

Mechanische Prüfverfahren

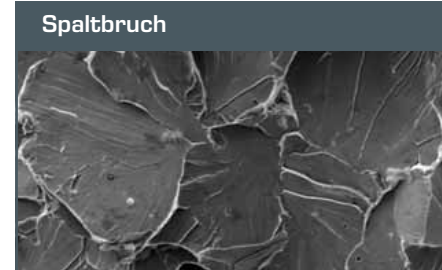
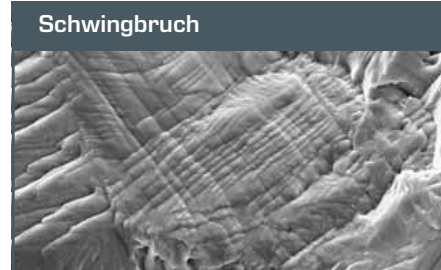
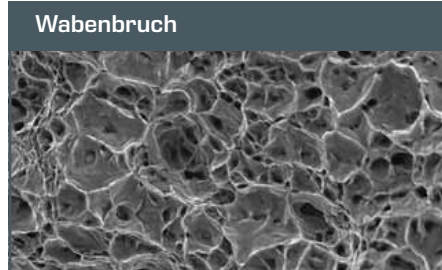
Die Werkstoffprüfung untersucht das Verhalten von Werkstoffen unter verschiedenen Beanspruchungen. Insbesondere werden der Zusammenhang zwischen den wirkenden Kräften und die daraus resultierende Verformung sowie die Grenzbeanspruchungen, die zum Versagen der Bauteile führen, betrachtet.

Die aus den Prüfverfahren gewonnenen Kennwerte werden herangezogen zur Werkstoffentwicklung, zur Auslegung von Bauteilen sowie in der Anwendung zur Qualitätssicherung. Um die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe möglichst präzise zu charakterisieren, existieren eine Reihe von genormten Prüfverfahren:

Mechanische Eigenschaft	Prüfverfahren
Elastizität, Plastizität	Zugversuch, Druckversuch, Biegeversuch, Torsionsversuch
Werkstoffverhalten unter statischer Beanspruchung	
Zeitstandverhalten	Zeitstandversuch
Härte	Brinell, Rockwell, Vickers
Zähigkeit	Kerbschlagbiegeversuch
Ermüdungsverhalten, Dauer- / Wechselfestigkeit	Wöhlerversuch

Das Bruchverhalten wird zur Charakterisierung des Werkstoffes herangezogen. Einen Zusammenhang zwischen Bruchmechanismus und Beanspruchung zeigt die folgende Übersicht:

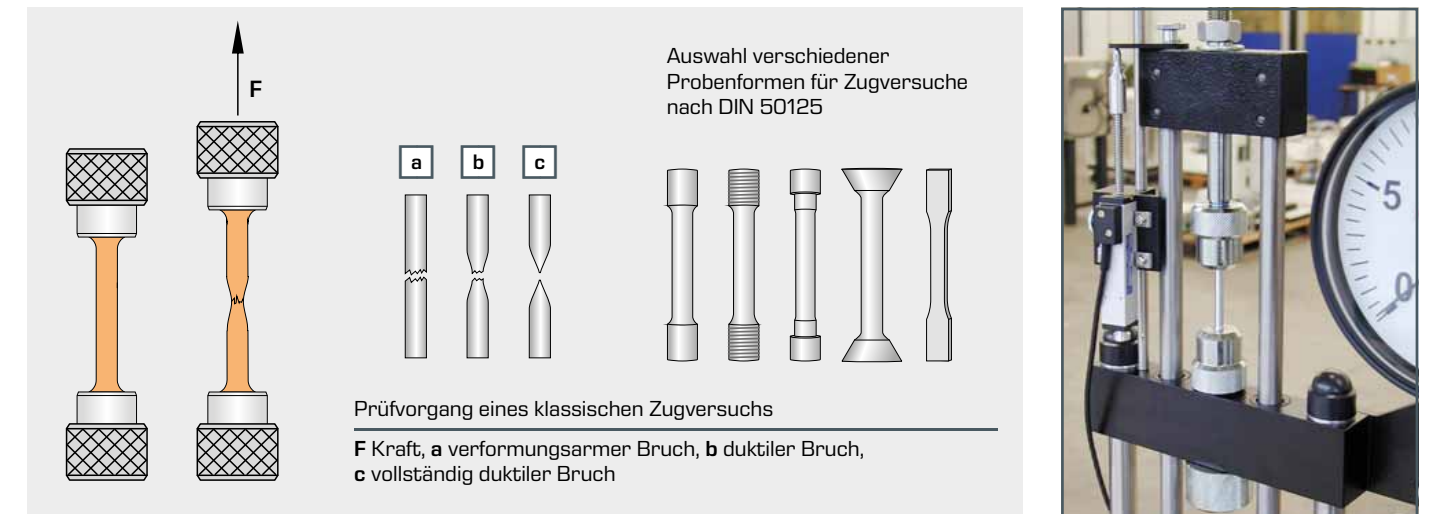
Bruchform	Bruchmechanismus	Beanspruchung
Rewaltbruch <ul style="list-style-type: none"> tritt schlagartig auf matte oder kristallin glänzende und teilweise zerklüftete Oberfläche über den gesamten Querschnitt; bei Verformungsbrüchen treten am Rand häufig Scherlippen auf 	Statische Überbeanspruchung <ol style="list-style-type: none"> der verformungsarme Spaltbruch tritt auf, wenn die größte Normalspannung die Spaltbruchspannung überschreitet der Verformungsbruch (mikroskopisch Wabenbruch) tritt auf, wenn die größte Schubspannung die Fließspannung überschreitet ein verformungsarmer interkristalliner Bruch kann auftreten bei einer Verminderung der Korngrenzkohäsion unter dem Einfluss einer Normalspannung 	Zugversuch, Kerbschlagversuch
Schwingbruch <ul style="list-style-type: none"> kann sich nach wiederholter Beanspruchung unter Einfluss von Schub- oder Normalspannungen ausbilden verformungsarmer Bruch 	Dynamische Überbeanspruchung <p>Ausgehend von Kerben oder Fehlstellen breiten sich Schwingungsrisse durch den Werkstoff aus. Beim Überschreiten der Werkstofffestigkeit bricht die Restfläche durch einen Gewaltbruch.</p>	Wöhlerversuch
Kriechbruch <ul style="list-style-type: none"> kontinuierlicher zeitabhängiger Vorgang setzt ein bei höheren Temperaturen und führt schließlich zum Bruch, obwohl der Werkstoff unterhalb der Warmstreckgrenze beansprucht wird Poren an Korngrenzen führen zu einer Werkstoffschädigung 	Statische Beanspruchung z. B. erhöhte Temperatur <p>unabhängig voneinander bilden sich unzählige Anrisse</p>	Zeitstandversuch



Zugversuch zur Bestimmung der Zugfestigkeit und Bruchdehnung

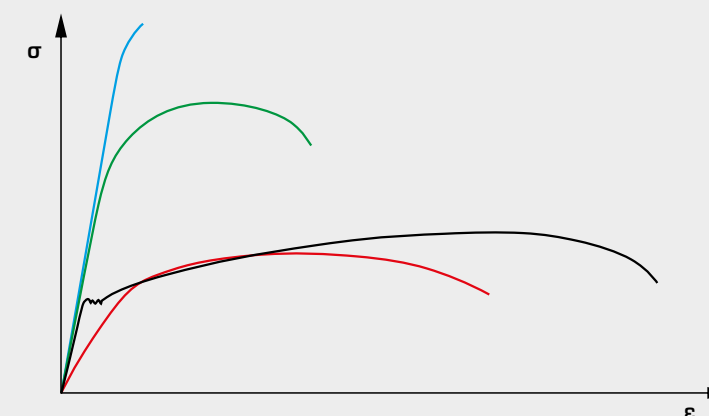
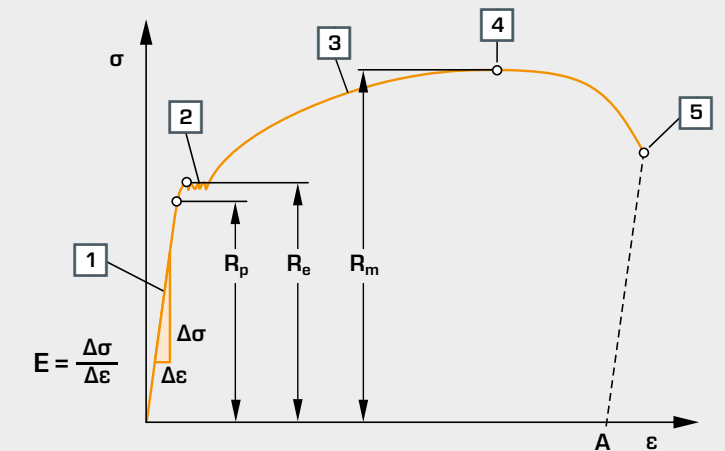
Der Zugversuch gilt als wichtigstes Prüfverfahren in der zerstörenden Werkstoffprüfung. Dabei wird die genormte Probe mit bekanntem Querschnitt gleichmäßig mit relativ gering ansteigender Kraft in Längsrichtung bis zum Bruch belastet. Bis zum

Beginn der Einschnürung herrscht in der Probe ein einachsiger Spannungszustand. Aus dem aufgezeichneten Kraft-Verlängerungs-Diagramm kann das Verhältnis von Spannung zu Dehnung dargestellt werden.



Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm zeigt das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Werkstoffe besonders deutlich und liefert die Kennwerte für Zugfestigkeit R_m , Streckgrenze R_e , Proportionalitätsgrenze R_p , Bruchdehnung A sowie den Elastizitätsmodul E .

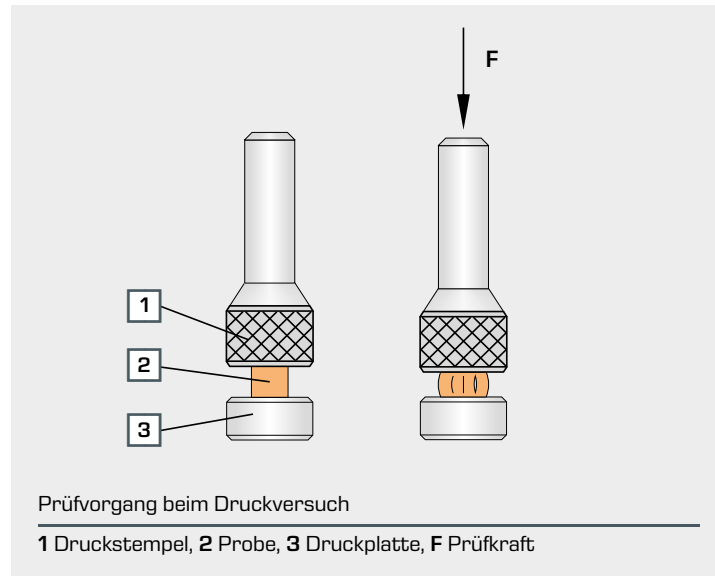


Jeder Werkstoff hat einen charakteristischen Verlauf von Dehnung und Spannung.

- gehärteter Stahl: sehr hohe Zugfestigkeit
- vergüteter Stahl: hohe Zugfestigkeit
- Stahl mit geringer Festigkeit: sehr hohe Dehnung, geringe Zugfestigkeit
- Aluminiumlegierung: geringer Elastizitätsmodul

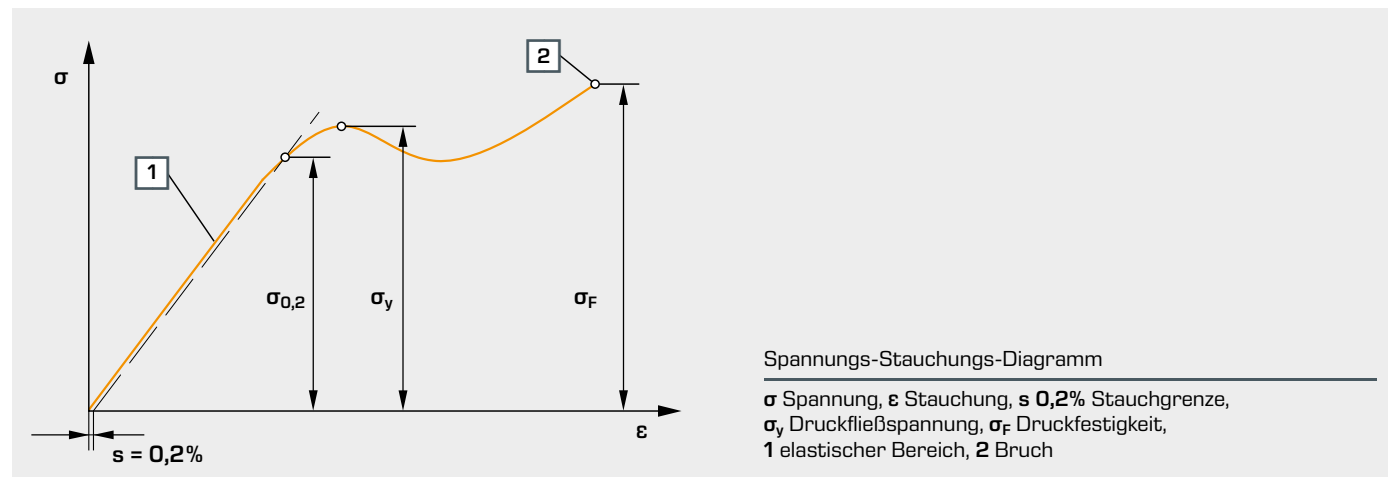
Mechanische Prüfverfahren

Druckversuch zur Bestimmung von Fließkurven



Druckversuche haben für die Prüfung metallischer Werkstoffe weniger Bedeutung als Zugversuche. Bei der Untersuchung von Baustoffen wie Naturstein, Ziegel, Beton, Gebrauchsholz usw. hat der Druckversuch allerdings grundsätzliche Bedeutung. Dabei wird die genormte Probe mit bekanntem Querschnitt gleichmäßig mit gering ansteigender Kraft in Längsrichtung bis zum Bruch belastet. In der Probe herrscht ein einachsiger Spannungszustand. Aus dem aufgezeichneten Kraft-Weg-Diagramm kann das Verhältnis von Spannung zu Stauchung dargestellt werden. Das **Spannungs-Stauchungs-Diagramm** zeigt das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Werkstoffe besonders deutlich und liefert die Kennwerte für Druckfestigkeit, 0,2%-Stauchgrenze sowie die Druckfließspannung.

Spannungs-Stauchungs-Diagramm



Verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Härte

Als Härte bezeichnet man den mechanischen Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt.

Prinzip der Härteprüfung nach Brinell

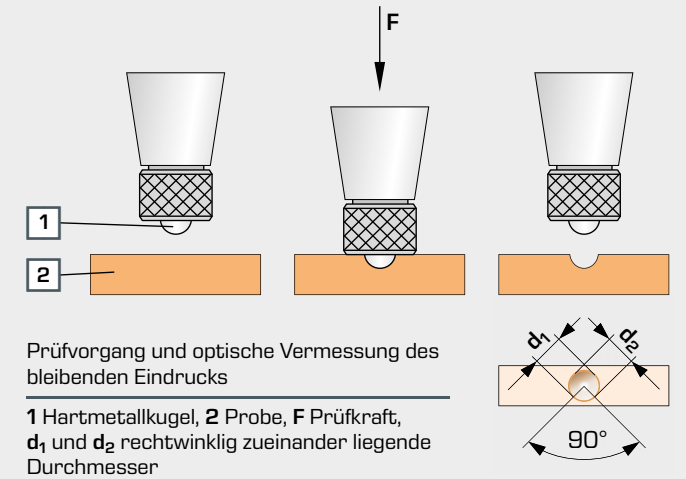
Bei diesem Prüfverfahren wird ein genormter Prüfkörper, eine Hartmetallkugel, unter festgelegten Bedingungen in das Werkstück gedrückt. Im Anschluss wird die Oberfläche des bleibenden Eindrucks optisch gemessen. Aus dem Eindruckdurchmesser und dem Kugeldurchmesser wird die Eindruckoberfläche berechnet. Unter dem eindringenden Prüfkörper bildet sich in der Probe ein dreiachsiger Spannungszustand aus.

Die Brinell-Härte berechnet sich aus Prüfkraft und Eindruckoberfläche des Kugelabschnittes.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} \quad 0,102 = \frac{1}{9,81} = \frac{1}{g}$$

zur Umrechnung von N in Kilopond

HB Härtewert Brinell, F Prüfkraft in N, A_B Eindruckoberfläche in mm², g=9,81 Erdbeschleunigung

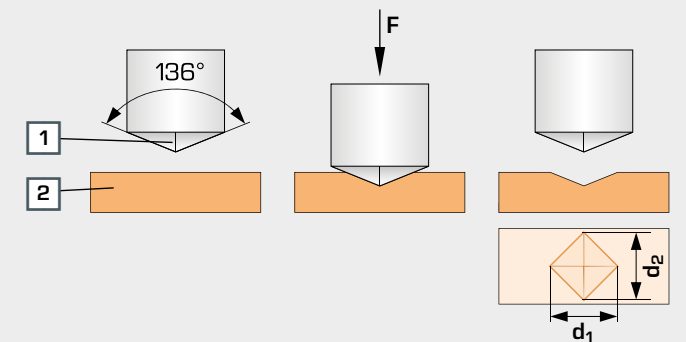


Prinzip der Härteprüfung nach Vickers

Das Prüfverfahren gleicht der Härteprüfung nach Brinell. Im Unterschied zum Brinell-Verfahren wird als Prüfkörper ein pyramidenförmiger Diamant verwendet. Durch Ausmessen der beiden Diagonalen d₁ und d₂ und durch Bildung des Mittelwertes wird die Eindruckdiagonale ermittelt. Die Vickershärte ergibt sich als Quotient aus Prüfkraft und Eindruckoberfläche.

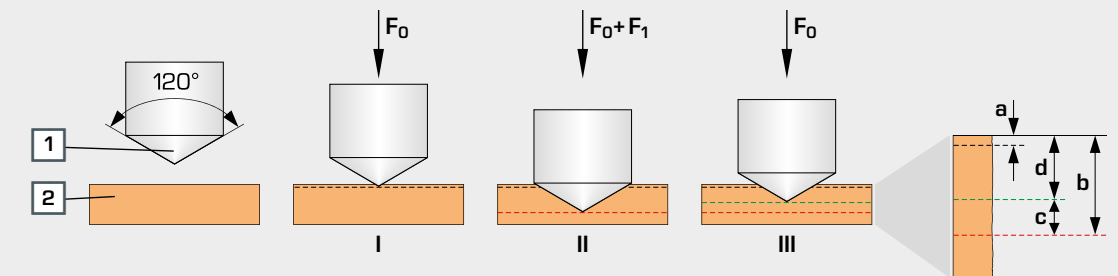
Prüfvorgang und optische Vermessung des bleibenden Eindrucks

1 pyramidenförmiger Diamant, 2 Probe, F Prüfkraft, d₁ und d₂ Diagonalen



Prinzip der Härteprüfung nach Rockwell

Das Härteprüfverfahren nach Rockwell ermöglicht das direkte Ablesen der Härtezahl als Differenz der Eindringtiefen an der Messuhr.



Prüfvorgang und Vermessung der Eindringtiefe

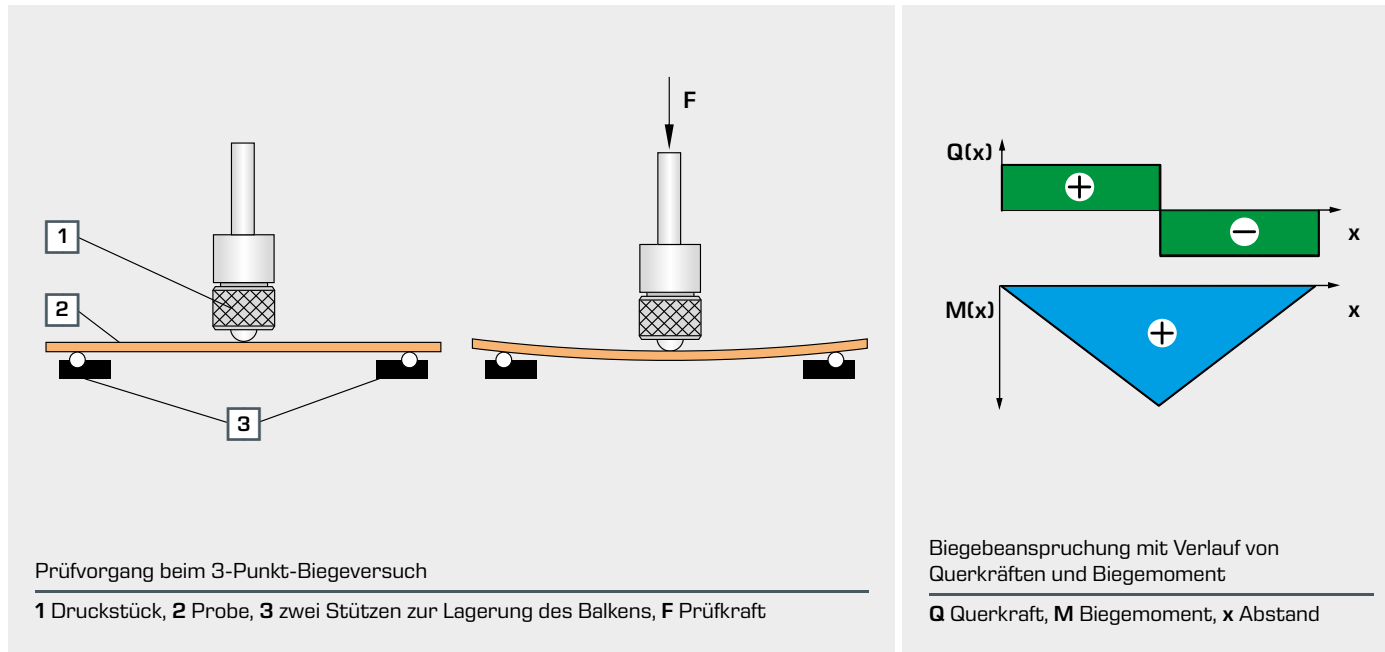
1 Diamantkegel, 2 Probe, I Prüfvorkraft F₀ wird auf den Prüfkörper aufgebracht und die Messuhr auf Null gestellt, II Prüfüzusatzkraft F₁ wird für eine bestimmte Einwirkdauer aufgebracht, III Prüfüzusatzkraft F₁ wird entfernt, a Eindringtiefe durch Prüfvorkraft F₀, b Eindringtiefe durch Prüfüzusatzkraft F₁, c elastische Rückverformung nach Rücknahme der Prüfüzusatzkraft F₁, d bleibende Eindringtiefe h

Mechanische Prüfverfahren

Biegeversuche zur Untersuchung des Deformationsverhaltens

Der am häufigsten untersuchte Biegelastfall in der Werkstoffprüfung ist der 3-Punkt-Biegeversuch. Dabei wird ein Balken, der auf zwei Stützen gelagert ist und durch eine einzelne Kraft mittig belastet wird, untersucht. Der Biegeversuch demon-

striert den Zusammenhang zwischen der Belastung eines Biegebalkens und dessen elastischer Verformung. Die Einflüsse von Elastizitätsmodul und Flächenträgheitsmoment werden deutlich.

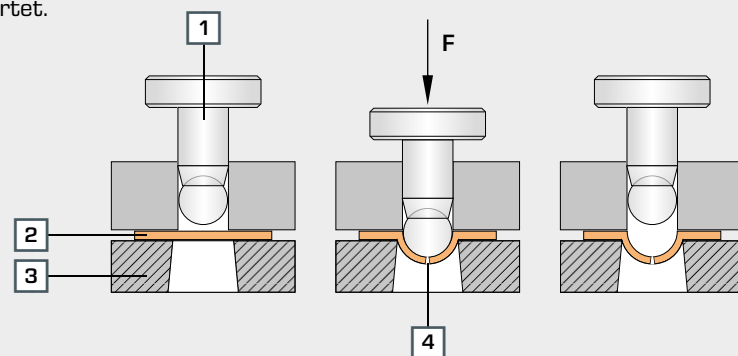


Tiefungsversuch zur Bestimmung der Tiefungsfähigkeit (Kaltverformbarkeit) von Blechen und Bändern

An Bleche und Bänder werden für das Tiefziehen hohe Anforderungen in Bezug auf ihre Kaltverformbarkeit gestellt. Während der Bearbeitung dürfen an diesen Feinblechen keine Risse auf-

treten. Der Tiefungsversuch überprüft daher die Kaltverformbarkeit bei Blechen.

Die zu prüfende Tiefungsprobe wird zwischen Blechhalter und Matrize eingespannt und mit einem gehärteten kugligen Stempel eingebeult (getieft) bis zum Anriss der Probe. Die erzielte Tiefe gilt als Vergleichsmaß für die Kaltverformbarkeit. Außerdem werden die Art des Risses und die Oberflächenstruktur des ausgebeulten Bereichs bewertet.



Scherversuch zur Untersuchung der Belastungsfähigkeit gegen Abscherung

Der Scherversuch wird bei der Prüfung von Schrauben, Nieten, Stiften und Passfedern angewendet, um die Scherfestigkeit des Werkstoffes bzw. das Verhalten des Werkstoffes bei Scherbeanspruchung zu ermitteln. Dazu werden in der Probe Schubspannungen durch äußere, auf die Probe einwirkende, Querkräfte

erzeugt, bis die Probe bei Versagen abscheret. Der Widerstand eines Werkstoffes gegenüber der Schubbeanspruchung kann mit zwei verschiedenen Verfahren, dem einschnittigen und dem zweischnittigen Prüfverfahren, ermittelt werden.

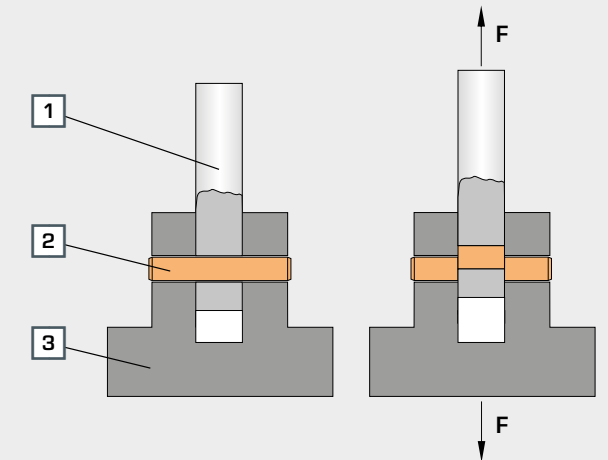
Beim zweischnittigen Verfahren wird die Probe an zwei Querschnitten abgescheret, beim einschnittigen Verfahren schert die Probe nur an einem Querschnitt ab. Die Berechnung der Scherfestigkeit der beiden Verfahren unterscheidet sich in der anzusetzenden Querschnittsfläche. Die im Scherversuch ermittelte Scherfestigkeit ist wichtig bei der Dimensionierung von Schrauben, Nieten und Stiften sowie bei der Berechnung des Kraftbedarfs beim Scheren und Stanzen.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

Scherfestigkeit beim zweischnittigen Verfahren
 τ Scherfestigkeit, F Kraft, A Scherfläche

Prüfvorgang beim zweischnittigen Scherversuch

1 Zuglasche, 2 Probe, 3 Gehäuse, F Prüfkraft



Torsionsversuch zur Untersuchung des plastischen Verhaltens von Werkstoffen

Bauteile, die rotierenden Bewegungen ausgesetzt sind, werden auf Verdrehung beansprucht. Diese Verdrehung wird als Torsion bezeichnet. Die im Torsionsversuch ermittelte Torsionsfestigkeit gilt als Orientierung für die Beanspruchbarkeit des Werkstoffes.

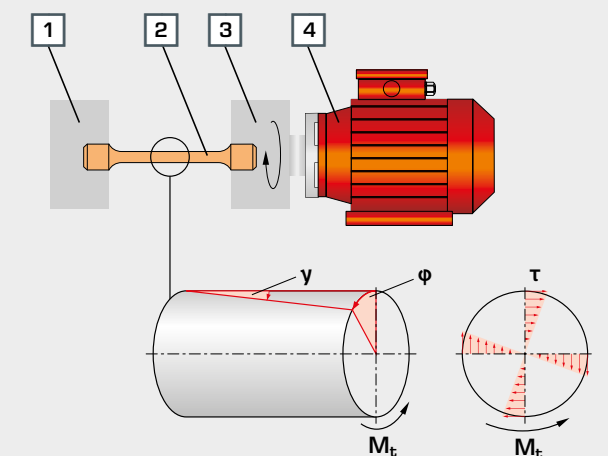
Angewandt wird dieses Verfahren bei Wellen, Achsen, Drähten und Federn sowie zur Beurteilung des Zähigkeitsverhaltens von Werkzeugstählen.

Beim Torsionsversuch wird eine Probe an einem Ende fest eingespannt und am anderen Ende durch ein stetig wachsendes Drehmoment, das Torsionsmoment, belastet. Das Torsionsmoment verursacht Schubspannungen im Querschnitt der Probe und es entsteht ein Spannungszustand, der zur Verformung – bis hin zum Bruch – führt.



Prüfvorgang beim Torsionsversuch

1 feste Einspannung, 2 Probe, 3 rotierende Einspannung, 4 Antrieb;
 M_t Torsionsmoment, γ Scherwinkel, φ Verdrehwinkel,
 τ Schubspannung



Mechanische Prüfverfahren

Kerbschlagbiegeversuch zur Bestimmung der Zähigkeitseigenschaft

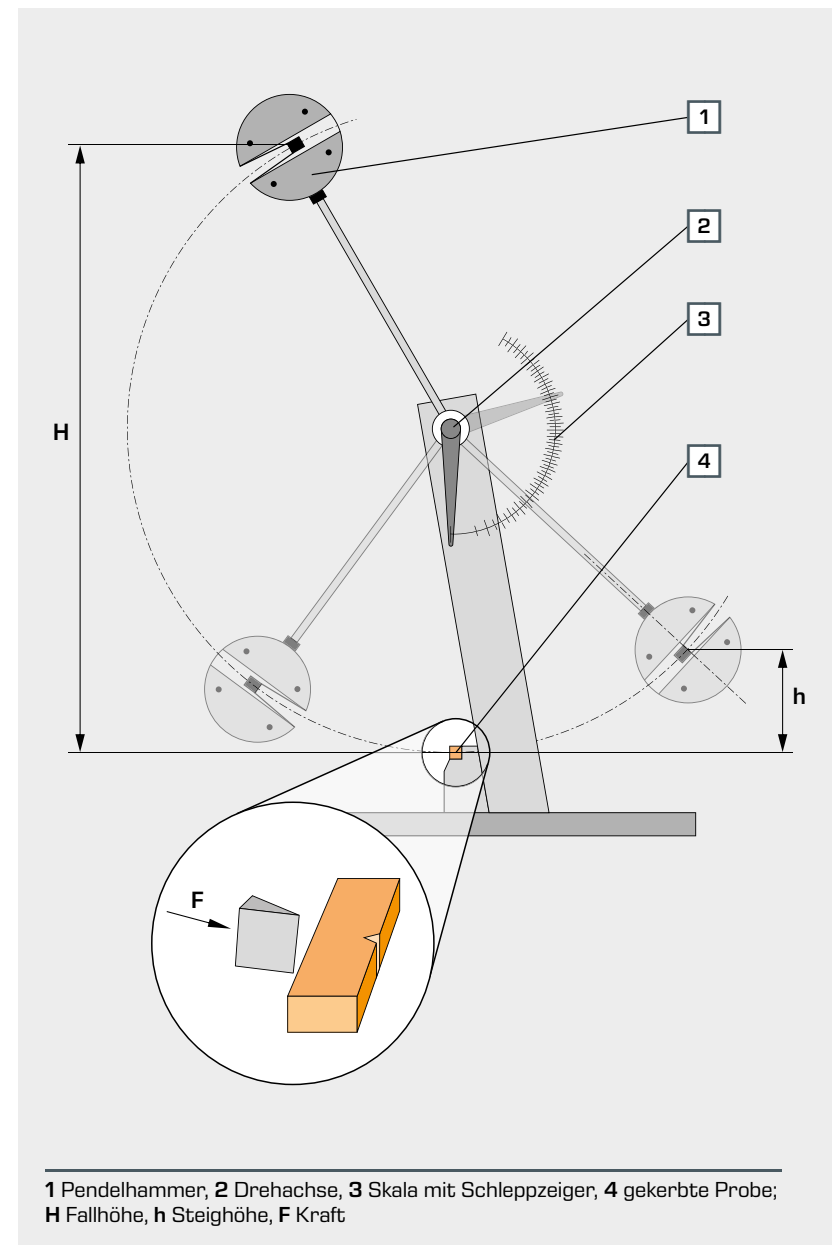
Der Kerbschlagbiegeversuch ist ein Verfahren mit schlagartiger Beanspruchung und eignet sich vorwiegend für die Feststellung der Trennbruchneigung bzw. Zähigkeitseigenschaft eines Werkstoffes. Das Prüfverfahren liefert keine Werkstoffkennwerte. Die ermittelten Werte des Kerbschlagbiegeversuchs, die Kerbschlagzähigkeit, gehen nicht direkt in Berechnungen zur Festigkeit ein, sondern helfen nur zur groben Werkstoffauswahl für bestimmte Aufgaben.

Das Verformungsverhalten ist oft ein wichtiges Kriterium für die Werkstoffauswahl. So kann schnell festgestellt werden, welche der gewählten Werkstoffe spröde oder zäh sind. Die Sprödigkeit

des Werkstoffes hängt dabei nicht alleine vom Werkstoff ab, sondern auch von den äußeren Gegebenheiten, wie z. B. Temperatur, Spannungszustand.

Unterschiedliche Prüfverfahren zur Bestimmung der Kerbschlagzähigkeit kommen zur Anwendung. Im Prüfverfahren nach Charpy wird der Prüfkörper an zwei Seiten gelagert und das Schlagpendel trifft in der Mitte des Prüfkörpers auf Höhe der Kerbe auf. In den Prüfverfahren nach Izod und nach Dynstat steht der Prüfkörper hochkant und das Pendel trifft oberhalb der Kerbe auf das freie Ende des Prüfkörpers.

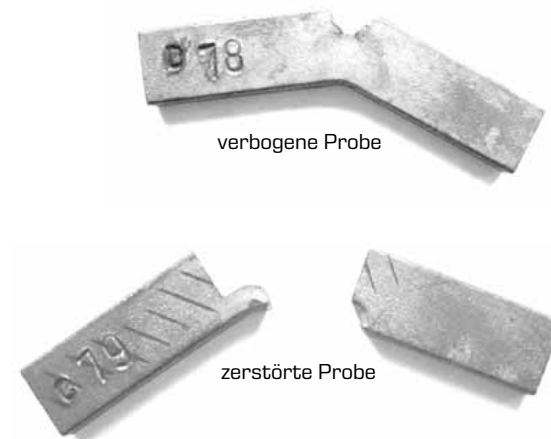
Prinzip des Kerbschlagbiegeversuchs nach Charpy



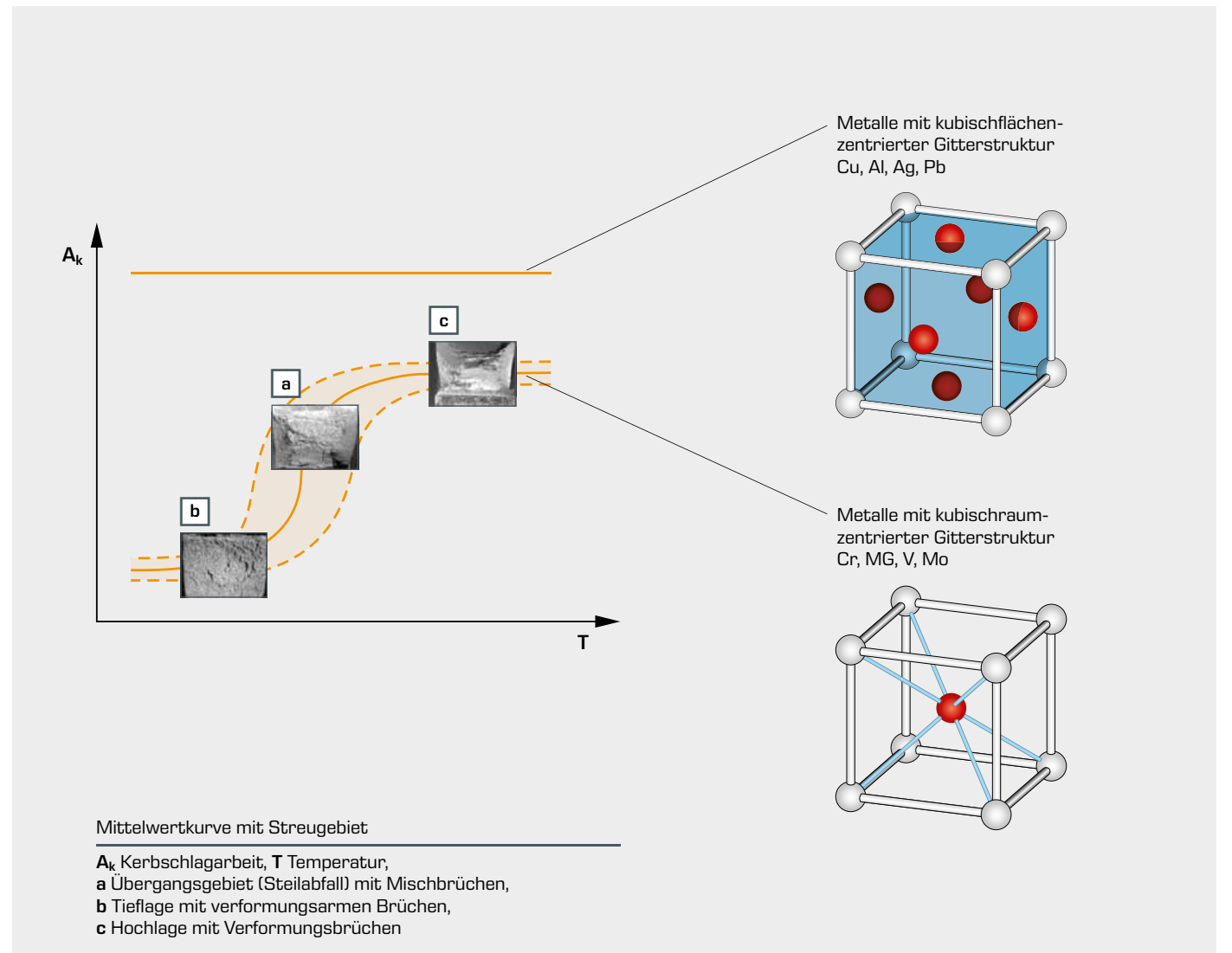
Beim Kerbschlagbiegeversuch fällt ein Pendelhammer von einer maximalen Höhe herunter. In seinem tiefsten Punkt trifft der Hammer bei dem Prinzip nach Charpy auf die Rückseite einer gekerbten Probe. Beim Durchschlagen oder Durchziehen der Probe durch die Widerlager gibt der Hammer seine Schlagenergie an die Probe ab. Die Restenergie des Hammers wird bei jedem Durchschwingen durch den tiefstmöglichen Punkt (Nullpunkt) reduziert und der Hammer somit abgebremst. Beim Durchschwingen des Hammers durch den Nullpunkt wird der Schleppeizer mitgeschleppt und die aufgewandte Arbeit für den Kerbschlag auf einer Skala angezeigt.

Die Form der Kerbschlagproben ist genormt.

Die benötigte Kerbschlagarbeit ist die benötigte Kraft, um eine definiert gekerbte Probe durchzuschlagen. Die aus der Kerbschlagarbeit ermittelte Kerbschlagzähigkeit ist ein Maß für die Sprödigkeit des Werkstoffes.



Kerbschlagarbeit-Temperatur-Diagramm



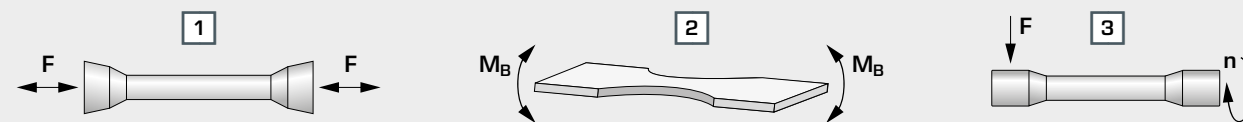
Mechanische Prüfverfahren

Werkstoffermüdung

Dauerfestigkeitsversuch

Die Dauerfestigkeit definiert die Belastungsgrenze, bis zu der ein Werkstoff, der dynamisch belastet wird, ohne Bruch widersteht. Vor allem bewegte Maschinenteile unterliegen dynamischen Belastungen, ausgelöst zum Beispiel durch Schwingungen.

Dabei tritt nach einer hohen Lastwechselzahl ein Bruch bereits bei Spannungen auf, die weit unter der Streckgrenze und weit unter der Bruchspannung liegen.

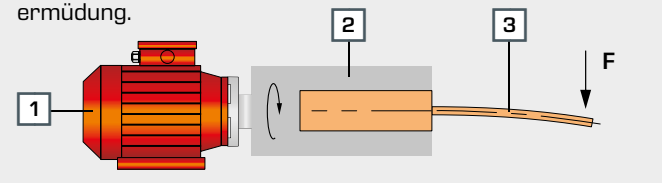


Unterschiedlich belastete Proben

1 Probe mit Zug- Druckbeanspruchung, 2 Probe mit Beanspruchung durch Wechselbiegung, 3 Probe mit Beanspruchung durch Umlaufbiegung; F Kraft, M_B Biegemoment, n Drehzahl

Prinzip des Dauerfestigkeitsversuchs mit Beanspruchung auf Umlaufbiegung

Beim Dauerfestigkeitsversuch wird eine sich drehende, einseitig eingespannte Probe mit einem Biegemoment belastet. In der zylindrischen Probe entsteht dadurch eine wechselnde Beanspruchung durch Umlaufbiegung. Nach einer gewissen Anzahl von Lastzyklen bricht die Probe infolge von Werkstoffermüdung.



1 Antrieb, 2 feste Einspannung, 3 rotierende Probe

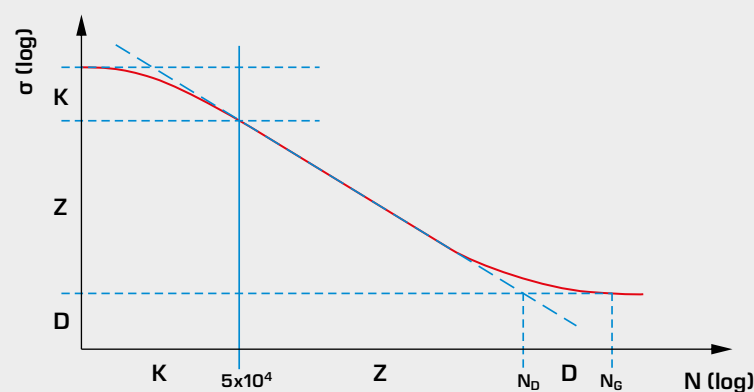


Beurteilung der Bruchfläche nach dem Dauerfestigkeitsversuch

1 bis 3 Schwingbruch, 4 Restgewaltbruch

Wöhler-Diagramm zur Versuchsauswertung

Im Wöhler-Diagramm wird der Zusammenhang zwischen Lastwechsel bis zum Bruch und zugehöriger Spannungsbeanspruchung grafisch aufgetragen.



N Lastwechsel, σ Spannungsbeanspruchung, K Kurzzeitfestigkeit, Z Zeitfestigkeit, D Dauerfestigkeit, N_D Lastwechselzahl ab der Dauerfestigkeit besteht, N_G Grenzlastwechselzahl

Das Wöhler-Diagramm beinhaltet drei Bereiche:

Kurzzeitfestigkeit: überschreitet eine Belastungsgrenze, bei der es grundsätzlich zur Schädigung der Probe kommt

Zeitfestigkeit: mit zunehmender Belastung besteht eine immer geringer werdende Lastwechselzahl bis zum Bruch der Probe

Dauerfestigkeit: max. Spannung, die eine Probe unendlich oft und ohne unzulässige Verformung aushält, mindestens jedoch bis zur Grenzlastwechselzahl N_G

Lebensdauer: Anzahl N der Lastwechsel bis zum Bruch bei einer bestimmten Belastung

Zeitstandversuch zur Untersuchung von Kriechvorgängen

Werkstoffe verhalten sich bei lang anhaltenden statischen Belastungen bei erhöhten Temperaturen anders als bei der gleichen Belastung bei Raumtemperatur. Erhöhte Temperaturen führen bereits bei Spannungen unterhalb der Warmstreckgrenze ohne

Laststeigerung nach einer gewissen Zeit zu einer langsamen, aber stetigen irreversiblen, plastischen Verformung, auch als Kriechen bezeichnet. Nach einer genügend langen, gleichbleibenden Belastungszeit führt dies zum Bruch der Probe.

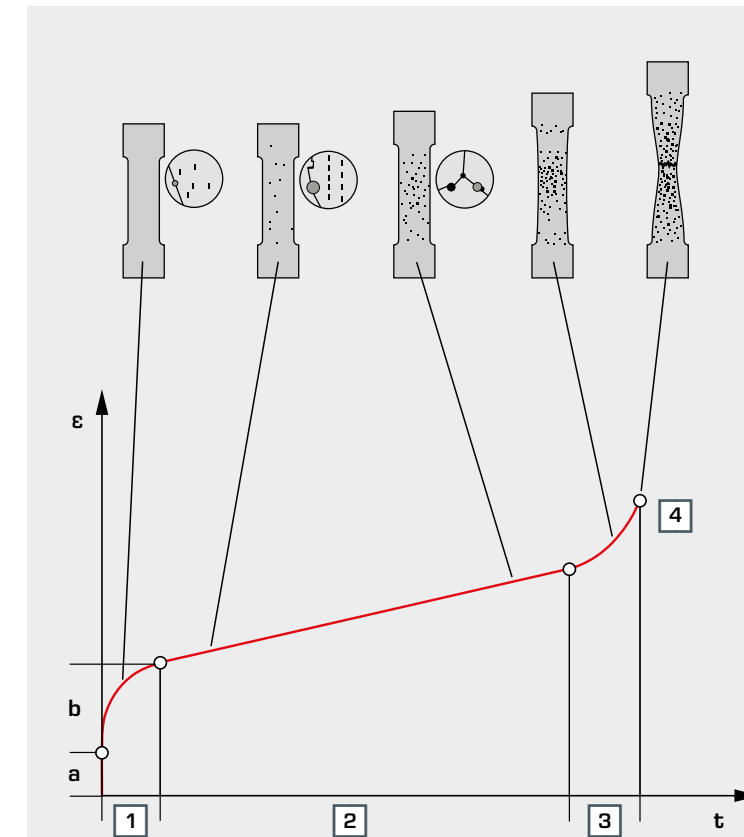
Prinzip des Zeitstandversuches

Im Zeitstandversuch wird eine Probe bei konstanter Spannung unter konstanter Temperatur belastet. Dieser Versuch wird mehrfach mit unterschiedlichen Spannungen, aber einer immer gleichbleibenden Temperatur durchgeführt. In kontinuierlichen Zeitabständen werden die plastischen Dehnungen gemessen. Alle gemessenen Werte können anschließend in ein Zeitstand-Diagramm übertragen werden. Die gemessene Deh-

nung zeigt einen charakteristischen Verlauf, der als Kriechkurve bezeichnet wird. Im Zeitstandversuch werden die Kennwerte für die Zeitstandfestigkeit sowie die verschiedenen Dehnungsbeträge ermittelt.

Zeitdehnlinie

Wird die Dehnung über der Zeit aufgetragen, so erhält man die sogenannte Zeitdehnlinie.



Veränderung der Probe im Versuchsverlauf

t Zeit, ϵ Dehnung, 1 primäres Kriechen, 2 sekundäres Kriechen, 3 tertiäres Kriechen, 4 Bruch der Probe, a elastische Verformung, b plastische Verformung

Zeitstandfestigkeit (Zeitbruchgrenze / Zeitdehngrenze): mechanische Spannungen, die bleibende Dehnungen oder Bruch bewirken

Dehnungsbeträge: Kriechdehnung, bleibende Dehnung, plastische Anfangsdehnung, anelastische Rückdehnung

Bei der Zeitdehnlinie werden drei Phasen in technische Kriechbereiche unterschieden:

Phase 1, das primäre Kriechen mit Abnahme der anfangs sehr hohen Kriechgeschwindigkeit. Hier überwiegt der Einfluss der Werkstofffestigkeit (schnelles Kriechen).

Phase 2, das sekundäre Kriechen mit praktisch konstanter Kriechgeschwindigkeit. Das Versetzungsklettern beim Überwinden von Fließhindernissen befindet sich in einem stationären Gleichgewicht.

Phase 3, das tertiäre Kriechen mit wieder zunehmender Kriechgeschwindigkeit bis zum Bruch infolge zunehmender Brucheinschnürung und Erhöhung der wirklichen Spannungen. Bei verformungsarmen Brüchen kann die Phase 3 sehr kurz sein.