

S.

Prof. Dr. Karin Lutterbeck

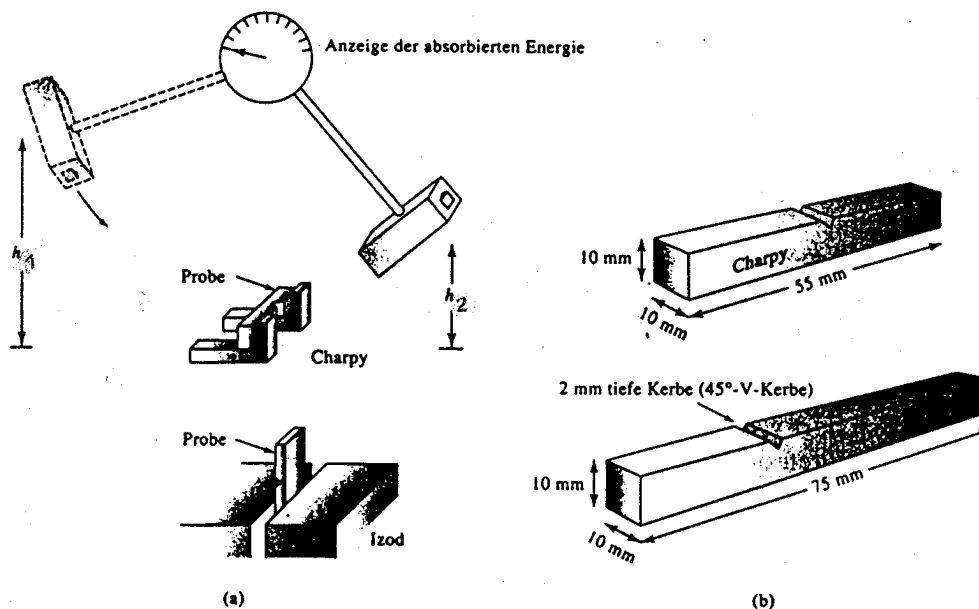
Prof. Dr. Helmut Winkel

## Kerbschlagbiegeversuch

Stand: Oktober 00

Der Kerbschlagbiegeversuch beinhaltet eine schlagartige Werkstoffbeanspruchung und gehört in die Gruppe der dynamischen Festigkeitsprüfung. Er dient zur Feststellung der Widerstandsfähigkeit des Werkstoffes gegen schlagartige Biegebeanspruchung, wobei die Bedingungen noch durch Einkerbung der Proben verschärft sind (Bild 1) /1/.

Die gekerbte Probe, deren beiden Enden an Widerlagern anliegen, wird mit einem Schlag gebrochen oder durch die Widerlager gezogen. Die verbrauchte Schlagarbeit wird gemessen. Zu der Vielzahl hierfür entwickelter Prüfmethoden zählen die Kerbschlagbiegeversuche nach *Charpy* und *Izod*. Das Izod-Verfahren kommt vorwiegend bei nichtmetallischen Stoffen zur Anwendung (Bild 1) /1/.



**Bild 1:** Schlagversuch nach den Methoden von Charpy und Izod.  
(a) Probenanordnung, (b) Probenabmessung.

Flache unversehrte Probestäbe aus weichen metallischen Werkstoffen lassen sich häufig um  $180^\circ$  biegen, wird jedoch vorher eine Kerbe eingeschlagen (z.B. mit einem Meißel), brechen die gleichen Proben bei wesentlich kleineren Biege winkeln. Das gilt besonders, wenn eine schlagartige Biegebeanspruchung vorliegt. Kerben, die auch durch unsachgemäße Bearbeitung entstehen können, vermindern den Materialquerschnitt und damit die Widerstandsfähigkeit gegenüber schlagartiger Beanspruchung.

Bei dieser schlagartigen Belastung, die mit extrem großer Verformungsgeschwindigkeit verbunden ist, verhalten sich die Werkstoffe sehr viel spröder als unter den Bedingungen der quasi statischen Zugfestigkeitsprüfung. Verschiedene Werkstoffe haben ein unterschiedliches Vermögen, bei hohen Verformungsgeschwindigkeiten die auftretenden Spannungen auszugleichen. Tritt der Bruch ohne vorausgehende plastische Formänderung ein, so spricht man von **Trennbruch** (Sprödbbruch). Er tritt dann auf, wenn in einem Körper die Trennfestigkeit (Kohäsion) von der größten

Prof. Dr. Karin Lutterbeck

Prof. Dr. Helmut Winkel

Zugspannung erreicht wird, ehe die Schubspannung den Gleitwiderstand überschreitet. Die beim Trennbruch verbrauchte Arbeit ist gering, der Werkstoff

erscheint spröde. Die Trennbruchfläche verläuft vorwiegend durch Spaltebenen innerhalb der Kristalle (trans-kristallin), hat daher ein körniges glitzerndes Aussehen. Die Neigung zum Trennbruch wächst mit fallender Temperatur und steigender Verformungsgeschwindigkeit. Trennbrüche werden bevorzugt bei kubisch-raumzentrierten (krz) und hexagonalen (hex) Materialien beobachtet /2/.

Ein **Verformungsbruch** (duktiler, Schiebungs- oder Gleitbruch) tritt nach bleibender Formänderung ein. Hier überschreitet die Schubspannung den Gleitwiderstand, bevor die Trennfestigkeit erreicht wird. Durch die mit der Verformung einhergehende Verfestigung wächst erfahrungsgemäß der Gleitwiderstand stärker als die Trennfestigkeit. Bleibt die Zugfestigkeit trotzdem unter der Trennfestigkeit, so erfolgt der Bruch schließlich durch Abscheren: Verformungsbruch. Die beim Verformungsbruch verbrauchte Arbeit ist groß, der Werkstoff scheint zäh. Die Bruchfläche hat sehniges Aussehen.

Treten beide Brucharten nebeneinander auf, so spricht man von einem **Mischbruch**.

## Prüfprinzip

Eine einseitig gekerbte Probe wird durch einen Pendelhammer zerschlagen (Bild 1). Beim Auftreffen auf die der Kerbe gegenüberliegende Seite der Probe hat die Schlagvorrichtung eine Geschwindigkeit von ca. 5 m/s. Der Versuch bei RT ist nach DIN EN 10045-1 genormt.

Fallarbeit (potentielle Energie):

$$W1 = G \times h1$$

Steigarbeit (verbleibende Energie)

$$W2 = G \times h2$$

G = Gewicht des Pendels

h1 = Fallhöhe des Pendels vor dem Zerschlagen

h2 = Steighöhe des Pendels nach dem Zerschlagen

Die zu ermittelnde Kerbschlagarbeit  $K = W1 - W2$  ist die zur Verformung und Trennung der Probe verbrauchte **Schlagarbeit**:

$$K = G (h1 - h2) \quad \text{in Joule (J)}$$

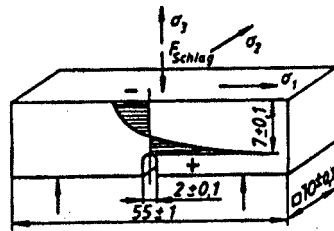
Für den Versuch sind mehrere Probenabmessungen genormt (siehe Bild 1 und DIN EN 10045 Teil 1, Seite 6 /3/)

Die plötzlich wirkende Schlagkraft G ruft einen räumlichen Spannungszustand hervor (Normalspannungen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$ , in Richtung der Hauptachsen x, y und z eines räumlich rechtwinkligen Koordinatensystems) (Bild 2). Der Verlauf der Spannung in der Betrachtungsebene ist in der Skizze enthalten. Kann der Werkstoff

Prof. Dr. Karin Lutterbeck

Prof. Dr. Helmut Winkel

diese Belastungsspitze nicht durch plastische Formänderung ausgleichen, entsteht ein Riß bzw. das Teil bricht /4/.



**Bild 2:** Kerbschlagprobe mit schematischer Darstellung des Spannungszustandes beim Aufschlag des

Pendelhammers (Probe mit U-Kerb)

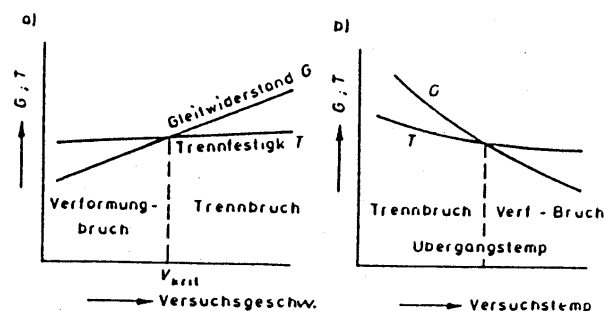
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  Normalspannungen in Richtung der Hauptachsen X,Y,Z

Alle Kerben bringen Gefahr für dynamisch beanspruchte Maschinenteile. Dies können Bohrungen, Gewinde, Rillen, Absätze, Nuten usw. sein und Materialfehler, die gleiches bewirken (wie z.B. Lunken, Schlackeneinschlüsse, spröde und grobe Gefügeanteile).

Die verwendete Kerbform wird durch Kurzzeichen beim Meßergebnis mit angegeben.

### Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit

Mit steigender Verformungsgeschwindigkeit wächst in Metallen die Trennfestigkeit nur wenig, der Gleitwiderstand jedoch erheblich (Bild 3a). Denn im Gegensatz zum Trennen ist das Gleiten mit der (atomar gesehen) zeitraubenden Wanderung von Versetzungen verbunden und läßt sich nur durch die Steigerung der Belastung beschleunigen, so daß bei einer „kritischen Geschwindigkeit“ schließlich die Trennfestigkeit erreicht wird, bevor der Gleitvorgang einsetzen kann. (Vergleichsmodell: Zwei lange, mit überstehenden Enden zusammengeklebte Papierstreifen gleiten, solange der Kleber noch feucht ist, bei Zug aufeinander ab, reißen jedoch, sobald beim Ziehen eine gewisse Geschwindigkeit überschritten wird) /2/.



**Bild 3**

Abhängigkeit der Bruchart von der Versuchsgeschwindigkeit (a) und -temperatur (b) für Stahl (schematisch)

## Temperatureinfluß

Werden Kerbschlagbiegeversuche mit gleicher Probenform bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt, erhält man charakteristische  $K$ ,  $T$ -Kurvenverläufe (Bild 4). Durch eine Vielzahl von Meßwerten, die stark streuen können, zieht man eine Mittelwertskurve. Bei einem Kurvenverlauf mit Steilabfall unterscheidet man zwischen **Hochlage**, **Übergangsgebiet** (Steilabfall) und **Tieflage**. In der Hochlage treten vornehmlich **Verformungsbrüche** auf (duktiler Werkstoffverhalten), in der Tieflage **Trennbrüche** (sprödes Werkstoffverhalten). Der Bereich zwischen Hochlage und Tieflage ist das Übergangsgebiet, der Steilabfall. In diesem Gebiet streuen die Kerbschlagarbeitswerte bei ein und derselben Temperatur stark. Hier treten Mischbrüche auf. Dies sind Brüche, die Abschnitte mit Verformungs- und Trennbrüchen nebeneinander aufweisen.

Die in Bild 4 ausgewiesene **Übergangstemperatur**  $T$  trennt den Bereich des Sprödbruchs (links) vom Bereich des Verformungsbruchs (rechts). Sie ergibt sich aus dem Mittelwert der in beiden Bereichen verbrauchten Schlagenergie oder aus dem charakteristischen Erscheinungsbild beider Bruchbilder. Im duktilen Bereich ist das Material widerstandsfähiger. Werkstoffe, die großer Stoß- oder Schlagbelastung ausgesetzt sind, sollten deshalb eine möglichst niedrige Übergangstemperatur besitzen, die sich unter der im Einsatzfall herrschenden Umgebungstemperatur befindet /1/.

Zum Beispiel wächst in kubisch-raumzentrierten (krz) Werkstoffen, wie z.B. in allen unlegierten, niedrig legierten, in hochlegierten Chromstählen und in Zinklegierungen der Gleitwiderstand stärker an als die Trennfestigkeit, so daß von einer Übergangstemperatur abwärts Trennbrüche auftreten (Bild 3b). Liegt diese Temperatur bei RT und tiefer, so spricht man von **Kaltsprödigkeit**. Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium und austenitischer Stahl (kfz, kubisch-flächen-zentriert) zeigen keine Kaltsprödigkeit.

Nicht alle Materialien weisen eine deutlich ausgeprägte Übergangstemperatur auf. Im Gegensatz zu krz-Metallen ist sie bei den meisten kfz-Metallen praktisch nicht erkennbar. Kfz-Metalle absorbieren jedoch allgemein mehr Schlagenergie. Diese nimmt nur wenig mit der Temperatur ab und mitunter sogar zu.

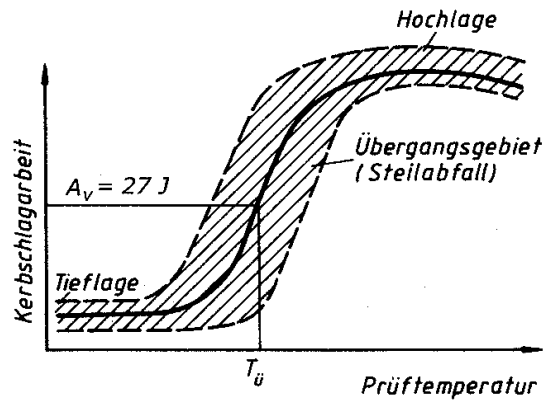
Bild 5 zeigt  $K$  ( $A_v$ ),  $T$ -Kurven verschiedener Werkstoffgruppen und Bild 6 von Stählen verschiedener Behandlungszustände /4/.

Der Steilabfall der Kurve wird durch die metallurgischen Prozesse und durch Wärmebehandlung bestimmt. In jedem Fall wird der Steilabfall durch Kaltverformung, Alterung, zunehmende Schlaggeschwindigkeit, Probengröße, Kerbschärfe und Kerbtiefe nach rechts verschoben. Damit erhöht sich  $T$ . Der Werkstoff verhält sich spröder /4/.

S.

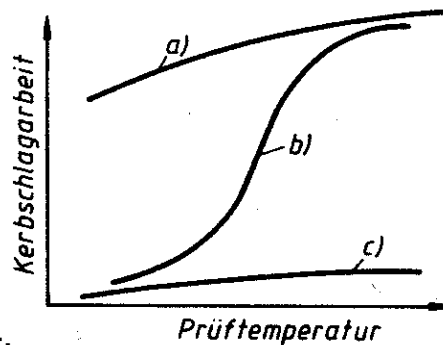
Prof. Dr. Karin Lutterbeck

Prof. Dr. Helmut Winkel

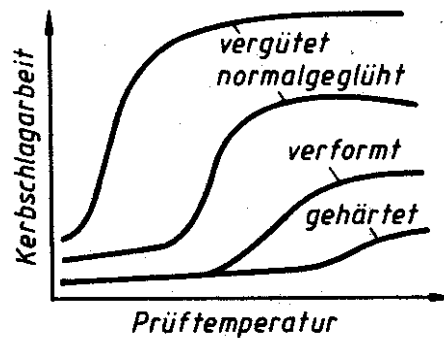


**Bild 4:** Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve (schematisch)  $T_u$  Übergangstemperatur bei einer bestimmten Kerbschlagarbeit  $A_v$ , z.B. 27 J

Bild 5 zeigt  $A_v, T$  Kurven verschiedener Werkstoffgruppen und Bild 6 von Stählen verschiedener Behandlungszustände.



**Bild 5:** Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven für verschiedene Werkstoffe (schematisch)  
 a) Al, Cu, Ni, austenitischer Stahl (kfz-Gitter)  
 b) Stahl (krz-Gitter)  
 c) Glas, Keramik, hochfeste Stähle



**Bild 6:** Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven von Stahl verschiedener Behandlungszustände (schematisch)

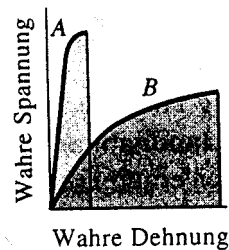
S.

Prof. Dr. Karin Lutterbeck

Prof. Dr. Helmut Winkel

## Zusammenhang mit der Spannungs-Dehnungs-Kurve

Die für einen Materialbruch erforderliche Energie steht in Beziehung zur Fläche unterhalb der wahren Spannungs-Dehnungs-Kurve (Bild 7). Metalle, die sowohl hohe Festigkeit als auch große Duktilität besitzen, zeichnen sich auch durch große Zähigkeit aus. Dagegen verfügen keramische Stoffe und viele Verbundmaterialien trotz hoher Festigkeit über nur geringes Widerstandsvermögen gegen schlagartige Beanspruchung, da sie praktisch keine Duktilität aufweisen /1/.



**Bild 7:**

Die Fläche unterhalb der wahren Spannungs-Dehnungs-Kurve steht im Zusammenhang mit der absorbierten Schlagenergie. Obwohl das Material *B* eine geringere Streckgrenze besitzt, absorbiert es mehr Energie als *A*. /1/

Der Kerbschlagbiegeversuch dient zur Beurteilung der Zähigkeit z.B. von Stahl und Stahlguß. Er eignet sich vor allem für die Überwachung der Wärmebehandlung und für den Nachweis der Neigung zum Trennbruch (z. B. nach Alterung oder im anlaßspröden Zustand). Der Kerbschlagbiegeversuch liefert keine Unterlagen für die Festigkeitsrechnung. Sowohl die Höhe der Kerbschlagarbeit in der Hochlage als auch der Temperaturbereich des Abfalls der Kerbschlagarbeit sind nur Vergleichswerte /2/.

## Literatur:

/1/ Askeland, D. R.

Materialwissenschaften, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 1996, Kap. 6.7

/2/ Domke, W.

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Giradet Verlag Düsseldorf 1986, Kap. 5.6

/3/ N.N.

DIN EN 10045 Teil 1

Prof. Dr. Karin Lutterbeck  
Prof. Dr. Helmut Winkel  
/4/ Seidel, W.

Werkstofftechnik, Carl Hanser Verlag, München-  
Wien 1999, Kap. 12.4