



**Praktikum PWF:**  
**Kerbschlagbiegeversuch und Wärmebehandlung von Stählen**

Dozent/Betreuer: Prof. Dr.-Ing. H. Heinrich	
Gruppe:	
Teilnehmer: 1:..... 2:..... 3:..... 4:..... 5:..... 6:..... 7:..... 8:..... 9:..... 10:.....	Tag des Praktikums:  Abgabetermin: 14 Tage nach Durchführung des Praktikums
Testat :                      Datum:	

Bitte die im Versuchsbericht angegebenen Punkte bearbeiten und den Bericht zusammen mit diesem Deckblatt ausgedruckt in das Postfach von Prof. Heinrich.

# Kerbschlagbiegeversuch:

## Inhaltsverzeichnis:

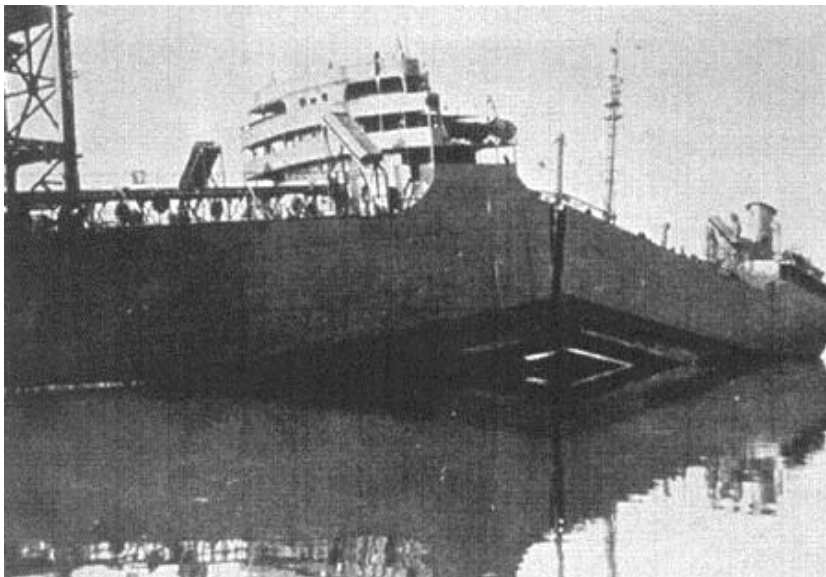
1. Einleitung	Seite 3
2. Allgemeines	Seite 5
3. Ziel des Versuches	Seite 5
4. Theoretische Grundlagen	Seite 5
4.1 Begriffe und Definitionen	Seite 7
4.2 Bruchbild	Seite 10
5. Versuchsanordnung	Seite 12
6. Versuchsdurchführung	Seite 13
7. Versuchsauswertung	Seite 13
8. Wärmebehandlung von Stahl	Seite 14
9. Vorbereitung	Seite 15
10. Literatur	Seite 15
Anhang: Versuchsprotokoll	Seite 16

## Kerbschlagbiegeversuch:

### 1. Einleitung

Beim Kerbschlagbiegeversuch geht es um die Bestimmung der Zähigkeit. Was kann passieren, wenn auf die Zähigkeit nicht geachtet wird?

### Schiffsuntergang:



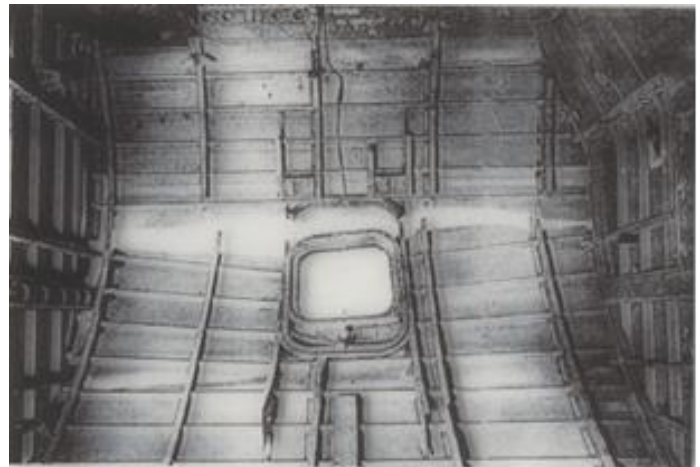
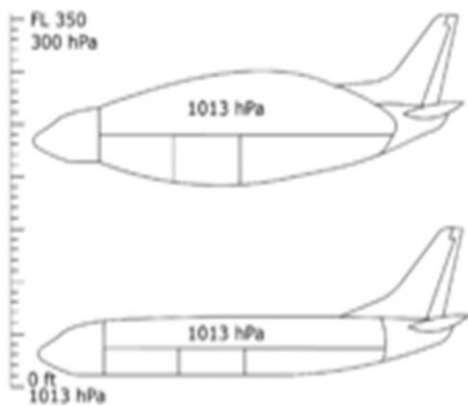
Etliche Liberty-Schiffe (Truppentransporter der USA im 2. Weltkrieg) zerbrachen.

Ursache: Stahl mit zu geringer Zähigkeit sowie konstruktive Schwächen (Kerbwirkung).

Die Zähigkeit wurde bei Raumtemperatur bestimmt.

In kalten Gewässern lag die Temperatur unterhalb der Übergangs-Temperatur (KV-T-Kurve, s.u.), d.h. der Werkstoff befand sich in der Tieflage....

## Flugzeugabsturz:



Die Auslegung der Fenster (Spannungsspitzen an den Ecken → Kerbwirkung) führte zur Reißbildung durch LCF (Low Cycle Fatigue).

Flugzeugkörperdehnungen bei jedem Auf - und Abstieg!

Es gab mehrere Abstürze ! Diese Komet (Foto unten rechts) konnte noch landen...

## 2. Allgemeines

Im Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN 148-1 wird das Spröbruchverhalten der Metalle untersucht. Als Zähigkeitsmaß des zu untersuchenden Werkstoffes bzw. Werkstoffzustandes wird die Energie angesehen, die zum Bruch der Kerbschlagbiegeprobe erforderlich ist. Übertragen auf das Bauteil kann man Zähigkeit auch als Widerstand gegen die Ausbreitung eines Risses definieren.

Diese ist abhängig von verschiedenen Faktoren, s. Kap. 3, Punkte a bis d.

Der im Kerbschlagbiegeversuch ermittelte mechanisch-technologische Kennwert, die Kerbschlagenergie KV, lässt Schlüsse über das Verhalten des Werkstoffes bei schlagartiger Belastung (hohe Beanspruchungsgeschwindigkeit) zu, die sich weder aus den Kennwerten des Zugversuches noch aus denen anderer Standardprüfverfahren ergeben. Die KV-Werte bilden, im Gegensatz zur Streckgrenze (s. Zugversuch) keine Basis für die Berechnung oder Dimensionierung eines Bauteils.

Der Kerbschlagbiegeversuch zählt (neben Zugversuch und Härteprüfung) zu den am häufigsten angewendeten Prüfverfahren. Er eignet sich durch die einfache und schnelle Probenfertigung und Versuchsdurchführung und durch schnelle Aussagen über die Spröbruchneigung eines Werkstoffes zum Nachweisen möglicher Einsatztemperaturen, zur qualitativen Bewertung von Wärmebehandlungszuständen (Gleichmäßigkeit der Produktion) oder zur Untersuchung der Alterungsanfälligkeit von Werkstoffen. Während nämlich Festigkeit und Dehnung durchaus befriedigen können, zeigen sich Fehler im Herstellungsgang (auch Verunreinigungen) oft in einer Abnahme der Kerbschlagenergie.

## 3. Ziel des Versuches

Das Ziel des Versuches ist die Ermittlung der Zähigkeitseigenschaften (des Bruchverhaltens) eines bekannten metallischen Werkstoffes (S235JR).

Es soll die Abhängigkeit der Kerbschlagenergie KV von der Temperatur T (die "KV-T-Kurve") im Bereich zwischen -40 und +200°C sowie von einer künstlichen Alterung ermittelt werden. Der Versuch erfolgt unter genormten Beanspruchungsbedingungen nach DIN EN 148-1.

An Hand von 2 Proben soll der Einfluss der Legierungselemente und der Kerbwirkung exemplarisch verdeutlicht werden.

An Hand von 3 Proben soll der Einfluss von Wärmebehandlungen verdeutlicht werden.

## 4. Theoretische Grundlagen

Die Trennbruchempfindlichkeit (Spröbruchempfindlichkeit) beruht auf der Eigenschaft eines Materialstückes wenig oder keine plastischen Verformungen aufzunehmen.

Beim Trennbruch (Normalspannungsbruch, s. Zugversuch) wird die Kohäsionskraft der Atome untereinander überwunden.

Ob Trenn- oder Verformungsbruch auftritt ist im wesentlichen von vier Faktoren abhängig:

- a Art des Spannungszustandes (Spannungsversprödung)
- b Beanspruchungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsversprödung)
- c Temperatur (Temperaturversprödung)
- d Werkstoffzustand (Wärmebehandlung, Verarbeitung)

### Zu a (Spannungsversprödung):

Bei einem zähen Bruch tritt ein Abgleiten (durch Versetzungen auf Gleitebenen) ein, das durch Schubspannungen hervorgerufen wird (Verformungsbruch).

Dieses Gleiten der Versetzungen kann be- bzw. verhindert werden, wenn die auftretende maximale Schubspannung ( $\sigma_{max}$ ) durch mehrachsige Spannungszustände verringert wird. Dies tritt besonders bei Kerben auf, die immer zur Hauptzugspannung eine weitere Querspannung erzeugen.

In diesen Fällen kann es zur Überwindung der Kohäsionskraft zwischen den Atomen, d.h. zum Sprödbbruch kommen, bevor eine Abgleitung der Versetzungen (plastische Verformung) erfolgt.

### Zu b (Geschwindigkeitsversprödung):

Die Beanspruchungsgeschwindigkeit hat insofern einen Einfluss, als dass sich plastische Verformungen bei Raumtemperatur nur relativ langsam ausbilden können (Versetzungswandern).

Im Gegensatz dazu erfolgen elastische Verformungen mit Schallgeschwindigkeit.

Ist daher

$$V_{\text{Beanspruchung}} \gg V_{\text{plast. Verf.}}$$

wird u.U. die Normalspannungsfestigkeit eher erreicht als das Gleiten der Versetzungen (die plastische Verformung) und es erfolgt der Trennbruch.

### Zu c (Temperaturversprödung):

Mit abnehmender Temperatur wird die Eigenbewegung der Atome immer langsamer und damit die Möglichkeit des Abgleitens stark behindert.

Dabei steigt die kritische Schubspannung (bei der Gleiten einsetzt) stärker an als die kritische Normalspannung, so dass der Trennbruch begünstigt wird.

### Zu d (Legierung, Wärmebehandlung, Verarbeitung):

Fremdatome sowie bestimmte Werkstoffzustände, z.B. Wärmebehandlungen (s.u.) oder Kaltverformung können ebenfalls den Sprödbbruch fördern.

Einer der Versuche innerhalb dieses Praktikums (Probe 9) beinhaltet eine künstliche Alterung, d.h. eine Behandlung zur Verminderung der Zähigkeit.

Ursache hierfür ist die Wechselwirkung von gelösten Atomen (C, N) mit den Versetzungen in einem kaltverformten Material.

Von diesen vier Faktoren machen alle Verfahren Gebrauch, die die Trennbruchempfindlichkeit prüfen.

Das am längsten bewährte und bekannteste dieser Verfahren ist der Kerbschlagbiegeversuch.

Andere (modernere) Verfahren sind der Fallgewichtsversuch nach Pellini oder die Bruchmechanik mit ihren CT-Proben, bei denen die Ausbreitung künstlich angeschwungener Risse verfolgt wird. Da diese Verfahren im Gegensatz zum Kerbschlagbiegeversuch relativ kompliziert und teuer sind, werden sie jedoch nur im Sonderfall eingesetzt.

## 4.1 Begriffe und Definitionen

### Begriffe:

Der Kerbschlagbiegeversuch wird nach DIN EN 148-1 durchgeführt. Dazu wird ein Pendelschlagwerk, auch Pendelhammer genannt, benutzt, s. Abb. 5.

Für wichtige Werkstoffe - wie z.B. ferritische Stähle - spielt die Temperatur eine große Rolle. Für diese Werkstoffe sinkt die Kerbschlagenergie KV mit fallender Temperatur stark ab.

Abb. 1, blaue Kurve Typ I, zeigt den typischen Verlauf der Kerbschlagenergie in Abhängigkeit von der Temperatur (KV-T-Kurve).

Man spricht von der "Hochlage" bei höheren und von der "Tieflage" bei niedrigeren Temperaturen. Für die Praxis spielt bei den Stählen die Lage des dazwischen befindlichen Steilabfalls eine wichtige Rolle. Diese ist zu beeinflussen durch die Art der Gefügeausbildung (günstig ist im Allgemeinen feines Korn) und durch Legierungselemente.

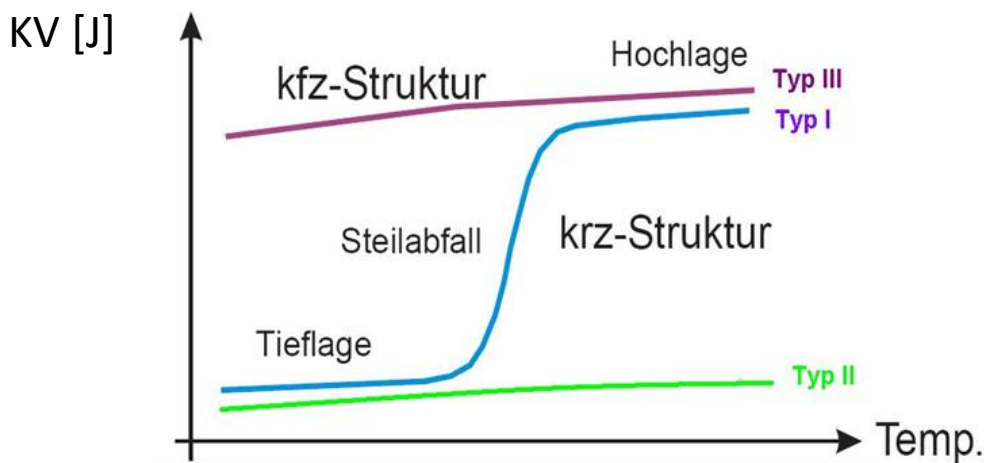


Abb. 1: Kerbschlagenergie in Abhängigkeit von der Prüftemperatur, KV-T-Kurve (schematisch)

Metalle und Legierungen, die ein kfz-Gitter aufweisen, zeigen oben beschriebene Temperaturabhängigkeit nicht, s. Abb.1, Kurve Typ III. Solche Werkstoffe (austenitische Cr-Ni-Stähle, Cu und Cu-Legierungen, Al und Al-Legierungen) zeigen eine kaum von der Temperatur abhängige Kerbschlagenergie und werden als tieftemperaturzäh bezeichnet.

Im Gegensatz dazu zeigen spröde Werkstoffe wie Gusseisen mit Lamellengraphit bei tiefen und hohen Temperaturen niedrige KV-Werte, s. Abb.1, Kurve Typ II.

Metalle und Legierungen, die ein kfz-Gitter aufweisen, zeigen aufgrund der geringen Anzahl von Gleitsystemen eine geringere Kerbschlagenergie als kubische. Zusätzlich weisen sie noch eine starke T-Abhängigkeit auf.

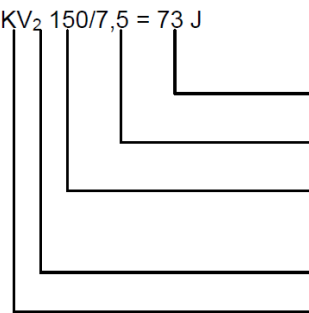
Aufgrund der Streuung der Ergebnisse werden in der Praxis immer mehrere Kerbschlagbiegeproben geschlagen (1 Satz = 3 Proben bei einer T). Die Ergebnisse lassen sich, wie schon erwähnt, nicht direkt auf Bauteile übertragen, d.h. KV-Werte werden i.a. nicht in Berechnungsformeln eingesetzt. Für Zähigkeitsberechnung benötigt man das Sondergebiet der Bruchmechanik.

## Definitionen:

Die Kerbschlagenergie KV hat die Einheit J ( $1\text{J} = 1\text{Ws} = 1\text{Nm}$ ). Die Probenform, vor allem die Form der Kerbe, ist von Einfluss und wird deshalb mit angegeben, z.B.

### BEISPIEL 1

$KV_2\ 150/7,5 = 73\text{ J}$



beim Bruch verbrauchte Schlagenergie 73 J

Probenbreite 7,5 mm

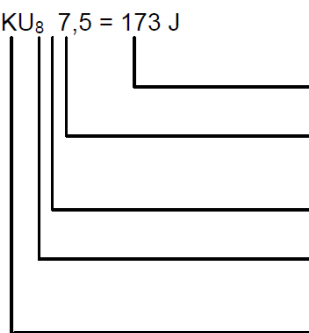
Nennarbeitsvermögen des Pendelschlagwerkes 150 J

Radius der Hammerfinne 2 mm

Probe mit V-Kerb

### BEISPIEL 2 (Heute nur noch selten eingesetzt)

$KU_8\ 7,5 = 173\text{ J}$



beim Bruch verbrauchte Schlagenergie 173 J

Probenbreite 7,5 mm

Nennarbeitsvermögen des Pendelschlagwerkes 300 J

Radius der Hammerfinne 8 mm

Probe mit U-Kerb

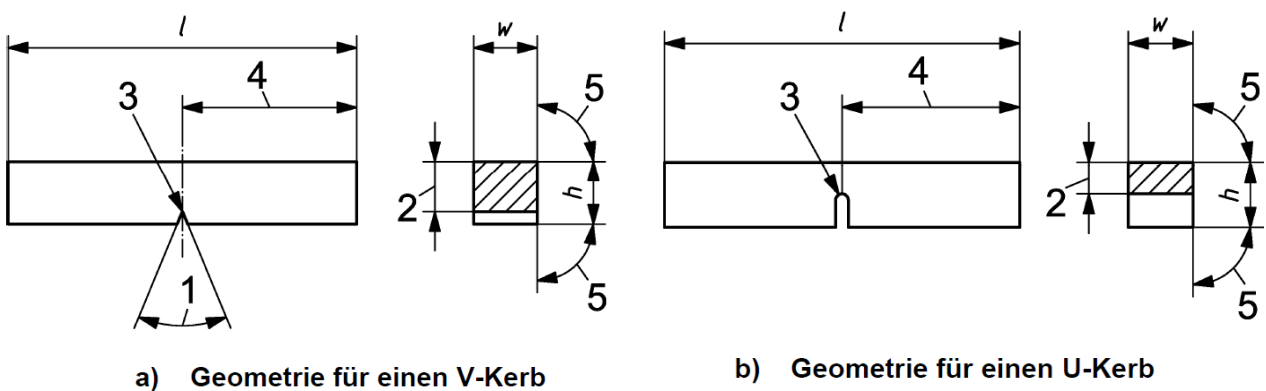


Abb. 2: Nach EN 148-1 zugelassene Probenformen



Tabelle1, zeigt und erklärt die Symbole, Einheiten und Bezeichnungen:

Symbol	Einheit	Bezeichnung
$K_p$	J	Potentielle Anfangsenergie (potentielle Energie)
$FA$	%	Prozentualer Gleitbruchanteil (Bruchaussehen)
$h$	mm	Höhe der Probe
$KU_2$	J	Für eine Probe mit U-Kerb bei Anwendung einer Hammerfinne mit einem 2 mm Radius verbrauchte Schlagenergie
$KU_8$	J	Für eine Probe mit U-Kerb bei Anwendung einer Hammerfinne mit einem 8 mm Radius verbrauchte Schlagenergie
$KV_2$	J	Für eine Probe mit V-Kerb bei Anwendung einer Hammerfinne mit einem 2 mm Radius verbrauchte Schlagenergie
$KV_8$	J	Für eine Probe mit V-Kerb bei Anwendung einer Hammerfinne mit einem 8 mm Radius verbrauchte Schlagenergie
$LE$	mm	Seitliche Breite
$l$	mm	Länge der Probe
$T_t$	°C	Übergangstemperatur
$w$	mm	Breite der Probe

Tabelle2, zeigt die Grenzabmaße für die festgelegten Probenmaße:

Bezeichnung	Symbol und Nr	V-Kerb-Probe			U-Kerb-Probe		
		Nennmaß	Grenzabmaße für die Bearbeitung		Nennmaß	Grenzabmaße für die Bearbeitung	
				Toleranzklasse <sup>a</sup>			Toleranzklasse <sup>a</sup>
Länge	$l$	55 mm	± 0,60 mm	js15	55 mm	± 0,60 mm	js15
Höhe <sup>b</sup>	$h$	10 mm	± 0,075 mm	js12	10 mm	± 0,11 mm	js13
Breite <sup>b</sup> :	$w$						
— Normal-Probe		10 mm	± 0,11 mm	js13	10 mm	± 0,11 mm	js13
— Untermaß-Probe		7,5 mm	± 0,11 mm	js13	—	—	—
— Untermaß-Probe		5 mm	± 0,06 mm	js12	—	—	—
— Untermaß-Probe		2,5 mm	± 0,05 mm	js12	—	—	—
Kerbwinkel	1	45°	± 2°	—	—	—	—
Höhe im Kerbgrund (Höhe der Probe abzüglich der Kerbtiefe)	2	8 mm	± 0,075 mm	js12	5 mm <sup>c</sup>	± 0,09 mm	js13
Kerbradius	3	0,25 mm	± 0,025 mm	—	1 mm	± 0,07 mm	js12
Abstand zwischen der Symmetrieebene des Kerbs und den Endflächen der Probe <sup>b</sup>	4	27,5 mm	± 0,42 mm <sup>d</sup>	js15	27,5 mm	± 0,42 mm <sup>d</sup>	js15
Winkel zwischen der Symmetrieebene des Kerbs und der Längsachse der Probe		90°	± 2°	—	90°	± 2°	—
Winkel zwischen benachbarten Längsflächen der Probe	5	90°	± 2°	—	90°	± 2°	—

<sup>a</sup> Nach ISO 286-1.

<sup>b</sup> Außer an den Endflächen müssen die Proben eine Oberflächenrauheit  $R_a$  besser als 5 µm haben.

<sup>c</sup> Falls eine andere Höhe (2 mm oder 3 mm) festgelegt ist, müssen auch die entsprechenden Grenzabmaße festgelegt sein.

<sup>d</sup> Für Pendelschlagwerke mit automatischer Positionierung der Proben wird ein Grenzabmaß von ± 0,165 mm anstelle von ± 0,42 mm empfohlen.

Abb. 3 zeigt den Einfluss der Kerbform auf die KV-T-Kurve. Der Übergang zwischen Hoch- und Tieflage wird umso steiler je schärfer die Kerbe ist. Außerdem verschiebt sich die Übergangstemperatur  $T_U$  zu höheren Temperaturen.

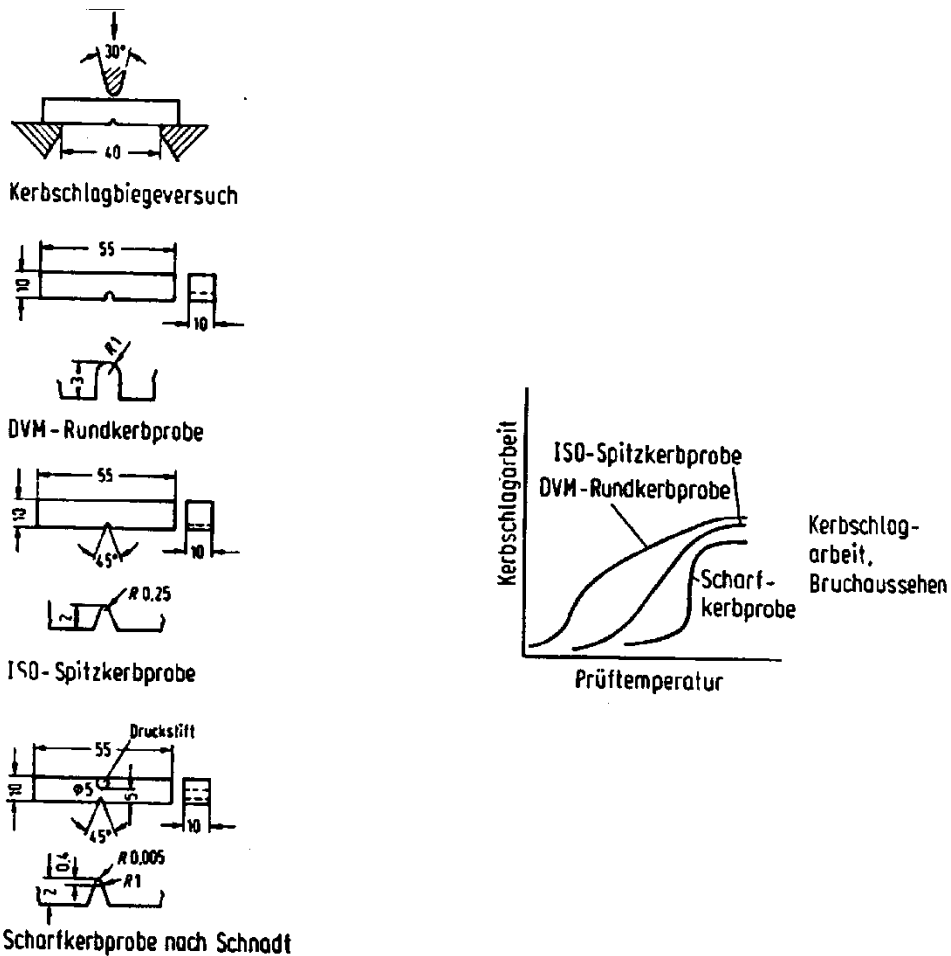


Abb.3: Einfluss der Kerbform auf die KV-T-Kurve

## 4.2 Bruchbild

Zur Beurteilung der Bruchflächen dienen folgende Kennzeichnungen, s. auch Abb. 5:

- matt oder faserig bei Verformungsbruch (hohe Zähigkeit => Hochlage)
- kristallin oder glitzernd bei Trennbruch (niedrige Zähigkeit => Tieflage)
- Mischbruch (mittlere Zähigkeit => Übergang zwischen Hoch- und Tieflage)

Der Zusammenhang wird deutlicher beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch (nicht im Praktikum durchführbar). Dabei wird elektronisch die Kraft über der Durchbiegung der Probe während des Schlages gemessen, s. Abb. 4.

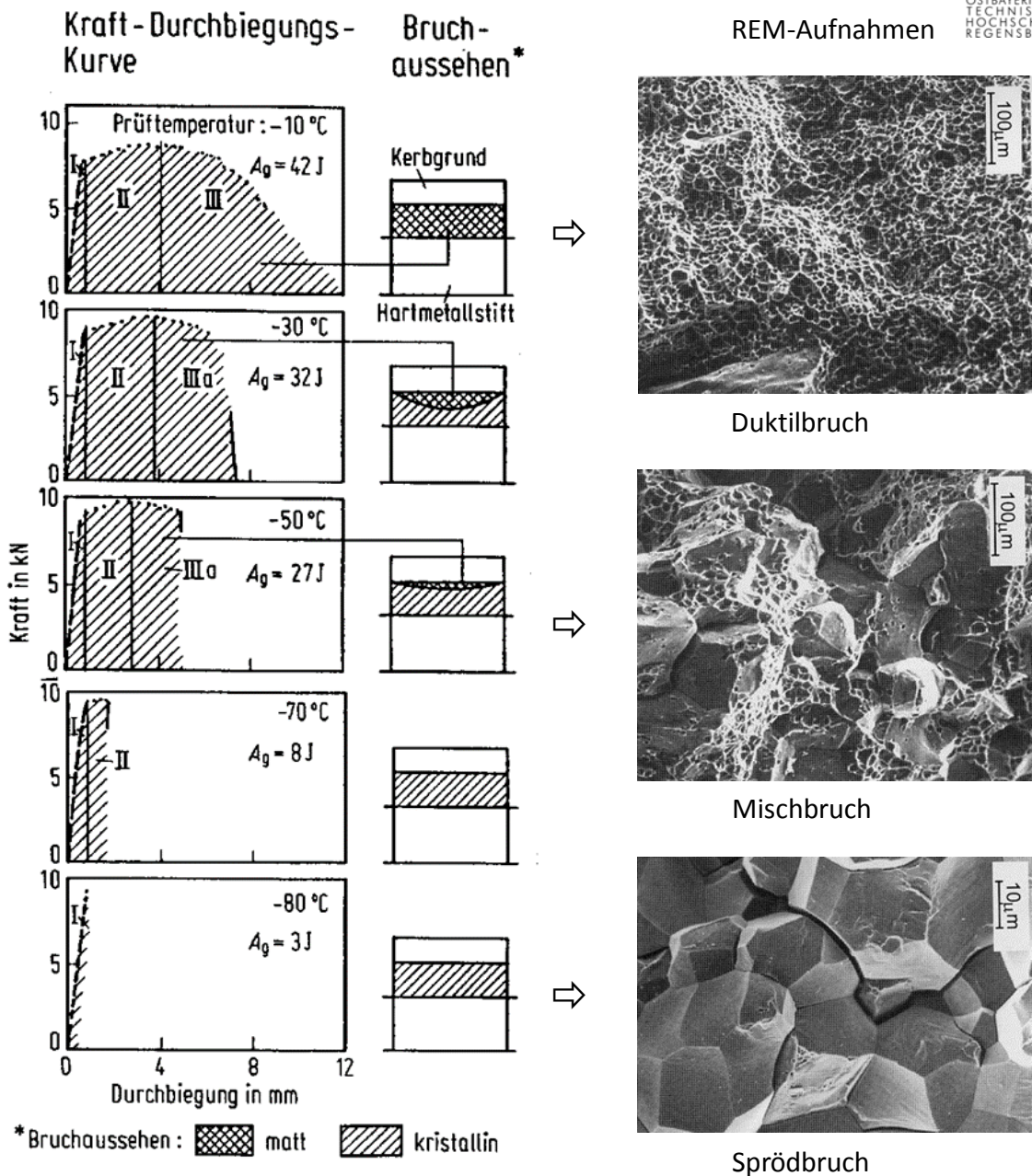


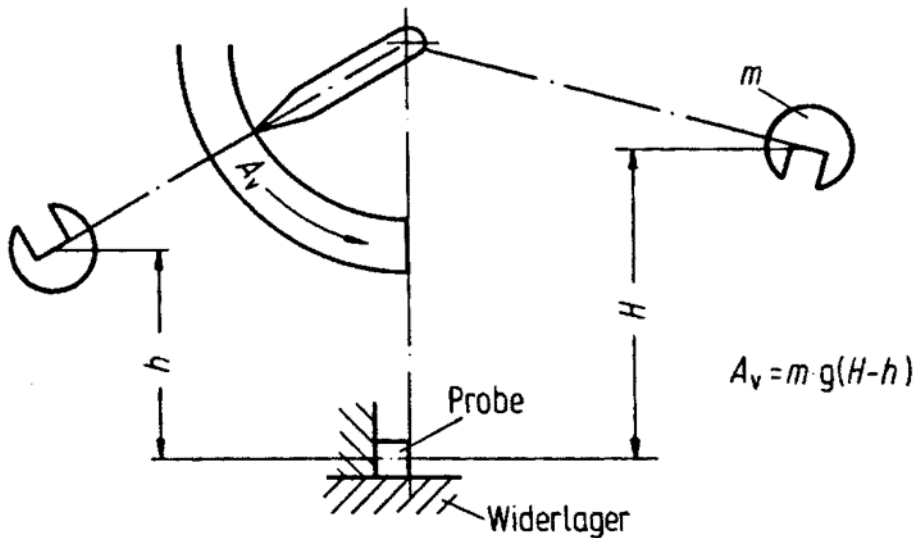
Abb. 4: Ergebnisse des instrumentierten Kerbschlagbiegeversuchs sowie schematische Darstellung des Bruchbildes (links) und REM-Aufnahmen der entsprechenden Brüche

Man erkennt, daß mit fallender Prüftemperatur

- die Bereiche der plastischen Durchbiegung vor (II) und nach (III, IIIa) der Rißinitiierung abnehmen
- der Anteil an matter Bruchfläche (Verformungsbruch) abnimmt
- die Kerbschlagenergie (entspricht schraffierter Fläche) sinkt

## 5. Versuchsanordnung

In einer Achse ist fast reibungsfrei ein Pendel aufgehängt (Abb.5). Dieses Pendel wird auf eine bestimmte Höhe (potentielle Energie) gebracht. Eine Kerbschlagprobe wird auf das Widerlager gelegt, wobei der Kerb der Hammerfinne abgewandt ist. Zum Versuch wird das Pendel ausgeklinkt. Dadurch kann es seine potentielle Energie in kinetische umwandeln. Aus der Höhendifferenz ( $H-h$ , s. Abb. 6) kann die Verformungsenergie, die zum Bruch der Probe nötig war, berechnet werden. Sie entspricht der gesuchten Kerbschlagenergie  $KV$ .



### *Kerbschlagbiegeversuch (schematisch)*

Abb. 5: Prinzipskizze eines Pendelschlagwerkes (Kerbschlaghammers)

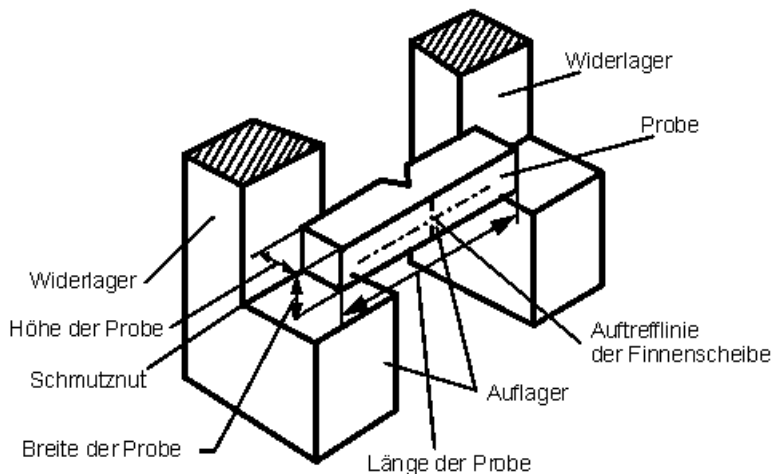


Abb. 6: Probe auf Widerlager, Detaillansicht aus Abb. 5

## 6. Versuchsdurchführung

Bei der Durchführung der Versuche bitte besondere Sorgfalt walten lassen, da im Schwingbereich des Hammers Verletzungsgefahr besteht. Ein Student der Gruppe bedient das Schlagwerk nach der Einweisung durch den Betreuer.

Zunächst wird die Leerlaufreibung des Pendelschlagwerkes gemessen.

Die Proben werden in einem Laborofen oder mit Hilfe von CO<sub>2</sub> (Trockeneis) auf die gewünschte Temperatur gebracht.

Eine Probe wird zusätzlich künstlich gealtert (300 °C, 30 Min). Dadurch treten Diffusionsvorgänge (N) auf, die zu einer Versprödung führen sollten, da der zu untersuchende Werkstoff kaltverformt vorliegt (S235JR).

Drei Proben aus C45 werden wärmebehandelt. Jeweils eine Probe wird gehärtet, vergütet, normalisiert.

### Im Einzelnen sind folgende Schritte durchzuführen:

- Proben mit Schlagzahlen nummerieren, Zahlen 1 bis 14.
- Eine Probe exemplarisch vermessen.
- Leerlaufreibung bestimmen. Dazu Pendelhammer einklinken und in obere Position bringen (grüne Lampenanzeige beachten). Pendelhammer ausklinken und nach ungehindertem Durchgang die Energie der Leerlaufreibung Ar in J ablesen.
- Ergebnis in Versuchsbericht (Seite16) eintragen. Dieser Ar -Wert wird bei allen Versuchen zugrunde gelegt.
- Proben mit Ofen oder CO<sub>2</sub> auf Versuchstemperatur (siehe Seite 16) bringen.
- Temperaturmessung mit Hilfe eines Thermometers durchführen.
- Die Proben bei der vorgegeben Temperatur schlagen. Messwerte ins Versuchsprotokoll eintragen.
- **Achtung:**  
Probe 9 wird künstlich gealtert (30 min, 300 °C). Diese Probe nach Herausnahme aus dem Ofen an Luft bis auf Raumtemperatur abkühlen lassen und erst dann schlagen.  
Proben 12, 13,14 werden nach der Wärmebehandlung bei Raumtemperatur geschlagen.
- Alle an der am Kerbschlaghammer befindlichen Digitalanzeige abgelesenen Versuchswerte ins Protokoll eintragen.

## 7. Versuchsauswertung:

Matte und kristalline Anteile der Bruchflächen prozentual abschätzen und ins Protokoll eintragen. Die Bruchflächen als Bilder (Bruchbilder können fotografiert werden) im Protokoll einfügen (3 Bilder pro Seite mit Legende).

KV-T-Kurve analog zu Abb. 1 mit Hilfe der 8 Versuchspunkte zeichnen (korrekte Achseneinteilung).

Werte der gealterten (neunten) Probe extra kennzeichnen.

Der Versuchsbericht soll mindestens folgende Kapitel aufweisen:

Aufgabenstellung, Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung, Versuchsauswertung, Diskussion des Versuches.





## 9. Vorbereitung

Bereiten Sie sich auf den Versuch so vor, dass Sie folgende Sachverhalte erklären, bzw. über die Zusammenhänge diskutieren können:

- Warum wird der Kerbschlagbiegeversuch durchgeführt?
- Welche Erkenntnisse erhält man aus dem Kerbschlagbiegeversuch?
- Wird der Kerbschlagbiegeversuch heute noch eingesetzt?
- Kann man die erhaltenen Messwerte für Rechnungen/Auslegung verwenden?
- Welchen Einfluss hat die Kerbform auf die Messwerte / Kurvenverläufe?
- Temperaturversprödung
- Geschwindigkeitsversprödung
- Versprödung durch Legierung, Wärmebehandlung und Verarbeitung
- Versprödung durch die Art des Spannungszustandes
- KV-T Kurven (Verlauf, unterschiedliche Metalle, ...)
- Zusammenhang zwischen Bruchbildern und Messwerten
- Ablauf eines Kerbschlagbiegeversuches
- Was ist Trockeneis?

- 
- Härten (martensitisches Härten),
  - Vergüten,
  - Normalisieren,
  - Weichglühen

Welche Versuchsbedingungen (t, T) gelten für diese 4 Punkte auch an Hand des EKDs und des ZTU Diagramms, s. Abb.7 und 8. ?

Welches Diagramm gäbe genaue Auskunft über die t- und T-Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften nach dem Vergüten ?

## 10. Literatur

- Ilschner: Werkstoffwissenschaften, Springer-Verlag, Berlin 1990.
- Domke: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Girardet Buchverlag, Düsseldorf.
- H. Schumann: Metallographie, 11. Auflage, VEB-Verlag, Leipzig.
- H.-J. Bargel, G. Schulze: Werkstoffkunde, 5. Auflage, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Vorlesungsunterlagen
- Versuchsskript

# Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1

## Versuchsprotokoll

Prüfeinrichtung: Pendelschlagwerk nach DIN EN ISO 148-1

Art der Probe: Charpy V Probe

Werkstoff der Proben 1-9: S235 JR

Probe		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	T in °C	-30	-20	0	20	40	60	100	200	(20)
	T <sub>wahr</sub>									gealtert
Abmessung in mm	Breite b									
	Höhe h									
	Höhe h <sub>0</sub>									
	Länge l									
KV <sub>R</sub> in J										
KV in J										
Bruchflächenanteil	matt in %									
	glänz. in %									

Prüfeinrichtung: Pendelschlagwerk nach DIN EN ISO 148-1

Art der Probe: Charpy V Probe

Werkstoff der Probe 10 und 11: X5 CrNi 18-10

Werkstoff der Probe 12,13,14: C45

Probe		10	11	12	13	14
	T in °C	-30	20	20	20	20
	T <sub>wahr</sub>					
KV <sub>R</sub> in J						
KV in J						
Bruchflächenanteil	matt in %					
	glänz. in %					