ausschließlich und allein ab von dem gewählten Erhöhungskoeffizienten des Grundwertes für den elastischen Bereich ($\psi_{100} = 1{,}50$). Es besteht kein Grund, daß dieser Erhöhungskoeffizient von Fall zu Fall sich ändern sollte.

Diese Werte, einmal bestimmt, bilden also K o n s t a n t e n, welche in jedem Falle Anwendung finden müssen.

Nach dem oben Gesagten ist die Anwendung des vorliegenden Verfahrens auch bei Knickung einfacher als selbst das ω-Verfahren. Denn beim letzteren ist jeweils erforderlich:

1. Bestimmung der Knickspannungen (je nach Materialsorte).
2. Bestimmung der zulässigen Spannungen (auf Grund einer Parabelgleichung, einzeln für jede Materialsorte).
3. Bestimmung der Koeffizienten ω (Division zweier gegebener Zahlen σ_{zul}, σ_{dzul}).

---

[19]) Wie oben unter 13).

[20]) Prof. GEHLER, Sicherheitsgrad und Beanspruchung. Bericht an der II. Internat. Tagung für Brückenbau und Hochbau, Wien 1928.

Bei der vorliegenden Methode ist lediglich erforderlich:

1. Ähnliche Bestimmung der kritischen Spannungen (je nach Materialsorte).
2. Bestimmung der Vergleichsspannungen (Division zweier gegebener Zahlen σ_{kr}, ψ).

Man erspart sich also eine Reihe von Berechnungen, und die kompliziertesten, indem man die Bestimmungen der Parabelordinaten vermeidet.

Es bleibt noch die Bestimmung des Grundwertes des Sicherheitsgrades übrig.

Dieser Grundwert bleibt einzig von Fall zu Fall veränderlich. Er stellt, könnte man sagen, den Regler zur Erreichung der gewünschten Sicherheit einer Konstruktion dar. Er ist der einzige Wert, der eine Schwankungsmöglichkeit bewahren kann und muß, um sich den jeweiligen Verhältnissen anzupassen.

Wenn die Gewißheit für die Feststellung des tatsächlichen Spannungszustandes einer Konstruktion größer ist, je nach der Art der Konstruktion und ihrer besonderen Verhältnisse, oder wenn die Berechnungen verbessert und vervollständigt werden, muß der Grundwert des Sicherheitsgrades unter gleichen sonstigen Verhältnissen sich herabsetzen und umgekehrt.

Ein solcher Unterschied liegt vor zwischen einer Prüfung, die auf Grund nur der Hauptkräfte und einer solchen, die auf Grund der Haupt- und Zusatzkräfte vorgenommen wird. Wenn es andererseits notwendig ist, aus verschiedenen Gründen der Konstruktion einen größeren oder kleineren Tragfähigkeitsüberschuß zu verleihen (während die übrigen Bedingungen dieselben bleiben), muß der Sicherheitsgrad entsprechend größer bezw. kleiner werden. Ein solcher Unterschied liegt z. B. vor bei vorläufigen, endgültigen und solchen Konstruktionen, die für die fernere Zukunft ausgeführt werden.

Der Vorzug der Möglichkeit der Vermehrung oder Verminderung des Grundwertes des Sicherheitsgrades ist darin zu sehen, daß von selbst in jedem Falle gleichmäßig die Sicherheit in jeder Hinsicht gewährleistet wird und zwar nach einem gewünschten Grad, ohne daß irgend ein Element des Verfahrens oder der Berechnung abgeändert wird. Es wird lediglich gefordert, daß die Ergebnisse der Berechnung mit dem neu gewählten Grundwert verglichen werden.

Die Bestimmung des erforderlichen Wertes des Sicherheitsgrades und auch der Fälle, für welche er Anwendung finden sollte, wäre vielleicht nicht der Zweck der vorliegenden Arbeit, die hauptsächlich auf die Verfahrenssynthese und Angabe der Vorzüge desselben absieht.

Wir wollen trotzdem nicht davon absehen, zu erwähnen (immer auf Grund des Prinzips der günstigsten der geltenden Auffassungen zu folgen), daß der angebrachte Grundwert des Sicherheitsgrades für gewöhnliche Fälle zu bestimmen wäre mit

$\nu_0 = 1{,}50$ unter Berücksichtigung aller berechenbarer Einflüsse und
$\nu_0 = 1{,}70$ unter Berücksichtigung nur der Haupteinflüsse.

Mit den obigen Werten ν_0 und ψ können die tatsächlichen erhöhten Werte von ν berechnet werden, welche aber für die Anwendung nicht benutzt werden. Von diesen tatsächlichen Werten von ν in Verbindung mit den Werten der kritischen Spannungen kann eine Reihe von wirklich gerechtfertigten zulässigen Spannungen abgeleitet werden, sowohl für die Knickung als auch für die anderen Belastungsfälle. Die sich so ergebenden

Werte von ν und von den zulässigen Spannungen in allen Belastungsfällen geben wir zum Vergleich in den gleichen Diagrammen (Abb. 4 und 5), für den gewöhnlichen Flußstahl ($E = 2100$ t/cm², $\sigma_F = 2{,}4$ t/cm²).

Aus diesen Diagrammen ist ersichtlich:

1. Der Sicherheitsgrad, der den niedrigsten Werten der gewöhnlich geltenden Größen folgt, ist zweckmäßiger und kontinuierlicher angeordnet, mit Ausnahme des Bereiches der wechselnden Belastungen, in welchem die sehr große Verminderung einiger der geltenden Sicherheitsgrade nicht als gerechtfertigt angesehen werden kann.
2. Die sich so ergebenden zulässigen Spannungen folgen den höheren Werten der gewöhnlich geltenden, mit Ausnahme wieder des Bereiches der wechselnden Belastungen, wo gleichfalls die Steigerung einiger unter ihnen nicht als gerechtfertigt erscheint.

E. Die Anwendung der Methode.

Damit die Methode Anwendung findet, genügen ihre Vorteile für die Prüfung bestehender oder schon entworfener Konstruktionen nicht, sondern es muß auch die Möglichkeit vorhanden sein, Querschnittsbemessungen damit auszuführen. Die Tabelle A gibt die Formeln an, welche in jedem Falle verwendet werden sollen. In diesen Formeln sind die Spannungen bekannte Größen, die man aus Tabellen entnimmt, welche entweder vorhanden sind (bei bekannten genormten Materialsorten, wie z. B. Tabelle B), oder in besonderen Fällen nach dem in den Abschnitten C und D Gesagten angefertigt werden müssen. Der Grundwert des Sicherheitsgrades wird ebenfalls bekannt sein, entweder weil er allgemein bestimmt sein wird (für die gewöhnlichen Verhältnisse) oder weil er für den event. speziellen Fall gewählt wird. In dieser Tabelle bedeuten

S = den größten Wert (absolut genommen) der wirkenden Kraft.
M = den größten Wert des wirkenden Moments.
F = die Fläche des Querschnitts, des Konstruktionselements.
W = das Widerstandsmoment des Querschnitts.
J = das Trägheitsmoment des Querschnitts.
F_s = die reduzierte Fläche bei Nietung im Abscherungsfalle (wo $F_s = a \cdot F$).
F_l = die reduzierte Fläche bei Nietung auf Lochleibungsdruck (wo $F_l = d \cdot F$).
σ_F = die Spannung an der Fließgrenze.
σ_v = die Vergleichsspannung.
τ_{kr} = die kritische Spannung auf Abscheren.
σ_{kr}^l = die kritische Spannung auf Lochleibungsdruck.
s_k = die Knicklänge.
λ = Schlankheitsgrad.
k = Verhältnis $\frac{F^2}{J}$.

Wie es aus der Tabelle A ersichtlich ist, wird durch Anwendung der Methode die Berechnung nicht belastet. Es verdient besonders erwähnt zu werden der Fall der Querschnittsbemessung bei Knickung im elastischen Bereich. Hier ist die Formel ähnlich wie bei dem Z. S.-System. Im plastischen

Bereiche aber, wo wir eine Gleichung von zulässigen Spannungen einführen müssen, nehmen wir eine ideelle Kurve als Kurve der zulässigen Spannungen an, d. h. eine Parabel durch die Punkte $\left(\lambda = 0, \sigma = \frac{\sigma_F}{\nu_0}\right)$ und $\left(\lambda = 100, \sigma = \frac{\pi^2 E}{10\,000\, \nu_0^{\,s} \psi_{100}}\right)$. Diese ideelle Kurve, die sich von der tatsächlichen Kurve der sich ergebenden Spannungen sehr wenig unterscheidet, kann als Grundlage der Formel für die Querschnittsbemessung dienen.

Tabelle A.

Formeln für die Berechnung der Stahlbauwerke nach der vorliegenden Methode.

Art der Belastung	Formeln für die Querschnittsbemessung	Formeln für die Prüfung der Querschnitte
Zug	$F \geqq \frac{\nu_0 S}{\sigma_F}$	$\frac{F \cdot \sigma_F}{S} \geqq \nu_0$
Biegung	$W \geqq \frac{\nu_0 M}{\sigma_F}$	$\frac{W \cdot \sigma_F}{M} \geqq \nu_0$
Abscherung	$F \geqq \frac{\nu_0 S}{\tau_{kr}}$ oder $F_s \geqq \frac{\nu_0 S}{\sigma_F}$	$\frac{F \cdot \tau_{kr}}{S}$ oder $\frac{F_s \cdot \sigma_F}{S} \geqq \nu_0$
Knickung in elast. Ber.	$J \geqq \frac{\psi_{100} \cdot \nu_0 \cdot S \cdot s_k^2}{\pi^2 \cdot E} = m_1 \cdot S \cdot s_k^2$	$\frac{F\ \sigma_\nu}{S} \geqq \nu_0$
in plast. Ber.	$F \geqq \frac{\nu_0 \cdot S}{\sigma_F} + [m_2]\ s_k^2 \cdot k$	
Wechselnde Belastung	$F \geqq \frac{\nu_0 \cdot \max S}{\sigma_\nu}$	$\frac{F \cdot \sigma_\nu}{\max S} \geqq \nu_0$
Außermittiger Kraftangriff	—	$\frac{\sigma_\nu}{\left(\frac{S}{F}\right) \pm \left(\frac{M}{W}\right)} \geqq \nu_0$
Nietungen Abscherung	$F \geqq \frac{\nu_0 \cdot S}{\tau_{kr}}$ oder $F_s \geqq \frac{\nu_0 \cdot S}{\sigma_F}$	$\frac{F \cdot \tau_{kr}}{S}$ oder $\frac{F_s \cdot \sigma_F}{S} \geqq \nu_0$
Lochleibungsdruck	$F \geqq \frac{\nu_0 \cdot S}{\sigma_{kr}^l}$ oder $F_l \geqq \frac{\nu_0 \cdot S}{\sigma_F}$	$\frac{F \cdot \sigma_{kr}^l}{S}$ oder $\frac{F_l \cdot \sigma_F}{S} \geqq \nu_0$

Bemerkung: Mit $\psi_{100} = 1.50$ und $E = 2100$ t/cm², wenn noch S in t, s_k in m eingesetzt wird, hat der Koeffizient m_1 den Wert $0{,}724 \cdot \nu_0$ und der Koeffizient

$$m_2 = \left[\frac{\psi_{100} \cdot \sigma_F - \frac{\pi^2 E}{10\,000}}{10\,000 \cdot \psi_{100} \cdot \sigma_F}\right]$$

den Wert $m_2 = 0.424$ für $St\,37$ ($\sigma_F = 2.40$ t/cm²)

$m_2 = 0.616$ für $St\,52$ ($\sigma_F = 3.60$ t/cm²)

Tabelle B.

Erhöhungskoeffizient ψ, kritische Spannungen σ_{kr} und Vergleichsspannungen σ_v bei verschiedenen Belastungsfällen und für genormte Materialsorten.

Art und Fall der Belastung		Erhöhungs-Koeffizient ψ	St. 37 ($E = 2{,}100$ t/cm², $\sigma_F = 2{,}40$ t/cm²) σ_{kr} Kg/cm²	St. 37 $\sigma_v = \sigma_{kr} : \psi$ Kg/cm²	St. 52 ($E = 2{,}100$ t/cm², $\sigma_F = 3{,}60$ t/cm²) σ_{kr} Kg/cm²	St. 52 $\sigma_v = \sigma_{kr} : \psi$ Kg/cm²
Zug, Druck, Biegung	Wechselnde Belastung $\frac{\min S}{\max S}$ oder $\frac{\min M}{\max M} =$ — 1,0	1,000	1600	wie σ_{kr}	2400	wie σ_{kr}
	— 0,9	1,000	1680		2520	
	— 0,8	1,000	1760		2640	
	— 0,7	1,000	1840		2760	
	— 0,6	1,000	1920		2880	
	— 0,5	1,000	2000		3000	
	— 0,4	1,000	2080		3120	
	— 0,3	1,000	2160		3240	
	— 0,2	1,000	2240		3360	
	— 0,1	1,000	2320		3480	
	0,0 bis + 1,0	1,000	2400		3600	
	Ruhende Belastung	1,000	2400		3600	
Knickung	Schlankheitsgrad $\lambda =$ 0	1,000	2400	2400	3600	3600
	10	1,005	2400	2388	3600	3582
	20	1,020	2400	2353	3600	3529
	30	1,045	2400	2297	3600	3445
	40	1,080	2400	2222	3600	3333
	50	1,125	2400	2133	3600	3200
	60	1,180	2400	2034	3600	3051
	70	1,245	2318	1862	3218	2585
	80	1,320	2237	1695	2837	2149
	90	1,405	2155	1534	2455	1747
	100	1,500	2073	1382	2073	1382
	110	1,500	1713	1142	1713	1142
	120	1,500	1439	959	1439	959
	130	1,500	1226	817	1226	817
	140	1,500	1057	705	1057	705
	150	1,500	921	614	921	614
Abscherung		1,000	$(2400 \cdot a)$	wie σ_{kr}	$(3600 \cdot a)$	wie σ_{kr}
Lochleibungsdruck		1,000	$(2400 \cdot d)$	wie σ_{kr}	$(3600 \cdot d)$	wie σ_{kr}

Bemerkung: Die Koeffizienten: $a = \frac{\tau_{kr}}{\sigma_{kr}}$ und $d = \frac{\sigma_{kr}^{l}}{\sigma_{kr}}$ können den gewöhlich im Z. S.-System eingeführten Wert (z. B. 0.80 und 2.50) haben.

F. Schlußfolgerungen.

Wir fassen alles zusammen und kommen zu dem Ergebnis, daß die in Rede stehende Methode als gerechter und genauer und zweckmäßiger charakterisiert werden kann.

Als gerechter, weil sie die Willkür ausschließt. Die Grundsätze, die sie leiten, stützen sich auf begründete Erwägungen. Wenn mit dem wissenschaftlichen Fortschritte die verschiedenen Elemente, welche heute als gegeben angesehen werden, sich ändern sollten, kann die Methode ohne Preisgabe ihrer Vorteile den neuen Auffassungen angepaßt werden (wie etwa z. B.

einer neuen Linie kritischer Spannungen, einem anderen Erhöhungskoeffizienten ψ_{100} des Grundwertes des Sicherheitsgrades bei Knickung, einer geeigneteren Wahl der Beziehung zwischen den Grundwerten des Sicherheitsgrades für Fälle von Berechnungen mit Rücksicht oder ohne Rücksicht auf sämtliche Einflüsse u. s. w.).

Die einzige übrigbleibende, frei gewählte Größe ist der Grundwert ν_0. Diese kann aber nicht anders als willkürlich sein. Wir entbehren, gegenwärtig mindestens, jeder Begründung für seine erforderliche Größe.

Als genauer, weil sie auf die tatsächlichen Grenzen (nach der herrschenden Auffassung) der möglichen Anstrengungen des Materials gestützt, eine vollkommene Ausnutzung des Materials und einen angebrachten Sicherheitsgrad festhält und so gleichzeitig der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit dient. Sie hat schließlich den Vorzug, sozusagen absolut zu sein, weil sie von den verschiedenen Materialsorten unabhängig, und dadurch übersichtlicher ist.

Diese ihre Eigenschaften befreien sie von allen Nachteilen, welche die gewöhnliche Methode der zulässigen Spannungen hat, und welche in dem Abschnitt A ausführlich dargelegt worden sind.

Was jene Methode nicht erzielen kann, vermag die vorliegende zu erreichen.

Die ungerechtfertigten Meinungsverschiedenheiten, die noch heute über verschiedene Fragen des Stahlbaues herrschen, sind bekannt. Es dürften auch die verschiedenen Versuche zur Behebung dieser Unterschiede durch allgemeine Vereinheitlichung bekannt sein; die vorliegende Methode bietet eine einheitliche Sprache zur Verständigung, die Sprache der Gerechtigkeit und Genauigkeit. Vielleicht wird diese Methode als absoluter und allgemeiner dazu dienen können, die Meinungsverschiedenheiten in der Berechnung der Stahlbauten zu beheben.

Zusammenfassung.

Die entwickelte Methode will bei allen Berechnungen den natürlichen und direkten Ausdruck für die Sicherheit (Sicherheitskoeffizient) einführen, d. h. die Beziehung:

$$\frac{\text{kritische Spannung}}{\text{tatsächliche Spannung}} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} \geqq \nu$$

und zwar für alle Belastungsfälle (ständige Last, veränderliche Last mit und ohne Vorzeichenwechsel) und für alle Arten der Beanspruchung (Zug, Druck, Biegung, Knicken, Schub, Lochleibungsdruck). Durch diese Methode vermeiden wir einerseits den indirekten Ausdruck der Sicherheit mittels der Tragfähigkeit des Baustoffes wie in dem heute üblichen System (Zulässige Spannungen). Andererseits sind wir gezwungen, die kritischen Spannungen des Baustoffes zu erforschen und festzusetzen, was uns eine größere Genauigkeit verbürgt.

Diese Bestimmung der kritischen Spannungen erfolgt mittels eines allgemeinen Gesetzes, das auf jedes beliebige Material angewendet werden kann und das sich nur auf die Kenntnis von zwei charakteristischen Größen desselben stützt, nämlich auf das Elastizitätsmaß E und auf die Streckgrenze σ (Fig. 2). Ebenfalls mittels eines allgemeinen, vom Material unabhängigen Gesetzes bestimmt man die Änderung des Wertes des Sicherheitskoeffizienten ν im Falle, daß man vorsichtshalber bei größerer Unsicherheit der

Rechnung (Knicken) gezwungen ist, seinen Grundwert ν_0 zu erhöhen (d. h. $\nu = \nu_0 : \psi$, wo ψ zwischen 1 und einem Wert > 1 liegt).

Die Prüfung erfolgt nicht durch Vergleich der Beziehung:

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma} \geqq (\nu = \nu_0 \cdot \psi) \text{ sondern der Beziehung } \frac{\sigma_{kr} : \psi}{\sigma} \geqq \nu_0,$$

so daß wir uns immer auf einen festen Wert zu beziehen haben, der den allgemeinen Regler der Sicherheit darstellt.

Man kann diese Methode sowohl zur Querschnittsbemessung als auch zur Prüfung der Querschnitte benützen (siehe Formeln der Tab. A).

Demgemäß sind die Vorteile dieser Methode:

Direkter Ausdruck der Sicherheit (durch eine absolute Zahl) ohne Berücksichtigung der Materialeigenschaften. Eine größere Genauigkeit, damit eine richtigere Ausnützung des Materiales und die Gewißheit, den gewünschten Sicherheitsgrad nicht zu unterschreiten. Möglichkeit eines leichten und gerechten Vergleichs der Tragfähigkeit verschiedener Konstruktionen, selbst wenn sie aus Materialien mit verschiedener Festigkeit bestehen. Ebenso Möglichkeit leichter Regulierung der Sicherheit in beliebigem Maße und gleichmäßig für alle Fälle. Endlich Möglichkeit der Bestimmung des Sicherheitsgrades noch bevor das zu verwendende Material bestimmt ist.

Résumé.

La méthode indiquée est basée sur la recherche, dans les calculs, de l'expression naturelle et directe de la notion de sécurité, c'est-à-dire du coefficient de sécurité défini par la relation:

$$\frac{\text{Effort critique}}{\text{Effort effectif}} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \geqq \nu$$

pour tous les cas de charge (charge permanente, charge variable avec ou sans changement de sens) et pour toutes catégories d'efforts (traction, compression, flexion, flambage, cisaillement, pression latérale sur les tiges des rivets). Grâce à l'emploi de cette méthode, d'une part, on évite d'exprimer indirectement la sécurité par l'introduction d'un effort admissible ainsi que l'on procède dans la méthode actuelle, d'autre part on se trouve nécessairement dans l'obligation de rechercher et de déterminer les efforts critiques du métal, ce qui est plus exact.

Cette détermination des efforts critiques est obtenue à l'aide d'une loi générale applicable à toute catégorie de matériaux et s'appuyant sur la connaissance de deux caractéristiques seulement du matériau considéré, le coefficient d'élasticité E et la limite d'écoulement σ (figure 2). C'est également à l'aide d'une loi générale, indépendante de la nature du matériau, que l'on détermine la variation de la valeur du coefficient de sécurité ν dans les cas où, par suite d'une incertitude plus grande dans les calculs (flambage) on se trouve obligé d'augmenter sa valeur de base ν_0 (c'est-à-dire que $\nu = \nu_0 \cdot \psi$, le coefficient ψ étant variable au-dessus de l'unité).

La vérification se fait non pas par la relation:

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \geqq (\nu = \nu_0\, \psi) \text{ mais par la relation: } \frac{\sigma_{cr} : \psi}{\sigma} \geqq \nu_0$$

Elle est donc toujours basée sur un nombre fixe ν_0 qui représente le critérium général de la sécurité.

On peut employer cette méthode tant pour le calcul que pour le contrôle des sections (voir les formules du tableau A).

Les avantages qui résultent de l'emploi de cette méthode sont donc les suivants:

Expression directe de la sécurité par un nombre absolu sans avoir à tenir compte de la nature du matériau. — Plus grande précision, d'où il résulte une utilisation plus judicieuse de ce matériau et l'assurance de ne pas dépasser le coefficient de sécurité désiré. — Possibilité d'une comparaison facile et juste entre les capacités de charge de différentes constructions, même lorsqu'elles sont constituées avec des matériaux de résistances différentes. — Possibilité de régler également le taux de sécurité à un degré quelconque, uniforme dans tous les cas. — Possibilité, enfin, de déterminer le taux de sécurité à adopter avant même d'avoir fixé le choix du matériau à adopter.

Summary.

The method will endeavour, in all calculations, to find the natural and direct expression for safety (coefficient of safety), i. e. the relation

$$\frac{\text{critical stress}}{\text{actual stress}} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} \geqq \nu$$

for all kinds of load (permanent load, and variable load with and without change of sign), and for all kinds of stressing (tension, compression, bending, buckling, sheer, pressure on face of rivet holes). By this method we avoid on the one hand indirect expression of the safety by means of the carrying capacity of the material as in the usual system (permissible stresses), and we are compelled on the other hand to investigate and determine the critical stresses of the material, which ensures us greater accuracy.

This determination of the critical stresses follows from a general law, which can be adopted for any desired material, and which depends only on the knowledge of two characteristic properties of the material, namely on the modulus of elasticity E and the yield point σ (fig. 2). Also, by means of a general law independent of the material, the change in the value of the coefficient of safety ν is determined in case one is compelled, for the sake of precaution when the calculation (buckling) is less certain, to increase its basic value ν_0 (i. e. $\nu = \nu_0 \cdot \psi$, when ψ lies between 1 and a value > 1).

Checking is effected, not by comparing the relationship

$$\frac{\sigma_{kr}}{\sigma} \geqq (\nu = \nu_0 \cdot \psi), \text{ but the relationship } \frac{\sigma_{kr} : \psi}{\sigma} \geqq \nu_0,$$

so that we have always to refer to a fixed value, representing the general checker of the safety.

This method can be used for dimensioning the cross-sections as well as for checking them (see formulae in Table A).

The following are the advantages of this method:

Direct expression of the safety (by an absolute number) without consideration of the properties of the material. Greater accuracy, and thereby better utilisation of the material and the certainty of not exceeding the desired degree of safety. Possibility of easy and correct comparison of the carrying capacity of various constructions, even if they consist of materials of different strength. Also the possibility of easy control of the safety to any desired degree and uniformly for all cases. Finally the possibility of determining the degree of safety even before the material to be used is decided on.