

Werkstoffprüfung

Dauerschwingversuch

Begriffe Zeichen Durchführung Auswertung

DIN
50100**Vorbemerkung**

Diese Norm kann eine eindeutige Fachsprache nur schaffen, wenn sie von Werkstoffprüfern, Konstrukteuren u. a., vor allem aber bei der Lehrtätigkeit und bei Veröffentlichungen stets und in vollem Umfang angewendet wird. Für besondere Dauerschwingverfahren werden je nach technischen Erfordernissen ergänzende Normen aufgestellt. Bereits erschienen sind:

DIN 50 113 „Prüfung metallischer Werkstoffe, Umlaufbiegeversuch“

DIN 50 142 „Dauerbiegeversuch für Leichtmetalle, Flachbiegeversuch“

DIN 53 513 „Prüfung von Gummi, Bestimmung der Dämpfung von Weichgummi aus der Hysteresisschleife“

Inhalt

1 Zweck des Versuchs	5.5 Einzelversuche
2 Begriffe, Zeichen und Bereiche der Dauerschwingbeanspruchung	5.51 Vergleichs-Einzelversuche
2.1 Begriffe und Zeichen	5.52 Kontrollversuche
2.2 Beanspruchungsbereiche	5.6 Schwachstellenprüfung
3 Begriffe und Zeichen der Dauerschwingfestigkeit	6 Versuchsauswertung
3.1 Begriffe der Dauerschwingfestigkeit	6.1 Wöhlerschaubild, Wöhlerkurve
3.11 Dauerschwingfestigkeit	6.2 Dauerfestigkeits-Schaubild
3.12 Wechselfestigkeit	6.21 Begriff
3.13 Schwellfestigkeit	6.22 Dauerfestigkeits-Schaubild nach Smith
3.2 Zeichen der Dauerschwingfestigkeit und ihre Bedeutung	6.23 Darstellung nach Haigh
3.3 Schreibweise der Dauerschwingfestigkeit	6.24 Weitere Dauerfestigkeits-Schaubilder
3.31 Allgemeines	6.241 Dauerfestigkeits-Schaubild nach Gerber, Launhardt-Weyrauch, Goodman, Kommerell (Spannungshäuschen) und Roß
3.32 Kennzeichen der Dauerschwingbeanspruchung	6.242 Darstellung nach Pohl
3.33 Kennzeichen für besondere Einflüsse	6.243 Kombination der Darstellungen nach Smith und nach Pohl
4 Sonderbegriffe	6.244 Darstellung nach Moore-Kommers-Jasper
4.1 Gestaltfestigkeit	7 Sonderprüfverfahren
4.2 Grenz-Lastspielzahl	7.1 Dauerschwingversuche in der Wärme und Kälte
4.3 Zeitschwingfestigkeit	7.2 Dauerschwingversuche unter Korrosion
4.4 Lebensdauer	7.3 Dauerschwingversuche unter Reibkorrosion
4.5 Dauerschwing-Fließgrenze	7.4 Dauerschwingversuche mit zusammengesetzter Beanspruchung
4.6 Dauerschwing-Kriechgrenze	7.5 Kerbempfindlichkeit
5 Versuchsdurchführung	7.6 Kerbwirkungszahl
5.1 Allgemeine Richtlinien	8 Weitere, beim Dauerschwingversuch angewendete Begriffe
5.2 Wöhlerversuch	8.1 Durchbruch, Anriß
5.3 Stufenversuche	8.2 Dauerschwingbruch, Gewaltbruch, Dauerschwinganriß, Restbruch, Rastlinien
5.31 Einstufen-Dauerschwingversuche	8.3 Trainieren
5.32 Mehrstufen-Dauerschwingversuche	8.4 Werkstoffdämpfung
5.33 Betriebs-Schwingversuche	8.5 Erweitertes Wöhlerschaubild (Schadenslinie)
5.4 Serienprüfung	

Fortsetzung Seite 2 bis 10

Fachnormenausschuß Materialprüfung im Deutschen Normenausschuß

1 Zweck des Versuchs

Der Versuch dient zur Ermittlung von Kernwerten für das mechanische Verhalten von Werkstoffen oder Bauteilen bei dauernder oder häufig wiederholter schwellender oder wechselnder Beanspruchung. Er wird Dauerschwingversuch (kurz *Dauerversuch*) genannt, weil die Beanspruchung der Probe in Form eines Schwingvorganges¹⁾ verläuft (siehe Bild 1).

Der Grenzfall einer einmaligen, langzeitigen, d. h. ruhenden Belastung (Schwingungen mit unendlich kleinem Ausschlag) wird hier nicht behandelt²⁾.

2 Begriffe, Zeichen und Bereiche der Dauerschwingbeanspruchung³⁾ (Bild 1)

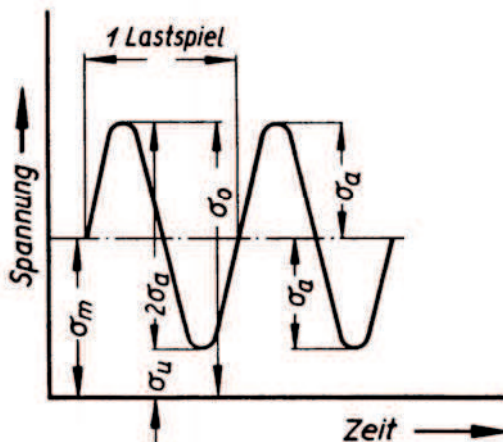


Bild 1. Spannungs-Zeit-Schaubild beim Dauerschwingversuch (schematisch)

- σ_o = Oberspannung σ_u = Unterspannung
 σ_m = Mittelspannung σ_a = Spannungsausschlag
 $2\sigma_a$ = Schwingbreite der Spannung

2.1 Begriffe und Zeichen

- | Zeichen | Begriff |
|-------------|---|
| σ_o | Oberspannung = größter Wert der Spannung je Lastspiel, unabhängig vom Vorzeichen |
| σ_u | Unterspannung = kleinster Wert der Spannung je Lastspiel, unabhängig vom Vorzeichen |
| σ_m | Mittelspannung = $0,5 (\sigma_o + \sigma_u)$, Vorzeichen berücksichtigen |
| σ_a | Spannungsausschlag (nach DIN 1311 Amplitude) der Beanspruchung = $\pm 0,5 (\sigma_o - \sigma_u)$, Vorzeichen berücksichtigen |
| $2\sigma_a$ | Schwingbreite der Spannung = $\sigma_o - \sigma_u$ (früher Wechsellastspannung), Vorzeichen berücksichtigen |

1) Hierbei ist der Begriff „Schwingvorgang“ umfassend, nämlich im Sinne der zeitlichen, periodischen Veränderung eines Vorganges gemeint (siehe DIN 1311) und nicht allein im Sinne der Lehre von Schwingungen eines mit Masse behafteten Systems. Der aus dieser Lehre abgeleitete Begriff „Schwingbeiwert“, der bei der Berechnung von unter zeitlich veränderlicher Last stehenden Tragwerken (z. B. Brücken unter Verkehrslast) eine Rolle spielt, erfaßt die Erhöhung der Beanspruchung durch mechanische Schwingungen.

2) Vgl. dazu DIN 50 119 „Werkstoffprüfung, Standversuch, Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung“.

3) Beanspruchungswerte erhalten kleine, Festigkeitswerte große Zeiger.

- s Spannungsverhältnis von Unterspannung zu Oberspannung = σ_u/σ_o , Vorzeichen berücksichtigen
- r Ruhegrad der Beanspruchung = Verhältniswert von Mittelspannung zu Oberspannung = σ_m/σ_o , Vorzeichen berücksichtigen
- L Lastspiel; eine volle Schwingung der Beanspruchung mit dem Spannungsausschlag σ_a um die ruhend zu denkende Mittelspannung σ_m
- n Lastspielfrequenz; Einheit 1/min oder Hz = 1/s
- N Lastspielzahl der Probe bis zum Bruch (Bruch-Lastspielzahl); sie wird als Vielfaches von 10^6 oder in Zehnerpotenzen angegeben, z. B. $1,3 \cdot 10^6$ oder 10^8
- N_v Lastspielzahl einer Vorbeanspruchung bei einem Mehrstufenversuch (siehe Abschnitt 5.32)
- N_v/N Lastspielzahl-Verhältnis = Verhältnis der Lastspielzahl N_v einer Vorbeanspruchung zur Lastspielzahl N des Einstufen-(Wöhler)-Versuchs.

Schub- und Verdrehspannungen werden mit τ , Zug-, Druck- und Biegeverformungen mit ϵ , Verdrehverformungen mit γ , die Last mit P , das Moment mit M bezeichnet. Entsprechend ist z. B.: P_o = Oberlast; M_u , ϵ_u = untere Grenze des Momentes, der Verformung; P_a = Lastamplitude; $2P_a$ = Lastschwingbreite; ϵ_a = Verformungsamplitude der Beanspruchung.

Zugbeanspruchungen gelten als positiv, Druckbeanspruchungen als negativ. Spannungen und Festigkeitswerte werden für metallische Werkstoffe meist in kg/mm² angegeben⁴⁾.

Bei Proben mit Querschnittsänderungen und bei Bauteilen werden die Spannungen oder Festigkeitswerte meist als „Nennspannungen“ oder „Nennfestigkeiten“ angegeben. Sie sind im Versuchsbericht zu kennzeichnen, z. B. mit dem Zeiger n.

2.2 Beanspruchungsbereiche (Bild 2)

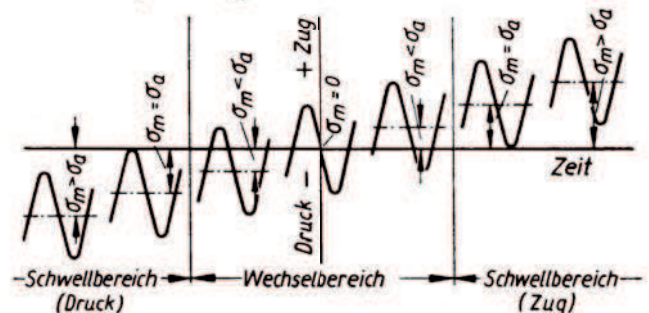


Bild 2. Bereiche der Dauerschwingbeanspruchung

Zu unterscheiden ist zwischen

- dem Zug-Schwellbereich, wenn σ_o und σ_u beide positiv sind ($\sigma_m \geq \sigma_u$; $s = \sigma_u/\sigma_o = 0$ bis $+1$; $r = \sigma_m/\sigma_o = +0,5$ bis $+1$)
- dem Wechselbereich, wenn σ_o und σ_u entgegengesetzte Vorzeichen haben ($\sigma_m < \sigma_u$; $0 > s \geq -1$; $+0,5 > r \geq 0$) und
- dem Druck-Schwellbereich, wenn σ_o und σ_u beide negativ sind ($\sigma_m \geq \sigma_u$; $s = \sigma_u/\sigma_o = 0$ bis $+1$; $r = \sigma_m/\sigma_o = +0,5$ bis $+1$).

4) Umrechnung auf andere Einheiten:

$$1 \text{ kg/mm}^2 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ psi} = 1 \text{ pound per square inch} = 0,000703 \text{ kg/mm}^2 = 0,0703 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kips} = 1000 \text{ pounds per square inch} = 0,703 \text{ kg/mm}^2 = 70,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ ton per square inch} = 1,575 \text{ kg/mm}^2 = 157,5 \text{ kg/cm}^2$$

3 Begriffe und Zeichen der Dauerschwingfestigkeit

3.1 Begriffe der Dauerschwingfestigkeit

3.1.1 Dauerschwingfestigkeit

Die Dauerschwingfestigkeit (kurz Dauerfestigkeit genannt) ist der um eine gegebene Mittelspannung schwingende größte Spannungsausschlag (siehe Abschnitt 3.31), den eine Probe „unendlich oft“ (siehe Abschnitt 4.2) ohne Bruch und ohne unzulässige Verformung⁵⁾ aushält⁶⁾.

3.1.2 Wechselfestigkeit

Die Wechselfestigkeit ist der Sonderfall der Dauerfestigkeit für die Mittelspannung Null; die Spannung wechselt zwischen gleich großen Plus- und Minuswerten. Ihr Zahlenwert ist gleich dem der Ober- und Unterspannung.

3.1.3 Schwellfestigkeit

Die Schwellfestigkeit ist der Sonderfall der Dauerfestigkeit für eine zwischen Null und einem Höchstwert an- und abschwellende Spannung; die Unterspannung ist Null⁷⁾, die Mittelspannung gleich dem Spannungsausschlag und die Schwellfestigkeit gleich der Schwingbreite (s. Abschnitt 3.2).

3.2 Zeichen der Dauerschwingfestigkeit und ihre Bedeutung³⁾

Zeichen	Bedeutung
σ_D	Dauerschwingfestigkeit (allgemeine Bezeichnung)
σ_A	Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit für eine vorgegebene Mittelspannung σ_m
σ_M	Mittelspannung der Dauerfestigkeit (s. Abschnitt 6.22, Absatz 5 und Fußnote ⁸⁾)
σ_O	Oberspannung der Dauerfestigkeit (größter Zahlenwert, unabhängig vom Vorzeichen) für eine vorgegebene Mittelspannung σ_m oder Unterspannung σ_u
σ_U	Unterspannung der Dauerfestigkeit (kleinster Zahlenwert, unabhängig vom Vorzeichen) für eine vorgegebene Mittelspannung σ_m
$2\sigma_A$	Schwingbreite der Dauerfestigkeit = $\sigma_O - \sigma_U$
S	Spannungsverhältnis der Dauerfestigkeit = σ_U/σ_O bzw. σ_u/σ_O , Vorzeichen berücksichtigen
R	Verhältnis σ_M/σ_O , bzw. σ_m/σ_O , Vorzeichen berücksichtigen
σ_A/σ_B	Dauerfestigkeits-Verhältnis = Verhältnis von Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit (σ_A) zur Zugfestigkeit (σ_B)
σ_W	Wechselfestigkeit (früher Schwingungsfestigkeit)
σ_{Sch}	Schwellfestigkeit (früher Ursprungsfestigkeit σ_{Uf})
β_k	Kerbwirkungszahl = σ_A ungekerbt/ σ_A gekerbt

Zusammenfassung der verschiedenen Bezeichnungen im Dauerfestigkeits-Schaubild (siehe Abschnitt 6.2 Bild 5).

⁵⁾ Die Frage, welche Verformung jeweils als unzulässig angesehen wird, richtet sich nach den gegebenen Verhältnissen. Dies gilt vor allem für Dauerschwingversuche in der Wärme (vgl. Abschnitt 7.1) oder für Versuche mit Werkstoffen niedriger Rekristallisationstemperatur bzw. mit Werkstoffen, bei denen die Dauerschwingfestigkeit oberhalb der statischen Fließgrenze liegt (vgl. hierzu Abschnitt 4.5 und 4.6).

⁶⁾ Es wird auch folgende Definition benutzt: Die Dauerschwingfestigkeit (Dauerfestigkeit) ist die höchste Oberspannung, die eine Probe bei fortgesetzten Spannungsschwankungen gegen eine ganz bestimmte Unterspannung „unendlich oft“ ohne Bruch und ohne unzulässige Verformung aushält. Diese Definition betont zu wenig die Abhängigkeit der Dauerschwingfestigkeit vom Spannungsausschlag. Eine Probe, die eine Spannungsschwankung zwischen 30 und 5 kg/mm² gerade noch unendlich lange aushält, kann brechen, wenn bei unveränderter Oberspannung die Unterspannung auf 3 kg/mm² gesenkt wird.

⁷⁾ Bleibt die Unterspannung nahe bei Null, so kann die Differenz zwischen Ober- und Unterspannung gleich der Schwellfestigkeit gesetzt werden.

3.3 Schreibweise der Dauerschwingfestigkeit

3.3.1 Allgemeines

Die Dauerfestigkeit wird für alle Spannungsbereiche geschrieben:

$$\sigma_D = \pm \sigma_A \text{ für } \sigma_m = \dots \dots \text{ kg/mm}^2.$$

Bequem und anschaulich zeigt die symbolische Schreibweise

$$\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A$$

den maßgebenden Zusammenhang zwischen σ_D , σ_m und σ_A ⁹⁾.

Beispiele:

im Wechselbereich:

$$\sigma_D = \pm 10 \text{ kg/mm}^2 \text{ für } \sigma_m = + 7 \text{ kg/mm}^2 \\ = + 7 \pm 10 \text{ kg/mm}^2$$

im Zug-Schwellbereich:

$$\sigma_D = \pm 10 \text{ kg/mm}^2 \text{ für } \sigma_m = + 15 \text{ kg/mm}^2 \\ = + 15 \pm 10 \text{ kg/mm}^2$$

im Druck-Schwellbereich:

$$\sigma_D = \pm 10 \text{ kg/mm}^2 \text{ für } \sigma_m = - 15 \text{ kg/mm}^2 \\ = - 15 \pm 10 \text{ kg/mm}^2$$

3.3.2 Kennzeichen der Dauerschwingbeanspruchung

Bei sonst nicht eindeutig ersichtlicher Beanspruchungsart wird das Zeichen σ durch den Zeiger z , d oder b für Zug-, Druck- oder Biegebeanspruchung ergänzt.

Beispiele:

$\sigma_{zdW} = \pm 20 \text{ kg/mm}^2$	= Zug-Druck-Wechselfestigkeit
$\sigma_{bW} = \pm 30 \text{ kg/mm}^2$	= Biegewechselfestigkeit
$\sigma_{zD} = + 5 \pm 15 \text{ kg/mm}^2$	= Dauerfestigkeit im Zug-Wechselbereich
$\sigma_{dD} = - 20 \pm 15 \text{ kg/mm}^2$	= Druckdauerfestigkeit im Schwellbereich
$\sigma_{bD} = + 15 \pm 10 \text{ kg/mm}^2$	= Biegedauerfestigkeit im Schwellbereich

3.3.3 Kennzeichen für besondere Einflüsse

Einflüsse wie z. B. die der Oberfläche, Gestaltänderung (Kerbwirkung), Korrosion usw. müssen im Versuchsbericht eindeutig gekennzeichnet sein (vgl. Tafel auf Seite 5). Allgemein gültige Zeiger sind hierfür nicht eingeführt.

4 Sonderbegriffe

4.1 Gestaltfestigkeit¹⁰⁾

Gestaltfestigkeit heißt die durch die Nennspannung gekennzeichnete Dauerfestigkeit eines Bauteiles beliebiger Gestaltung (z. B. einer Kurbelwelle). Sie ist kein reiner Werkstoffkennwert, sondern eine durch Form und Bearbeitung beeinflusste, meist herabgesetzte Festigkeit.

⁸⁾ Bei der Mittelspannung und der Unterspannung ist der Zeiger exakt groß oder klein zu schreiben, je nachdem, ob beim Versuch die Mittelspannung der Beanspruchung σ_m vorgegeben ist und die Unterspannung der Dauerfestigkeit $\sigma_U = \sigma_m - \sigma_A$ als Versuchsergebnis gefunden wird, oder ob die Unterspannung der Beanspruchung σ_u eingestellt und die Mittelspannung der Dauerfestigkeit $\sigma_M = \sigma_u + \sigma_A$ beim Versuch ermittelt wird.

⁹⁾ Der Spannungsausschlag σ_A ist für positive Werte der Mittelspannung σ_m und für Oberspannungen unterhalb der Fließgrenze σ_F bei polierten Vollstäben aus Stahl praktisch unabhängig von σ_m ; für Stahl sinkt in diesem Bereich σ_A von 1,0 auf etwa 0,8 bis 0,9 $\cdot \sigma_W$; der wichtigste Dauerfestigkeitswert ist deshalb die Wechselfestigkeit σ_W .

¹⁰⁾ Im Schrifttum bisher auch Dauerhaltbarkeit genannt.