

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

Band: 5 (1956)

Artikel: Zur Theorie der Dauerfestigkeit

Autor: Stüssi, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-6085>

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: 20.02.2026

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

I b 5

Zur Theorie der Dauerfestigkeit

Teoria da resistência à fadiga

Théorie de la résistance à la fatigue

Theory of the fatigue strength

PROF. DR. F. STÜSSI

E. T. H.

Zürich

1. Die heutigen Erkenntnisse über den Mechanismus des Dauerbruches erlauben noch nicht, eine umfassende Theorie der Dauerfestigkeit auf Grund der physikalischen Zusammenhänge aufzustellen, trotzdem es, von der Bemessungspraxis aus gesehen, dringlich ist, die allgemein beschreibende oder qualitative Formulierung des Wöhler'schen Gesetzes quantitativ zu ergänzen. Wir sind deshalb gezwungen, so vorzugehen, dass wir versuchen, das komplexe Problem der Dauerfestigkeit in einzelne möglichst einfache Teilfragen aufzuteilen, die sich durch den entsprechenden Versuch direkt beantworten lassen und so, Schritt für Schritt, das Verhalten von Material und Bauelementen durch eine möglichst kleine Zahl von Kennwerten zahlenmäßig zu erfassen. Nachstehend werden die drei grundsätzlichen Zusammenhänge für die Dauerfestigkeit von Zugstäben aus Stahl festgehalten, wie sie sich aus einer eingehenden Beschäftigung mit der Auswertung von Dauerversuchen ergeben haben (¹).

2. Für einen glatten Zugstab kann eine erste Teilfrage wie folgt gestellt werden: welches sind die Spannungsgrenzwerte σ_{\max} und σ_{\min} , die bei gegebener Lastwechselzahl n den Bruch herbeiführen? Setzen wir

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \quad \Delta \sigma = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}.$$

(¹) F. Stüssi — Die Theorie der Dauerfestigkeit und die Versuche von August Wöhler. Mitteilungen TKVSB, Nr. 13, Zürich 1955.

se können wir sofort feststellen, dass mit $\sigma_m = 0$ die Wechselfestigkeit σ_w charakterisiert ist:

$$\sigma_w = \Delta\sigma \quad (\sigma_m = 0)$$

Andererseits muss für $\Delta\sigma = 0$ die Spannung $\sigma_m = \sigma_{max} = \sigma_{min}$ dem Wert der statischen Zugfestigkeit σ_z (unter Langzeitbelastung) entsprechen:

$$\sigma_m \quad (\Delta\sigma = 0) = \sigma_z$$

Eine dritte Bedingung für den gesuchten Zusammenhang ergibt sich aus der schon von A. Wöhler beobachteten Tatsache, dass auch bei Spannungen σ_{max} , die nahe bei der Zugfestigkeit σ_z liegen, Schwingungen $\Delta\sigma$ von endlicher Grösse beliebig oft ertragen werden können; dies bedeutet geometrisch, dass die Kurve $\Delta\sigma$ die Abszissenaxe σ_m unter 45° schneiden muss (Fig. 1a). Den drei erwähnten Bedingungen können an sich

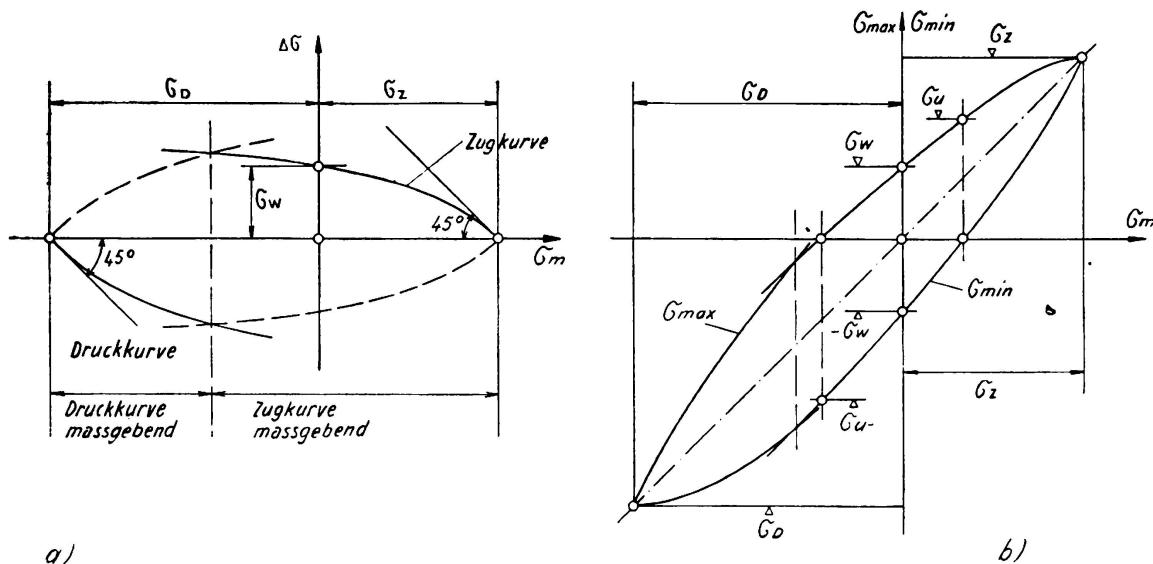


FIG. 4

verschiedene Ansätze für die Kurve $\Delta\sigma - \sigma_m$ genügen; aus dem Vergleich verschiedener Möglichkeiten fand ich, dass die Beziehung

$$\Delta\sigma = \sigma_w \cdot \frac{\sigma_z (\sigma_z - \sigma_m)}{\sigma_z (\sigma_z - \sigma_m) + \sigma_w \cdot \sigma_m} \quad (1)$$

am besten mit den verfügbaren Versuchsergebnissen übereinstimmt. Gleichung 1 gilt selbstverständlich nicht für unbegrenzt abnehmende negative Werte σ_m , sondern die Gültigkeit der «Zugkurve» $\Delta\sigma$ ist abgegrenzt

durch den Schnitt mit einer analogen, von der Druckfestigkeit aus charakterisierten Druckkurve. Figur 1b zeigt die gleichen Verhältnisse noch in der Darstellung mit $\sigma_{max} = \sigma_m + \Delta\sigma$ bzw. $\sigma_{min} = \sigma_m - \Delta\sigma$ als Koordinaten.

3. Da durch Gleichung 1 alle Spannungsverhältnisse, die bei einer bestimmten Lastwechselzahl n den Bruch herbeiführen, auf die Wechselfestigkeit σ_w (und die Zugfestigkeit σ_z) zurückgeführt sind, bleibt als vereinfachte zweite Frage diejenige nach dem Zusammenhang zwischen der Wechselfestigkeit σ_w und der Lastwechselzahl $n = 10^i$. Dieser

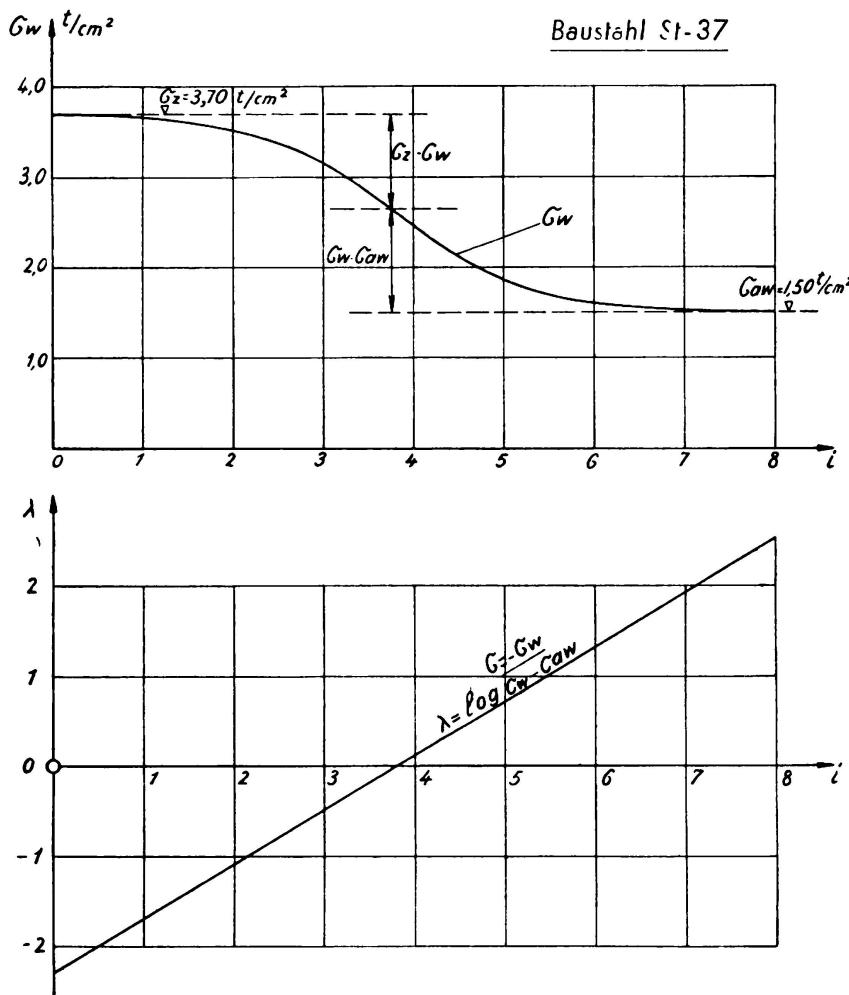


FIG. 2

Zusammenhang wird als *Wöhlerkurve* der Wechselfestigkeit bezeichnet; es ist bequem, als Abszissen nicht die Lastwechselzahl $n = 10^i$ selber, sondern ihren Logarithmus i zu verwenden (Fig 2). Bei der Aufstellung einer Beziehung $\sigma_w - n$ bzw. $\sigma_w - i$ ist davon auszugehen, dass einerseits für verschwindende Lastwechselzahl die Wechselfestigkeit σ_w den Wert der Zugfestigkeit σ_z annehmen und andererseits für unbegrenzt wachsende

Lastwechselzahl sich asymptotisch dem Endwert σ_{aw} nähern muss. Auch diese Forderungen können durch verschiedene Ansätze befriedigt werden; nach meinen Untersuchungen stimmt der Ansatz

$$\sigma_w = \frac{\sigma_z + c_w \cdot n^p \cdot \sigma_{aw}}{1 + c_w \cdot n^p} \quad (2a)$$

am besten mit den Versuchsergebnissen überein. Dieser Ansatz erlaubt in der Form

$$\sigma_z - \sigma_w = c_w \cdot n^p \cdot (\sigma_w - \sigma_{aw}) \quad (2b)$$

auch eine anschauliche Deutung, während er sich durch Logarithmieren in der Form

$$\lambda = \log \frac{\sigma_z - \sigma_w}{\sigma_w - \sigma_{aw}} = \log c_w \cdot n^p = \log c_w + p \cdot i$$

linearisieren lässt (Fig. 2).

Die Verbindung der Gleichungen 1 und 2 erlaubt die Erfassung des ganzen Dauerfestigkeitsbereiches für einen glatten Zugstab aus den vier Kennwerten σ_z , σ_{aw} , c_w und p .

4. Für die Beurteilung der Festigkeit von *gekerbten oder gelochten Probestäben* ist charakteristisch, dass die Spannungsverteilung im Bruchquerschnitt im elastischen Bereich nicht mehr gleichmäßig ist wie beim glatten Probestab, sondern eine ausgesprochene Spannungsspitze aufweist. Unter statischer Dauerbelastung kann sich bei zähen Baustoffen vor dem Bruch ein weitgehender Spannungsausgleich einstellen, sodass für den statischen Bruch die durchschnittliche Spannung massgebend wird und sich damit annähernd die gleiche Festigkeit σ_z ergibt wie für den glatten Stab. Für die Dauerfestigkeit dagegen spielt die Ungleichmäßigkeit der Spannungsverteilung, d. h. die Kerbwirkung, eine entscheidende Rolle; die durchschnittliche Bruchspannung $\sigma_{k \max}$ des Kerbstabes wird wesentlich unter der entsprechenden Spannung σ_{\max} des glatten Stabes liegen.

Es zeigt nun aus zahlreichen überprüften Versuchsergebnissen, dass das Verhältnis φ ,

$$\varphi = \frac{\sigma_{k \max}}{\sigma_{\max}},$$

annähernd linear mit der Mittelspannung σ_m variiert, wenn σ_{\max} und $\sigma_{k \max}$ die der gleichen Mittelspannung zugeordneten Festigkeitswerte bedeuten. In Figur 3 sind Teilergebnisse von Versuchen aufgetragen, die G. Wallgren an glatten und gelochten Probestäben aus der Aluminiumlegierung 24 S-T durchgeführt hat.⁽²⁾. Die vermittelnde Kurve $\sigma_{k \max}$ zeigt den bekannten, für Kerbstäbe charakteristischen Verlauf, der

⁽²⁾ G. WALLGREN — Direct fatigue tests with tensile and compressive mean stresses on 24 S-T Aluminium plain specimens and specimens notched by a drilled hole. FFA, Meddelande Nr. 48, Stockholm 1953.

in seiner Form vom Verlauf der Kurven nach Gleichung 1 für glatte Stäbe grundsätzlich abweicht. Die Verhältniszahl φ kann leicht aus dem für Wechselbeanspruchung massgebenden Wert φ_w ,

$$\varphi = \frac{\varphi_w \cdot \sigma_z + (1 - \varphi_w) \cdot \sigma_m}{\sigma_z} \quad (3)$$

bestimmt werden. Die Versuche von G. Wällgren sind deshalb besonders aufschlussreich, weil sie sich weit in den Druckbereich hinein erstrecken; sie bestätigen damit auch die Gültigkeit von Gleichung 1 und die Existenz

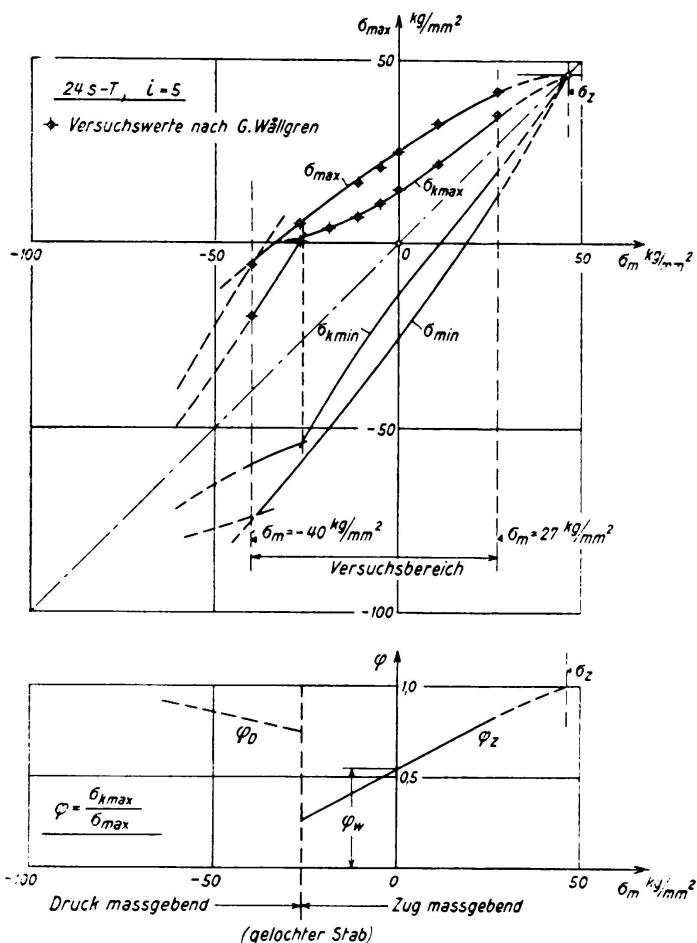


FIG. 3

einer Gültigkeitsgrenze zwischen Zug- und Druckbereich entsprechend Figur 1. Die Kerbzahl φ_w hängt selbstverständlich von der Form der Kerbe, aber auch von der Materialart und von der Lastwechselzahl n ab; für verschwindende Lastwechselzahl wird sich φ_w dem Wert $\varphi_w = 1$ annähern.

5. Die vorstehend skizzierten Grundzüge einer Theorie der Dauerfestigkeit werden durch zukünftige Versuche eingehend und systematisch

überprüft werden müssen. Sie bilden aber auch die Grundlage zur Abklärung weiterer, bisher noch unbeantworteter Fragen, wie etwa der Dauerfestigkeit bei mehraxigen Beanspruchungen, bei veränderlichen Spannungsverhältnissen («cumulative damage in fatigue») oder den Einfluss der Lastwechselgeschwindigkeit, von Erholungspausen sowie von hohen und tiefen Temperaturen.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die Grundzüge einer Theorie der Dauerfestigkeit für einaxige Beanspruchung eines nichtkriechenden Materials dargestellt. Diese Theorie zerfällt in drei Teilaussagen:

- a) Spannungsverhältnisse $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ bzw. $\Delta\sigma - \sigma_m$ bei gegebener Lastwechselzahl,
- b) Wöhlerkurve der Wechselfestigkeit,
- c) Einfluss von Kerbwirkungen.

R E S U M O

O autor expõe os fundamentos de uma teoria da resistência a solicitações à fadiga de um material sem fluência submetido a cargas monoaxiais. Esta teoria divide-se em três partes:

- a) Relação de tensões $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ou $\Delta\sigma - \sigma_m$ para um dado número de alternâncias da solicitação,
- b) Curva de Wöhler de resistência a esforços alternados,
- c) Influência do efeito de entalhe.

R É S U M É

L'auteur expose le fondement d'une théorie de la resistance à la fatigue d'un matériau sans fluage soumis à des charges monoaxiales. Cette théorie peut se diviser en trois parties.

- a) Rapport des contraintes $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ou $\Delta\sigma - \sigma_m$ pour un nombre d'alternances de charge donné,
- b) Courbe de Wöhler de la résistance aux efforts alternés,
- c) Influence de l'effet d'entaille.

S U M M A R Y

The author describes the base of a theory on the fatigue strength of a creepless material under mono-axial loading. This theory can be divided into three parts:

- a) Ratio of $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ or $\Delta\sigma - \sigma_m$ stresses for a given number of alternate loadings,
- b) Wöhler's curve for the resistance to alternate loads,
- c) Influence of notch effect.