

# Diskussionsfragen über Grundbeziehungen und Begriffsfestsetzungen für die Dauerfestigkeit geschweisster Stabverbindungen

Autor(en): **Gehler, W.**

Objektyp: **Article**

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

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

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2800>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

### IIIa 3

## Diskussionsfragen über Grundbeziehungen und Begriffsfestsetzungen für die Dauerfestigkeit geschweißter Stabverbindungen.

Thèmes de discussion concernant les relations fondamentales  
et la détermination des notions se rapportant à la résistance  
à la fatigue des assemblages soudés.

Questions for Discussion on Fundamental Relationships  
and Principles Governing the Fatigue Strengths of Welded  
Connections.

Dr. Ing. W. Gehler,

Professor an der Technischen Hochschule und Direktor beim Staatlichen Versuchs-  
und Materialprüfungsamt, Dresden.

Bei der Auswertung der während der letzten fünf Jahre durchgeführten zahlreichen Dauerversuche der deutschen Materialprüfungsämter zur Aufstellung amtlicher Bestimmungen für geschweißte Stabverbindungen tauchten eine Reihe von Fragen auf, die zum Teil geklärt werden konnten, zum anderen Teil aber noch Probleme für einen internationalen Gedankenaustausch und für die Versuchsforschung bilden.

#### 1. Die Darstellung der Grundgrößen Kraft, Weg und Zeit (Fig. 1).

a) Die bekannte Kraft-Weg-Ebene X—Y (oder Spannungs-Dehnung-Ebene) veranschaulicht die Ergebnisse des alltäglichen statischen Zerreiß-Versuches, der die Grundlage der *Elastizitäts- und Festigkeits-Lehre* bildet. Der Einfluß der Zeitdauer des Zerreißversuches, der meist nicht beachtet wird, zeigt sich darin, daß bei schneller Versuchsdurchführung die übliche Linie 1 der Fig. 1 in die Linie 2 übergeht und beim Schlag- oder Stoßversuch sogar in die Linie 3.

b) Wird die dritte Koordinatenachse Z als Zeit-Achse gewählt, so bildet die Y—Z-Ebene den Übergang zu dem *Schwingungs-Gebiet* oder dem der *Zeit-Festigkeits-Beziehungen*, in dem die Ergebnisse der *Dauerversuche als Dauerfestigkeits-Zeit-Linie* (sogenannte *Wöhler-Linie*)<sup>1</sup> dargestellt werden. Dabei bedeuten die Abscissen z die Versuchsdauer, jedoch nicht im üblichen Zeitmaß ausgedrückt, sondern durch die Anzahl der Schwingungen (z. B. 2 Millionen

<sup>1</sup> *Wöhler*, Zeitschrift für Bauwesen, Berlin 1860, 1863, 1866 und 1870.

Schwingungen zu je 4 sec., also 8 Millionen Sekunden), so daß die Zeit anstatt mit der Uhr durch die Zahl der gleichartigen Schwingungen gemessen wird. Die Wöhler-Linie gibt an, wieviel Schwingungen von dem Versuchskörper bei einer bestimmten Beanspruchung ertragen werden. Sie läuft bei hinreichend großer Versuchsdauer in ihrem Ende parallel zur Z-Achse in einem Abstand  $\sigma_D$ , der sogenannten *Dauerfestigkeit*, also der Spannung, die unendlich oft ertragen werden kann<sup>2</sup>.

c) Das Schwingungsgebiet umfaßt ein zum XYZ-System parallel verschobenes Koordinaten-System X'Y'Z, wobei wiederum als Ordinaten y' die Spannungen (in Richtung der Kraft-Achse) aufgetragen werden. In der Y'Z-Ebene (*Kraft-Zeit-Ebene*) kann man die *Grundbegriffe der Wechselfestigkeit*  $\sigma_w$ , der *Ursprungsfestigkeit*  $\sigma_u$  und der *Schwellfestigkeit*  $\sigma_{D,max}$  (Dauerfestigkeit bei einer Vorspannung  $\sigma_m$ ) veranschaulichen. (Die Grenzwerte der Spannungswelle sind bei der Wechselfestigkeit  $\sigma_o = +\sigma_w$  und  $\sigma_u = -\sigma_w$ , also  $\sigma_m = 0$ , siehe Fig. 1, dagegen bei der Ursprungsfestigkeit  $\sigma_o = \sigma_u$  und  $\sigma_u = 0$ , also  $\sigma_m = \frac{1}{2} \cdot \sigma_u$ .)

d) Eine um die Y-Achse gedrehte Ebene X'' oder X' kann nun zur Darstellung irgend einer anderen Funktion der Dauerfestigkeit dienen, wobei als Ordinaten

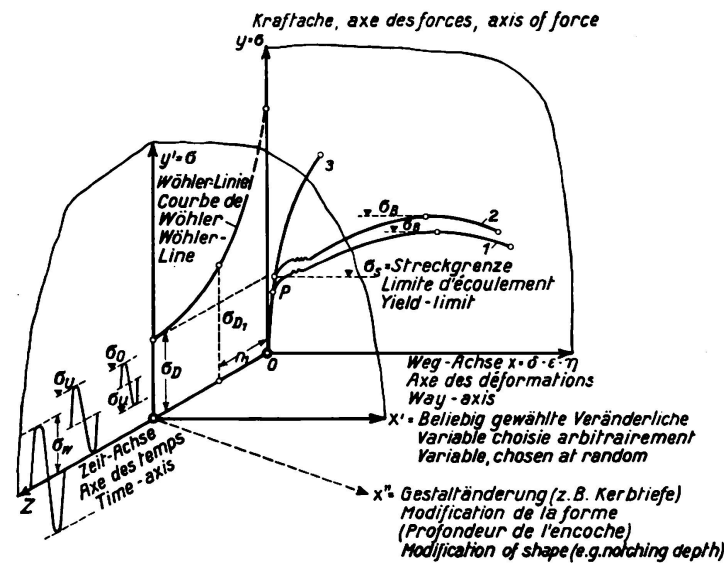


Fig. 1.

y' stets die Spannungen  $\sigma_D$  aufgetragen werden, z. B. zur Darstellung ihrer Abhängigkeit von der Kerbtiefe bei gekerbten Zerreißstäben oder zur Beschreibung des  $\gamma$ -Verfahrens der Reichsbahn, wobei  $x' = \sigma_{min} : \sigma_{max}$  aufgetragen wird, oder endlich in Abhängigkeit von der statischen Vorspannung  $\sigma_m$  (Haigh'sche Darstellung).

Durch diese Darstellung (Fig. 1) werden alle Gebiete der Festigkeitslehre mit ihren Kennziffern aufgeteilt.

## 2. Zulässige Beanspruchungen und Rechnungsbeiwerte bei stählernen Brücken.

### A. Genietete Eisenbahnbrücken<sup>3</sup>.

Während bei ruhender (statischer) Belastung als Sicherheit das Verhältnis der Spannung  $\sigma_s$  an der Streckgrenze zur Spannung bei der Gebrauchslast  $\sigma_{zul}$ , also  $v = \sigma_s : \sigma_{zul}$  gilt, ist bei schwingender Beanspruchung die *Anzahl der Spannungswellen* maßgebend (statistisches Problem).

<sup>2</sup> Hierbei entstehen die beiden ersten Diskussionsfragen (siehe unter 8.).

<sup>3</sup> Unter Eisenbahnbrücken werden hier Brücken, die Eisenbahngleise tragen, im Gegensatz zu Straßenbrücken verstanden.

1. Fall: Wandglieder der fachwerkartigen Hauptträger einer genieteten Eisenbahnbrücke.

An einer älteren Fachwerkbrücke von 39 m Spannweite<sup>4</sup> wurde bei der Überfahrt mit zwei Brückenprüfungswagen von  $4 \cdot 8 = 32$  t Gewicht in einer Wandstrebe die Zugspannung  $\sigma_{\max} = + 215$  kg/cm<sup>2</sup> und die Druckspannung  $\sigma_{\min} = - 70$  kg/cm<sup>2</sup> mit Schreibgeräten gemessen und dieselbe Spannungswelle der Fig. 2 als Summen-Einflußlinie des Lastenzuges auch zeichnerisch gefunden.

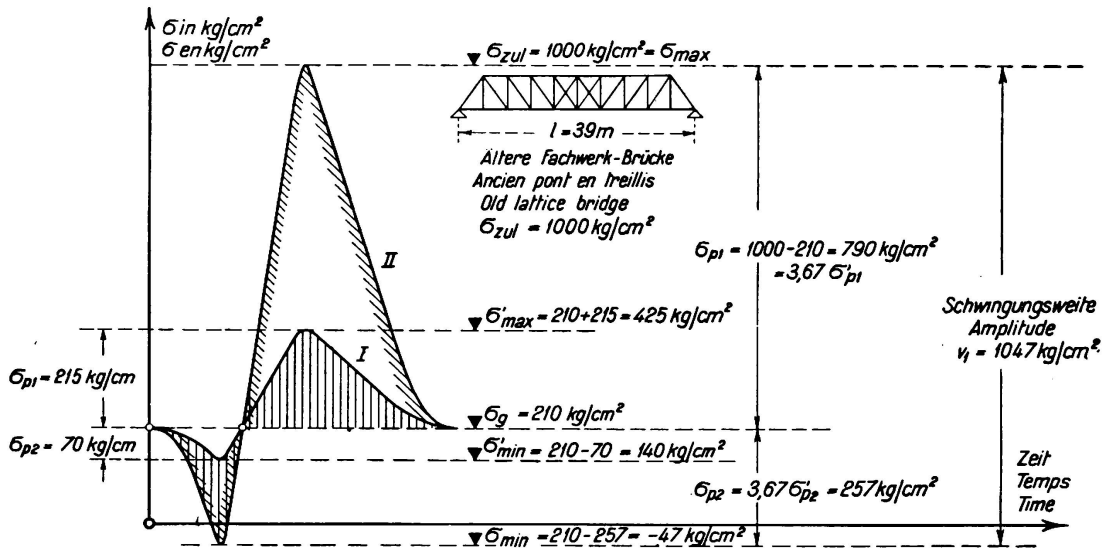


Fig. 2.

Der Begriff der Schwingungsbreite und der statischen Sicherheit bei Stabverbindungen von Eisenbahnbrücken.

Soll bei Überfahrt einer Lokomotive die damals zulässige Spannung von  $\sigma_{zul} = \sigma_{\max} = 1000$  kg/cm<sup>2</sup> ausgenutzt werden, so muß die Spannungswelle bei einer gleichbleibenden ständigen Spannung von  $\sigma_g = 210$  kg/cm<sup>2</sup> um das  $\frac{1000 - 210}{215} = 3,67$ fache ähnlich vergrößert werden, so daß sich als Wellental  $70 \cdot 3,67 = 257$  kg/cm<sup>2</sup> und  $\sigma_{\min} = 210 - 257 = -47$  kg/cm<sup>2</sup> (also eine Druckspannung) ergibt. Die gesamte Schwingbreite ist dann in dieser Strebe

$$v_1 = 1000 + 47 = 1047 \text{ kg/cm}^2 = 10,5 \text{ kg/mm}^2. \quad (1)$$

Handelt es sich nun um die Aufgabe, die Dauerfestigkeit  $\sigma_{D1}$  dieser Strebe und ihrer Anschlüsse versuchsweise zu finden, so müßte als Schwingbreite beim Versuch ebenfalls  $w_1 = v_1 = 10,5$  kg/mm<sup>2</sup> gewählt werden. Da hier die Spannungswelle der Zugstrebe nur wenig in den Druckbereich eintaucht, kann für den Dauerversuch mit Recht die Ursprungsfestigkeit ( $\sigma_{\min} = 0$ ,  $\sigma_{\max} = 10,5$  kg/mm<sup>2</sup>) zugrunde gelegt werden. Ergibt z. B. dieser Dauerversuch den Bruch bei  $n_{D1} = 2\,000\,000$  Schwingungen<sup>5</sup> und wird die Brücke täglich mit  $n_T = 25$  Zügen befahren, so wird diese Zahl  $n_{D1}$ , also der Bruchzustand, frühestens in

<sup>4</sup> Siehe W. Gehler, Nebenspannungen eiserner Fachwerkbrücken, S. 67 (Wilh. Ernst & Sohn, Berlin, 1910).

<sup>5</sup> Vergleiche die erste Diskussionsfrage.

80 000 Tagen oder in 220 Jahren erreicht (dagegen bei einem Stadtbahnverkehr von täglich  $n_T = 250$  Zügen schon nach 22 Jahren). Als kennzeichnende Zahl für die Sicherheit ergibt sich hier somit die Lebensdauer der Brücke (in Tagen ausgedrückt), also das Verhältnis<sup>6</sup>

$$v_T = n_D : n_T. \quad (2)$$

Dieser Dauerversuch ist aber deshalb noch kein getreues Abbild der Wirklichkeit, weil er ohne jede Unterbrechung durchgeführt wird, während im Bauwerk längere Ruhepausen besonders während der Nacht eintreten, in denen eine Erholung des Werkstoffes immerhin denkbar ist. Selbst wenn bisherige Versuche keinen Einfluß von Ruhepausen hinsichtlich der Dauerfestigkeit der *Werkstoffe* selbst einwandfrei ergeben haben sollten, so können die Verhältnisse bei genieteten oder geschweißten *Stabverbindungen* doch vielleicht günstiger sein<sup>7</sup>.

### 2. Fall: Gurte vollwandiger oder fachwerkartiger durchlaufender Hauptträger.

Dieser Fall zeigt, daß es notwendig ist, im Brückenlängsschnitt den Trägerbereich, in dem die errechneten Grenzspannungen  $\sigma_{\max}$  und  $\sigma_{\min}$  gleiches Vorzeichen haben, von dem Wechselbereich (mit verschiedenem Vorzeichen beider Spannungen) zu trennen. In Abhängigkeit vom Verhältnis

$$\xi = \frac{\min S}{\max S} \text{ bzw. } \frac{\min M}{\max M} \quad (3)$$

der statischen Stabkräfte  $S$  oder der Momente  $M$  wird daher ein *Schwingbeiwert*

$$\gamma = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{Dzul}} > 1 \quad (4)$$

entsprechend dem bekannten *Knickbeiwert*  $\omega = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{d zul}}$  eingeführt, weil beim Dauerversuch die Wechselfestigkeit  $\sigma_w$ , die Ursprungsfestigkeit  $\sigma_u$  und die Schwellfestigkeit  $\sigma_{D \max}$  für St. 37 und St. 52 verschieden groß sind. So erhält man die verschiedenen  $\gamma$ - $\xi$ -Linien der Reichsbahn (B. E. § 36, Tafel 17). In ähnlicher Weise wie bei der Knickung  $\frac{\omega \cdot S}{F} \leq \sigma_{zul}$  sein muß, ist hier eine gedachte Spannung

$$\sigma_I = \frac{\gamma \cdot \max S}{F} \leq \sigma_{zul} \quad (5)$$

zu berechnen, damit das Verfahren genau so wie bei rein statisch beanspruchten Bauteilen durchgeführt werden kann<sup>8</sup>.

### 3. Fall: Anschluß von Längsträgern an Querträger.

Da sich die Niete an diesen Anschlußstellen im Betrieb erfahrungsgemäß leicht lockern, wurden nach den neuen Reichsbahnbestimmungen (B. E., § 46) zur Erhöhung der Sicherheit nicht nur verschärfte Rechnungsannahmen (ver-

<sup>6</sup> Vergleiche die vierte Diskussionsfrage.

<sup>7</sup> Dies führt zur dritten Diskussionsfrage.

<sup>8</sup> Siehe *Kommerell*, Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, II. Teil, S. 39 (Wilh. Ernst & Sohn, Berlin, 1936).

größte Stützkräfte  $\max A' = 1,2 (A_g + \varphi A_p)$  und erhöhte Biegemomente bei St. 52 gegenüber St. 37), sondern auch besondere bauliche Maßnahmen (in jedem Falle Anordnung einer obenliegenden, durchschießenden Platte) vorgeschrieben. Außerdem wird die geringere Stützweite der Längsträger durch den höheren Wert der Stoßzahl  $\varphi$  berücksichtigt (z. B.  $\varphi = 1,6$  bei Schwellenoberbau und  $l = 5,0$  m anstatt  $\varphi = 1,4$  bei Hauptträgern mittlerer Stützweite). Nur durch genaue Messungen an Brücken kann in diesem verwickelten Sonderfall, bei dem noch die lastverteilende Wirkung des Oberbaues hinzukommt, Anzahl und Ausschlag der wirklichen Spannungswellen festgestellt und den Ergebnissen von Dauerversuchen mit derartigen Anschlüssen gegenübergestellt werden. (*Bisher noch offenes Versuchsproblem.*)

### B. Geschweißte Eisenbahnbrücken.

Die Einflüsse der Verkehrslast werden folgendermaßen berücksichtigt:

- a) Ungünstigste Stellung der ruhenden Lastenzüge (mittels Einflußlinien).
- b) Stoßzahl  $\varphi \geq 1$  (wobei  $S = S_g + \varphi \cdot S_p$  oder  $M = M_g + \varphi \cdot M_p$  ist), um den Einfluß der Stöße und Erschütterungen durch die Bewegung der Lasten gegenüber ruhenden Lasten zu berücksichtigen (z. B. infolge des Triebradefektes, der Schienenstöße und dergleichen), wodurch jeweils die statische Durchbiegung vergrößert wird. (*Künftiges Hauptproblem der Brücken-Meßtechnik.*)
- c) Durch den Schwingungsbeiwert  $\gamma \geq 1$  als Funktion der berechneten statischen Grenzwerte  $\min S$  und  $\max S$  soll die verschiedene Ermüdung des Baugliedes bei Beanspruchung im Wechsel- oder schwellenden Bereich erfaßt, außerdem aber verschieden bewertet werden bei St. 37 und St. 52, sowie bei schwachem und starkem Zugverkehr ( $n_T \leq 25$  bzw.  $n_T > 25$  Züge am Tag).
- d) Der Gestalt-Abminderungsbeiwert  $\alpha \geq 1$  (Formziffer).

Während die Beiwerte  $\gamma$  für genietete und geschweißte Brücken grundsätzlich die gleichen sein können, wurden für geschweißte Eisenbahnbrücken auf Grund der deutschen Dauerversuche<sup>9</sup> die zulässigen Spannungen noch weiter abgemindert<sup>10</sup> und zwar (siehe Gleichung 5) auf

$$\sigma_I' = \frac{\sigma_I}{\alpha} = \frac{\gamma \max S}{\alpha \cdot F} \leq \sigma_{zul} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{\max M}{W} \leq \sigma_{zul}, \quad (6)$$

wobei die Formziffer  $\alpha$  verschieden groß ist, je nach der Nahtform (Stumpfnah, Kehlnaht) oder nach der Ausführungsgüte (Wurzel nachgeschweißt oder auch nicht, ferner Nähte aufs beste nachgearbeitet). Solche Abminderungsbeiwerte sind auch schon für geschweißte Stahlhochbauten (DIN 4100, § 5) im Gebrauch (z. B. bei Stumpfnähten auf Zug  $\rho_{zul} = 0,75 \sigma_{zul}$ , also  $\alpha = 0,75$ ).

### C. Genietete und geschweißte Straßenbrücken.

Da Straßenbrücken im Vergleich zu Eisenbahnbrücken gleichartigen, dauernd wiederholten Schwingungen viel weniger häufig ausgesetzt sind und vor allem

<sup>9</sup> Siehe Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen, 1935, VDI-Verlag, Berlin, Gemeinsamer Bericht des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem und des Versuchs- und Materialprüfungsamtes Dresden: von K. Memmler, G. Bierett und W. Gehler.

<sup>10</sup> Siehe Fußnote 8, Kommerell, a. a. O., S. 44.

unsere Lastannahmen (DIN 1073) hinsichtlich Gewicht und Dichte der Lasten bereits eine reichliche Sicherheit bieten, werden sie als vorwiegend statisch belastet betrachtet. Von den vier unter B) genannten Einflüssen kann daher hier der Schwingungsbeiwert ausscheiden, also  $\gamma = 1$  gesetzt werden, während aber die Stoßzahl  $\varphi$  und für geschweißte Straßenbrücken auch gewisse Gestalts-Abminderungsbeiwerte  $\alpha$  beibehalten werden.

3. Die Grenzspannungs-Zeit-Linie (Wöhler-Linie) (Fig. 3).

Da die Dauerfestigkeit  $\sigma_D$  von einer Anzahl Veränderlichen (z. B.  $n$ ,  $\sigma_o$ ,  $\sigma_u$  oder  $\sigma_m$ ) abhängt, empfiehlt es sich, sie nach Fig. 1 in den verschiedenen Ebenen mit den Achsen  $Z$ ,  $X'$  bzw.  $X''$  darzustellen. Das erste Bedürfnis besteht in der Auf-

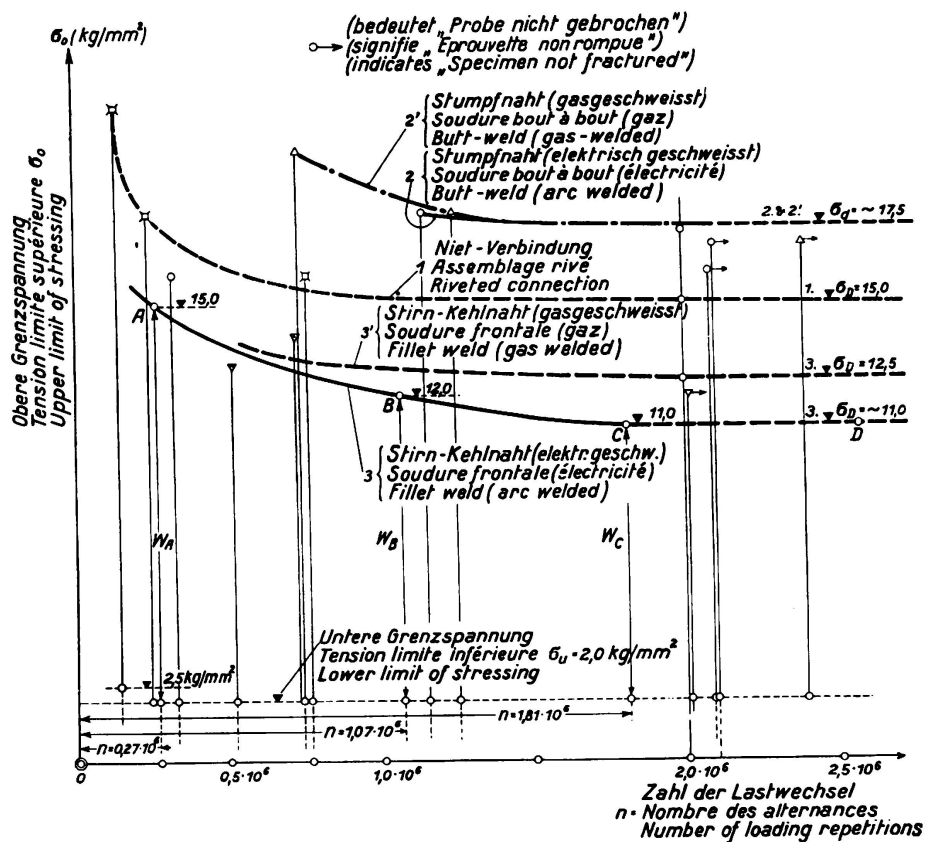


Fig. 3.

Wöhler-Linien der Kuratoriums-Versuche mit auf Zug beanspruchten, genieteten und geschweißten Stabverbindungen

tragung der Versuchsergebnisse als sogen. Wöhler-Linie. Soll z. B. am Pulsator  $\sigma_D$  durch Zugversuche für elektrisch geschweißte Stirnkehlnähte<sup>11</sup> bestimmt werden (Fig. 3, Linie 3), so wählt man zunächst willkürlich als obere Grenzspannung z. B.  $\sigma_o = 15$  kg/mm<sup>2</sup> bei einer unteren Grenzspannung  $\sigma_u = 2,0$  kg/mm<sup>2</sup>, wobei sich der Bruch schon bei  $n = 270\,000$  Schwingungen ergibt (Punkt A). Beim zweiten Versuch mit  $\sigma_o = 12$  kg/mm<sup>2</sup> und dem gleichen Wert  $\sigma_u = 2,0$  kg/mm<sup>2</sup> erhält man  $n = 1,07 \cdot 10^6$  (Punkt B) und endlich beim dritten Versuch mit

<sup>11</sup> Siehe Fußnote 9, a. a. O., S. 16.

$\sigma_0 = 11,0 \text{ kg/mm}^2$   $n = 1,81 \cdot 10^6$  (Punkt C). Da die Linie ABC im Bereich CD schon annähernd waagrecht läuft, so darf als Endwert die Dauerfestigkeit  $\sigma_D = \lim \sigma_0 = \text{rd. } 11 \text{ kg/mm}^2$  angenommen werden.<sup>12</sup>

Trägt man für denselben Versuch nach Fig. 4 als Ordinaten  $y = \log \sigma_0$  und als Abscissen  $x = \log n$  auf, wendet man also nach beiden Koordinatenrichtungen den logarithmischen Maßstab an (und nicht nur nach der X-Richtung, wie es oft geschieht), so erkennt man, daß die Linie ABC hinreichend genau in eine

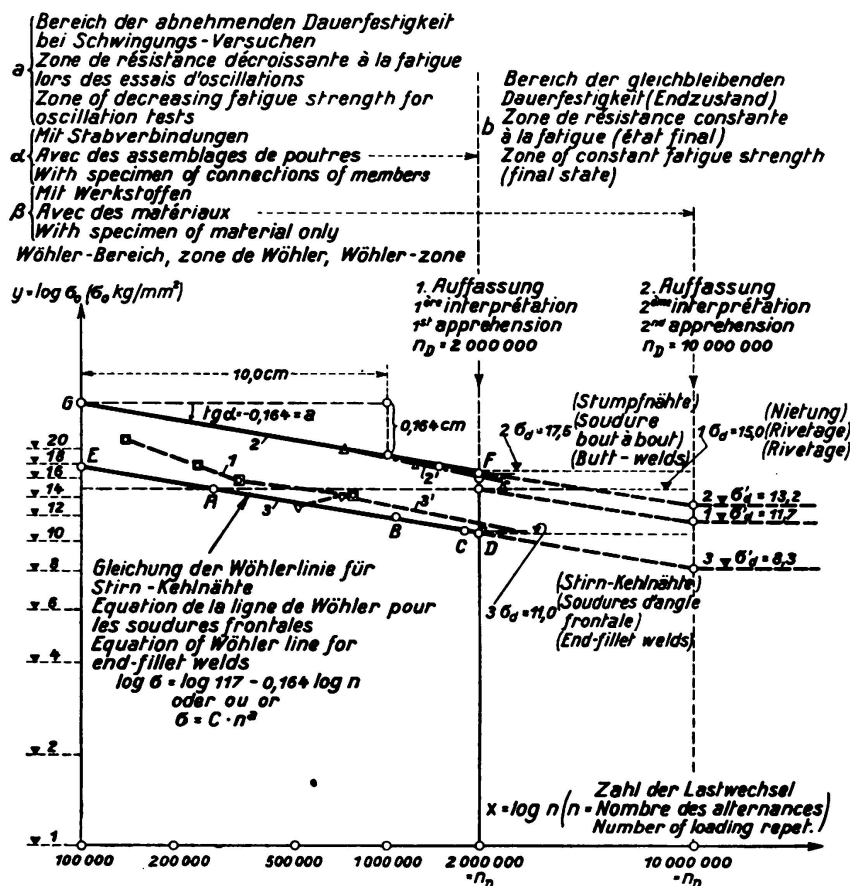


Fig. 4.

Der Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit (Wöhler-Bereich) der Spannungs-Zeit-Linie (in logarithmischer Darstellung) für genietete und geschweißte Stabverbindungen.

Gerade ED übergeht, die mit der zu ihr parallelen Geraden GF den Verlauf der Richtungen auch der übrigen Versuchslinien deutlich angibt. Die Gleichung der Geraden ABC lautet:

$$\log \sigma = \log 117 - 0,164 \log n \tag{7 a}$$

und entspricht in der Darstellung der Fig. 3 der Exponentialkurve<sup>13</sup>

$$\sigma = C \cdot n^a, \tag{7 b}$$

wobei  $a = \text{tg } \alpha = 0,164$  die Neigung der Geraden und  $C = 117 \text{ kg/mm}^2$  den Wert  $\sigma$  für  $n = 1$  bedeuten.

<sup>12</sup> Erste Diskussionsfrage.

<sup>13</sup> Vergleiche auch Moore, Am. Soc. Test. Mat. 1922, S. 266, und Basquin, desgleichen 1910, S. 625.



In Fig. 5 ist die ganze Spannungs-Zeit-Linie in derselben logarithmischen Verzerrung aufgetragen. Den Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit, der hier als Wöhler-Bereich bezeichnet werden soll, haben wir durch die beiden Ordinaten in den Punkten  $n = 10\,000$  und  $n = 2\,000\,000$  begrenzt. Nach links

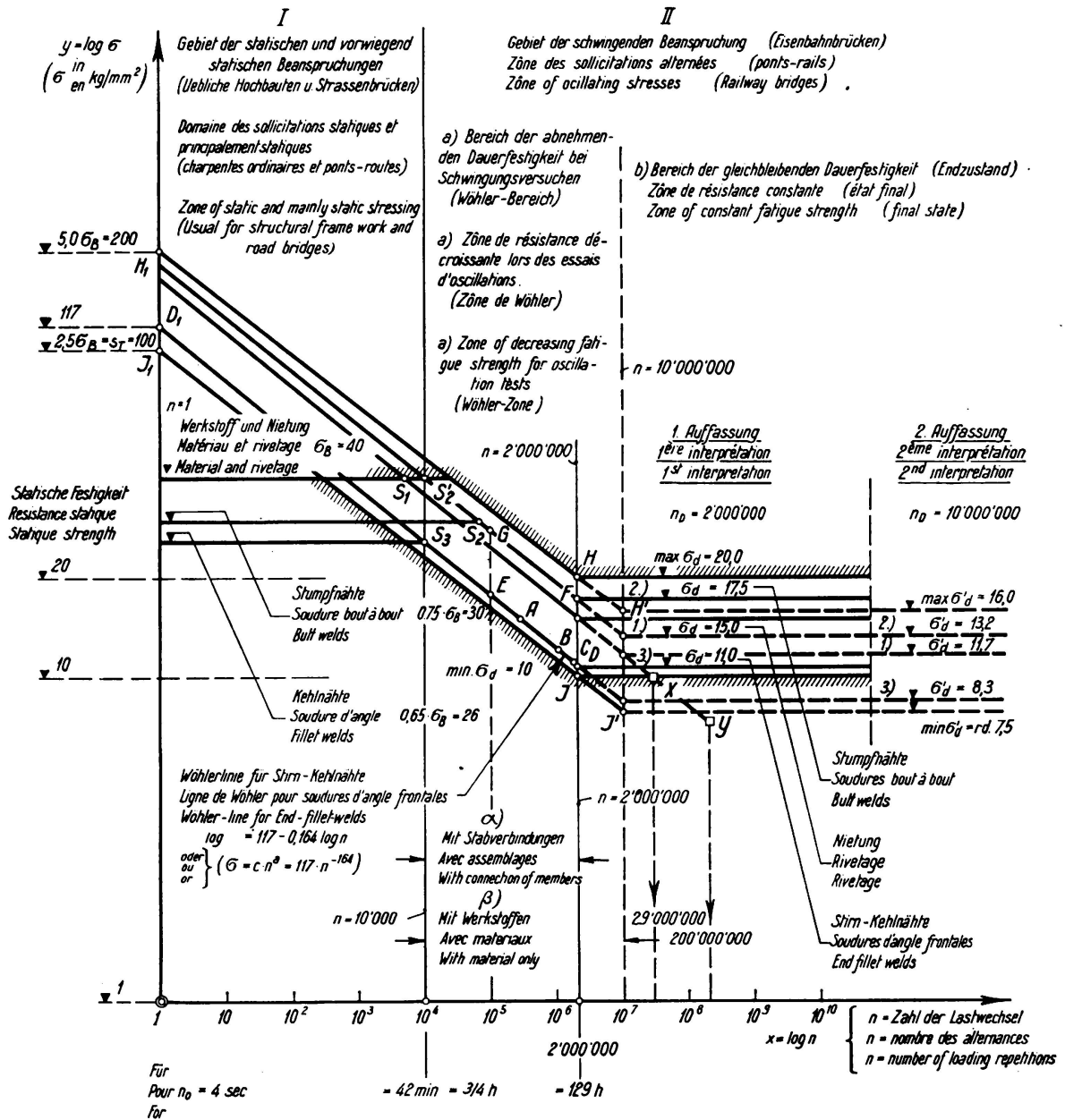


Fig. 5.

Die Bereiche der Spannungs-Zeit-Linie und der Wöhler-Linie für Stabverbindungen (in logarithmischer Darstellung).

und rechts schließen sich hieran jeweils waagerechte Strecken an, so daß die ganze Spannungs-Zeit-Linie in dieser logarithmischen Darstellung aus einem doppelt geknickten Geradenzug besteht. Die Gerade DE schneidet auf der Koordinatenachse ( $n = 1$ ) die Ordinate  $C = 117\text{ kg/mm}^2$  ab. Zieht man noch durch den Punkt J mit  $\sigma_D = 10\text{ kg/mm}^2$  und  $n = 2\,000\,000$  und durch den

Punkt  $J_1$  auf der Koordinatenachse mit  $\sigma_D = 100 \text{ kg/mm}^2$  die Geraden  $JJ_1$  und dazu die Parallele  $HH_1$ , wobei im Punkte H der Wert  $\sigma_D = 20 \text{ kg/mm}^2$  ist, so begrenzt man einen Flächenstreifen, in dem nahezu sämtliche Werte, die sich bei Dauerversuchen von Stabverbindungen ergeben, untergebracht werden können.

Hiermit erhält man folgende Unterteilung der Spannungs-Zeit-Linie. Zunächst das Gebiet der statischen und vorwiegend statischen Beanspruchung, die bei den üblichen Hochbauten und bei den Straßenbrücken zugrunde gelegt wird; sodann das Gebiet der schwingenden Beanspruchung (Eisenbahnbrücken), das in den Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit bei Schwingungsversuchen (*Wöhler-Bereich*) und in den Bereich der gleichbleibenden Dauerfestigkeit, also den Endzustand zu unterteilen ist (II a und II b).

Die an sich willkürliche Abgrenzung dieser beiden Bereiche II a und II b behandelt unsere *erste Diskussionsfrage*<sup>14</sup>. Unsere bisherigen Erörterungen über die Dauerversuche mit *Stabverbindungen* führten zur Wahl von  $n_D = 2\,000\,000$  (erste Auffassung). Würde man dagegen, wie es bei dem Prüfen von *Werkstoffen* üblich ist,  $n_D = 10\,000\,000$  wählen (zweite Auffassung), so würde die geradlinige Verlängerung der Linien im *Wöhler-Bereich* (z. B. bis zu den Punkten H' und J' der Fig. 5) für den Fall der Nietung anstatt  $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$  nur noch  $\sigma'_D = 11,7 \text{ kg/mm}^2$  ergeben (siehe Punkt V und W). Die Tatsache, daß unsere genieteten Eisenbahnbrücken bei  $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$  sich im Eisenbahnbetrieb einwandfrei bewährt haben, würde dann zu einem schwer lösbaren Widerspruch mit derartigen Versuchsergebnissen führen.

Das Verhältnis der bei den Dauerversuchen mit genieteten Stabverbindungen gefundenen Dauerfestigkeit  $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$  zur zulässigen Beanspruchung der genieteten Eisenbahnbrücken  $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$

$$v_w = \frac{\sigma_D}{\sigma_{zul}} = \frac{15}{14} = 1,07$$

(*sogenannte Spannungssicherheit*) gibt eine weitere, wenn auch verhältnismäßig geringe Sicherheit, durch die der sekundäre Einfluß der Streuungen des Baustoffes und etwaiger Ungenauigkeiten der Ausführungen berücksichtigt werden kann.

Da bei der Prüfung von Werkstoffen für  $n > 10$  Millionen die Spannungs-Zeit-Linie waagrecht angenommen wird (Bereich II b), war es überraschend, daß im Dresdner Versuchs- und Materialprüfungsamt noch bei 29 Millionen Schwingungen der Dauerbruch eines Kontrollstabes in der Schwingbrücke erfolgte (siehe Punkt X der Fig. 5), und ferner daß an der Schwingbrücke des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem der Dauerbruch in dem Nietloch eines Fachwerkstabes erst bei 200 Millionen Schwingungen eintrat (siehe Punkt Y). Unsere *zweite Diskussionsfrage* besteht nun darin, ob derartige ausgefallene Werte ( $n > 10\,000\,000$ ) auch anderwärts bei Versuchen oder im Eisenbahnbetrieb gefunden worden sind<sup>15</sup>.

In Fig. 6 ist nochmals die *Wöhler-Linie* mit den Punkten V, W, X und Y in nicht verzerrtem Maßstab aufgetragen. Würde man den Dauerversuch mit Stabverbindungen anstatt bei  $n = 2\,000\,000$  Lastwechseln (Punkt V) erst bei  $n = 10\,000\,000$  Lastwechseln (Punkt W) abschließen, so würden sich um etwa

<sup>14</sup> Siehe unter 5 (Erste Diskussionsfrage).

<sup>15</sup> Siehe unter 5 (Zweite Diskussionsfrage).

20 % geringere Werte der Dauerfestigkeit ergeben. In den ausnahmsweise gefundenen Punkten X und Y sehr später Dauerbrüche von Stabverbindungen ist die Dauerfestigkeit zu zwei Drittel bzw. zur Hälfte des Wertes im Punkte V anzunehmen. Hieraus ergibt sich, daß es von grundsätzlicher Bedeutung ist, wann der Endzustand des Bereiches der gleichbleibenden Dauerfestigkeit (Fig. 5) bei Stabverbindungen erreicht wird.

Nach dieser logarithmischen Darstellung der Spannungs-Zeit-Linie kann das ganze Gebiet der statischen und der Dauerversuche in der Spannungs-Zeit-Ebene

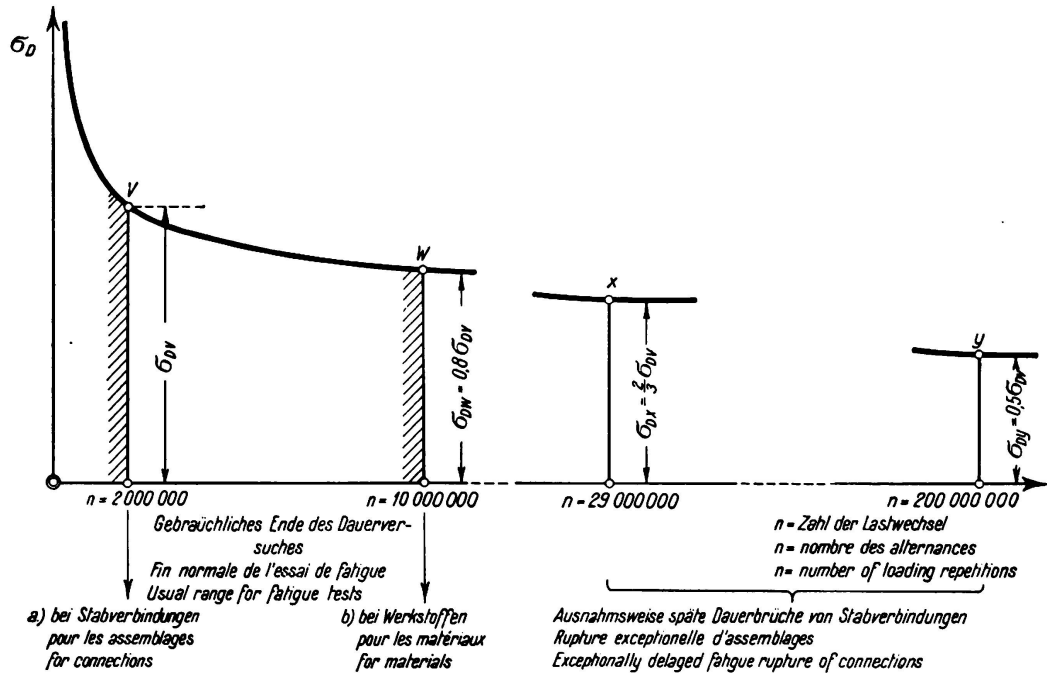


Fig. 6.

Wöhler-Linie zur Darstellung der Begrenzung der Dauerversuche von Stabverbindungen.

übersichtlich aufgeteilt werden. Bemerkt sei noch, daß die Ordinate im Hilfspunkt  $J_1$  der unteren Begrenzungsgeraden  $JJ_1$  etwa dem Werte der Trennungsfestigkeit entspricht

$$\sigma_T = 2,5 \cdot \sigma_B = 2,5 \cdot 40 = 100 \text{ kg/mm}^2 \tag{8}$$

und daß die Schnittpunkte  $S_1$  bis  $S_2$  der waagerechten Geraden im statischen Gebiet mit den schrägen Geraden des *Wöhler*-Bereiches ebenfalls eine bestimmte Gesetzmäßigkeit zeigen sollten. Die Versuchswerte der statischen und der Dauerversuche würden sich wesentlich befriedigender zusammenfügen, wenn für die Stumpfnähte künftighin  $\rho_{zul} = 1,0 \sigma_{zul}$ , anstatt  $0,75 \sigma_{zul}$  vorgeschrieben, also Punkt  $S_2$  nach  $S'_2$  verschoben würde.

Physikalisch betrachtet, darf somit C in Gleichung (7 b) als *Kohäsionsbeiwert* bezeichnet werden (vergleiche Gleichung 8). Eine Deutung des anderen Beiwertes a ergibt sich dann, wenn man die Abgeleitete der Gleichung 7 b bildet:

$$y' = \frac{d\sigma}{dn} = c \cdot a \cdot n^{a-1} = 117 \cdot 0,164 \cdot n^{-0,836} = \approx \frac{19,2}{n}, \tag{9}$$

die also in erster Annäherung etwa einer gleichseitigen Hyperbel entspricht. Im Anfang des *Wöhler*-Bereiches fällt die  $y'$ -Linie zunächst stark ab und verläuft

im Endzustand parallel der Abscissenachse (Fig. 3). Ihre Ordinaten stellen eine Leistungsgröße dar  $\left(\frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}\right)$ , wenn man die Ordinaten  $\sigma \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{mm}}{\text{mm}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)$  als spezifische Arbeit oder Ladung der Raumeinheit von 1 mm<sup>3</sup> auffaßt, so daß diese y'-Linie die Abnahme der Leistung oder die Ermüdung während der Versuchsdauer darstellt. Nach Fig. 5 ist für die hier untersuchten Stabverbindungen der Verlauf dieser Linien im *Wöhler*-Bereich gleichartig. Hiernach kann  $a$  als *Ermüdungsbeiwert* bezeichnet werden ( $a = 0$  im Bereich I und II b der Fig. 5).

#### 4. Vergleich der nach der statischen Berechnung wirklich auftretenden Spannungen im Bauwerk mit den Spannungen in den Versuchsstäben.

Da die Versuchsanordnung möglichst einfach sein muß, beschränkt man sich auf sinus-artige Wellen, die um eine mittlere Spannung  $\sigma_m$  zwischen den Grenzwerten  $\sigma_o$  und  $\sigma_u$  nach oben und unten gleich weit schwingen. In Wirklichkeit ist aber, wie Fig. 2 zeigt, die Schwingweite z. B. bei Wandgliedern infolge der Verkehrslast nach oben und nach unten um die Laststufe der ständigen Last  $\sigma_g$  in der Regel sehr verschieden (nach oben  $\sigma_{p1} > \sigma_{p2}$  nach unten). Bei Gurten ist sogar  $\sigma_{p2} = 0$ . Die Abweichung des Versuches von der Wirklichkeit besteht also nicht nur in der Form der Wellen, sondern auch in der Unsymmetrie derselben oder in der verschiedenen Schwingweite nach oben ( $\sigma_{p1}$ ) und nach unten ( $\sigma_{p2}$ ). Der Einfluß dieser Abweichung ist leider ebenfalls noch nicht erforscht. (Weitere Forschungsaufgaben.)

#### 5. Diskussionsfragen.

1. Frage: Ist es zutreffend, als *Begrenzung des Dauerversuches bei Stabverbindungen die Zahl der Schwingungen  $n_D = 2$  Millionen* anstatt, wie es bei der Prüfung von Werkstoffen üblich ist,  $n_D = 10$  Millionen zugrunde zu legen? (vergleiche die Fußnoten 2, 5, 12 und 14, sowie Fig. 5 und 8, Punkt S und W).
2. Frage: Sind außer den bei den deutschen Versuchen festgestellten, ausnahmsweise späten Dauerbrüchen bei 29 und 200 Millionen Schwingungen anderwärts ähnliche *ausgefallene Werte bei Dauerversuchen mit Stabverbindungen oder im Eisenbahnbetrieb* festgestellt worden? (vergleiche Fußnote 2 und 15, sowie Fig. 5 und 6, Punkt X und Y).
3. Frage: Liegen anderwärts Versuchsergebnisse vor, durch die *der günstige Einfluß von Ruhepausen auf die Dauerfestigkeit von Stabverbindungen* festgestellt worden ist? (vergleiche Fußnote 7).
4. Frage: Da die Nietverbindungen, die die Grundlage zur Beurteilung des Verhaltens der Schweißverbindungen bilden, eine mittlere Dauerfestigkeit von  $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$  ergaben bei einer zulässigen Beanspruchung (einschließlich Stoßzuschlag) von  $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$ , haben wir bei Eisenbahnbrücken die Frage der Sicherheit durch das Verhältnis der beim Versuch ertragenen Schwingungen  $n_D$  zur Anzahl  $n_T$  der die Brücke täglich befahrenden Züge, also durch die Angabe der Lebensdauer in Jahren beantwortet ( $v_T = n_D : n_T$ , *statistische Auffassung der Sicherheit*). Können andere zweckmäßige Vorschläge zur Erfassung der Sicherheit vorgebracht werden?