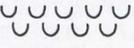
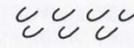


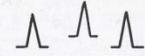
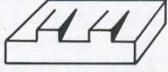
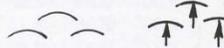
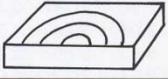
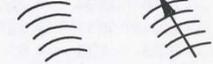


## Vorlesung Schadensanalyse

### Risse und Fraktographie – Teil 1

## Brucharten

Benennung	Erläuterung	Symbol
Blickrichtung in Bild Nr. ....	Wichtig bei wechselnden Blickrichtungen in REM-Aufnahmen	
Bruchfortschrittsrichtung	Schwingungsbrüche, spröde Gewaltbrüche	
Ausbreitungsbahnen, Stufen	Schwingungsbrüche, spröde Gewaltbrüche	
Poren	Schwarz ausgefüllte Ellipsen	
Kugelige Ausscheidungen, z. B. Karbide		
Dendrit	Mittelstamm mit Ästen, oder „Trauben“	
Lunker	Von Dendriten umgebenes Loch, schwarz ausgefüllt	
Gerade Waben		
Schräge Waben		
Korngrenzflächen	Interkristalliner Bruch	

Benennung	Erläuterung	Symbol
Spaltflächen	Transkristalliner Sprödbruch, Korngefüge	
Zipfel		
Schwingungsbruch- Anfänge an Oberfläche	„Schießcharten“	
Nebenrisse	Am besten kombiniert mit Fortschritts-Pfeilen	
Rastlinien		
Schwingungstreifen	Am besten kombiniert mit Fortschritts-Pfeilen	

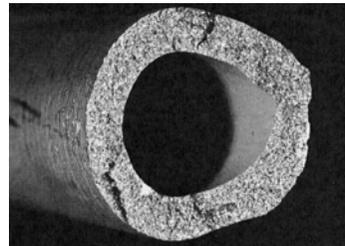
Darstellung von Bruchspezifikationen in perspektivischen Skizzen



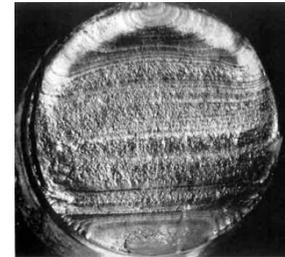
# Brucharten

Mechanisch bedingte Risse und Brüche

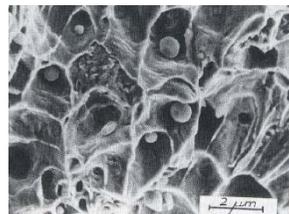
Gewaltbruch



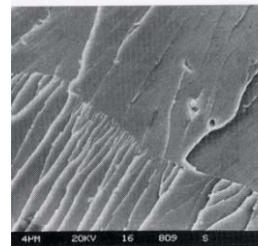
Schwingbruch



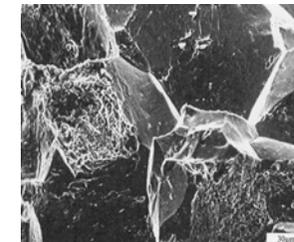
Gleitbruch (Wabenbruch)



Spaltbruch



Mischbruch



Transkristalliner  
Wabenbruch

Interkristalliner  
Wabenbruch

Transkristalliner  
Spaltbruch

Interkristalliner  
Spaltbruch

## Brucharten

Grundformen des Gewaltbruchs

Zug, Druck, Biegung, Torsion (97365)

( $\tau$ -) Schubspannungsorientiert

( $\sigma$ -) Normalspannungsorientiert

### **Spröder Gewaltbruch**

Energiearmer Bruch ! geringe spez. Rissenergie bzw. Risszähigkeit

Einflussfaktoren:

Werkstoff

Werkstoffzustand (z.B. Versetzungsdichte)

Beanspruchungsgeschwindigkeit (z.B. stoßhaft)

Spannungszustand (z.B. mehrachsig durch Kerben)

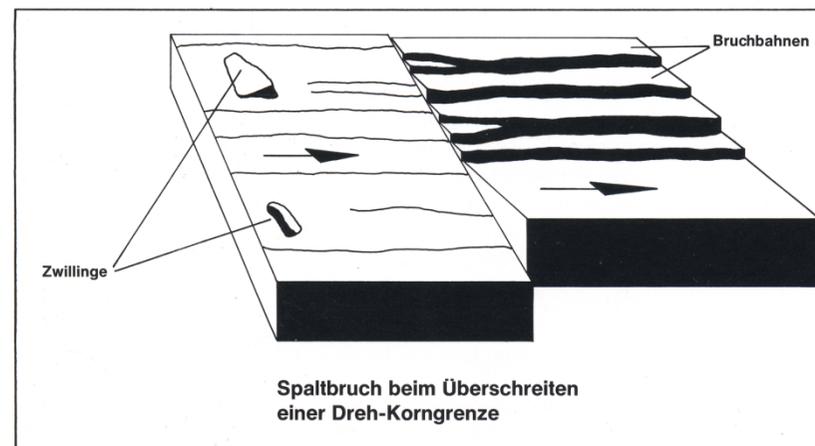
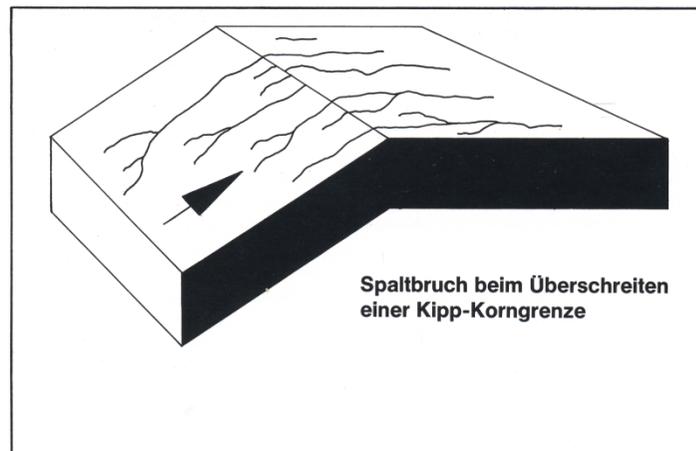
Temperatur (z.B.  $T < T_U$ )

## Brucharten

### Spröder Gewaltbruch

#### Makroskopisch

- geringe oder keine sichtbare plastische Verformung
- ebene Bruchfläche
- Bruchfläche senkrecht zur größten Normalspannung
- Bruchfläche körnig, kristallin stark reflektierend
- Scherlippen am Rissende (! Änderung des Spannungszustandes)
- z.T. faserige Struktur



## Brucharten

### **Spröder Gewaltbruch**

#### **Makroskopisch**

- geringe oder keine sichtbare plastische Verformung
- ebene Bruchfläche
- Bruchfläche senkrecht zur größten Normalspannung
- Bruchfläche körnig, kristallin stark reflektierend
- Scherlippen am Rissende (! Änderung des Spannungszustandes)
- z.T. faserige Struktur

## Brucharten

### Spröder Gewaltbruch

#### **Mikroskopisch** - transkristallin

- Spaltflächen
- Spalten kristallographischer Ebenen bei kfz und hdp Werkstoffen, bei Ferrit (100)-Ebenen
- Stufen, Fließlinien
- beim Überschreiten von Korngrenzen  $\mu$ -Rissbildung mit kleinen Stufen
- Schraubenversetzungen
- Zungen
- Reaktion zwischen Hauptbruchebeine und Zwillingen
- Rosetten (Quasi-Spaltbruch)
- Vereinigung vieler kleiner Anrisse

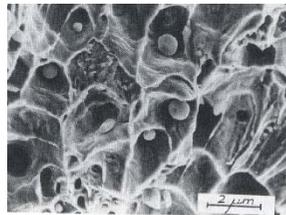
#### **Mikroskopisch** - interkristallin

- Korngrenzenflächen
- Verunreinigungen auf den Korngrenzen

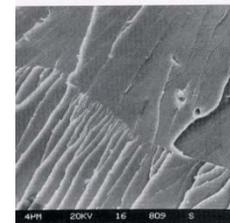


# Brucharten

Gleitbruch (Wabenbruch)



Spaltbruch



Transkristalliner  
Wabenbruch

Interkristalliner  
Wabenbruch

Transkristalliner  
Spaltbruch

Interkristalliner  
Spaltbruch

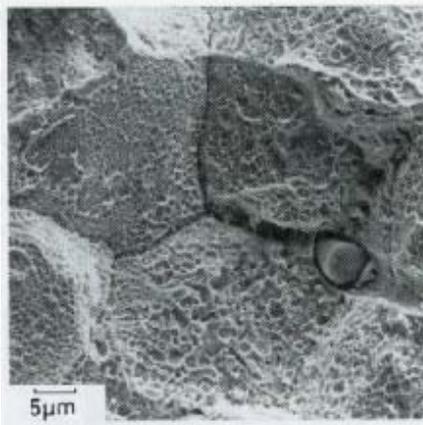


Bild 35: Interkristalliner Wabenbruch in ferritischem Stahl. Rastermikroskopische Aufnahme.

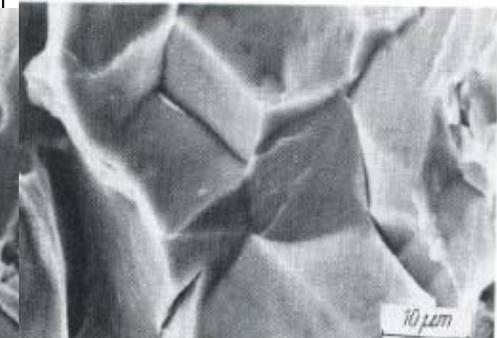
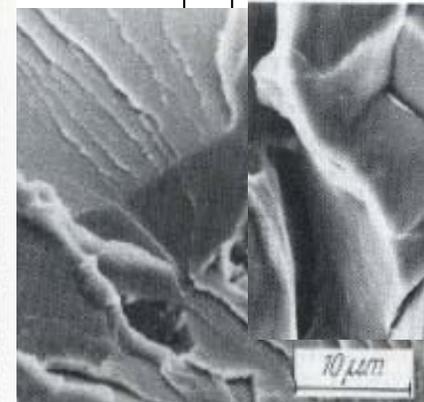


Bild 3a: Waben (Dimples). Transkristalliner  
Gleitbruch

## Brucharten

### **Zäher Gewaltbruch**

- hohe spez. Rissenergie bzw. Risszähigkeit
- langsames Risswachstum

### **Makroskopisch**

- ausgeprägte plastische Verformung vor dem Bruch
- Scherlippen
- mattes, seidiges Bruchaussehen
- deutliche Einschnürung

### **Mikroskopisch**

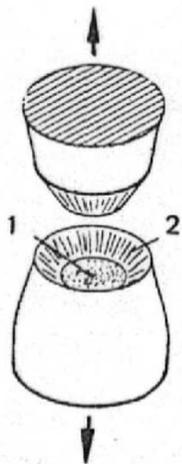
- Wabenbruch
- Porenbildung um Einschlüsse, Orte hohe Spannungskonzentration
- Zusammenwachsen der Poren ! Waben

duktiler Werkstoffe bilden wenige, große, tiefe Waben  
sprödere Werkstoffe bilden viele, kleine, flache Waben

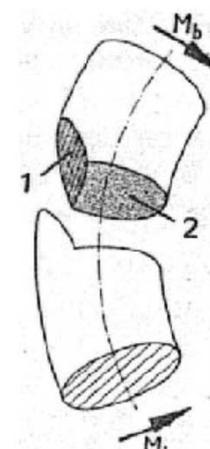
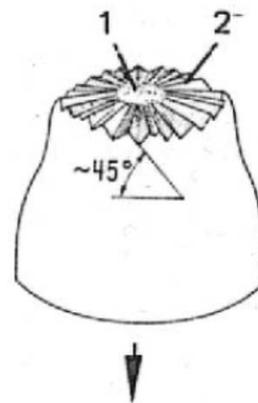
## Brucharten

### Duktiler Gewaltbruch (Gleitbruch)

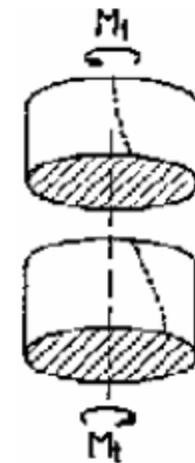
- Entstehung von trichterförmigen Waben bedingt durch
  - Hohlrumbildung durch Versetzungsgleiten und Gleitbehinderung (Versetzungsaufstau) vor Hindernissen (Korngrenzen, Fremdphasen...)
  - Durch Porenvergrößerung bei weiterer plastischer Dehnung entstehen Wände zwischen den Hohlräumen, die sich zu Schneiden ausziehen
  - Größe und Tiefe der Waben nimmt mit Duktilität zu



Zugbeanspruchung



Biegung

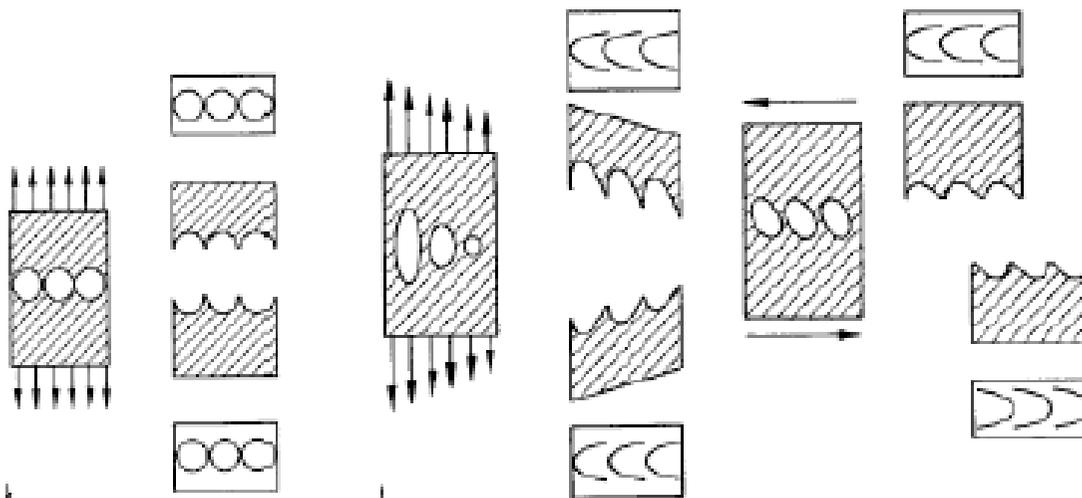
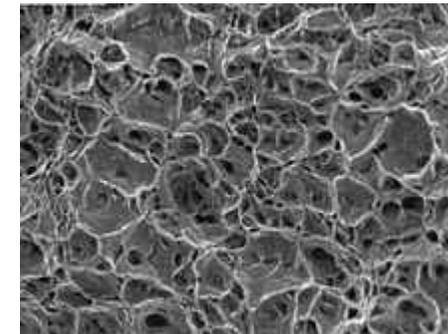
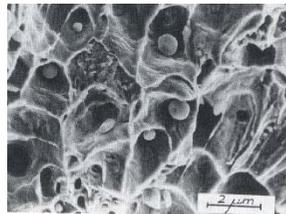


Torsion



# Brucharten

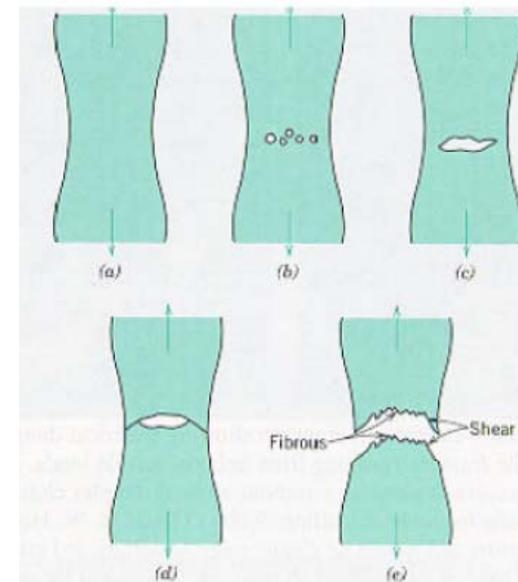
Gleitbruch (Wabenbruch)



Zug

Biegung

Scherung

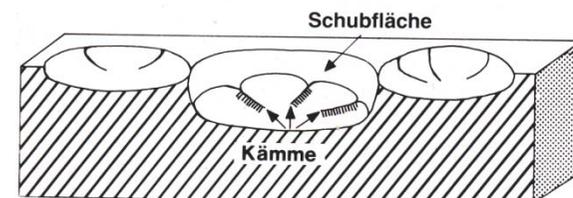
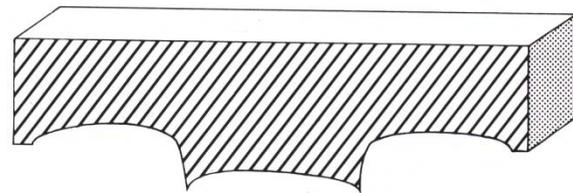
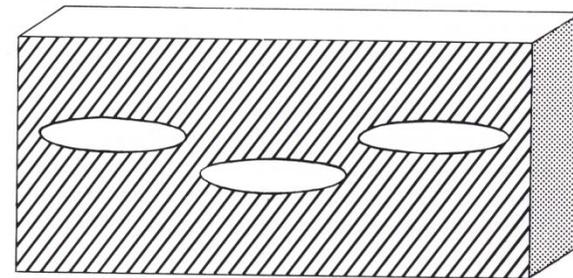
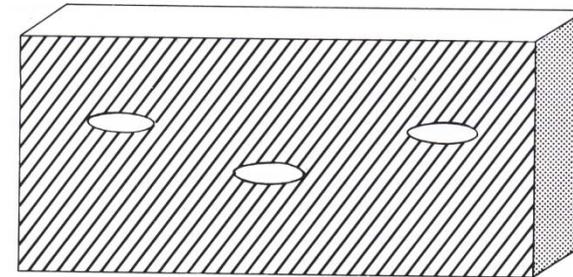


Fibrous Shear

## Brucharten

### Quasi-spröder Gewaltbruch(Rosettenbruch)

- ... entsteht bei zunehmend eingeschränktem Verformungsvermögen
- Ausgehend von einem Zentrum verläuft die Rissfläche nahezu konzentrisch (spröd), wobei die einzelnen Bruchbahnen in Wabenfeldern abgefangen werden
- Wölbungen in den durch Kämmen getrennten Bruchbahnen zeigen die Restduktilität des Werkstoffs

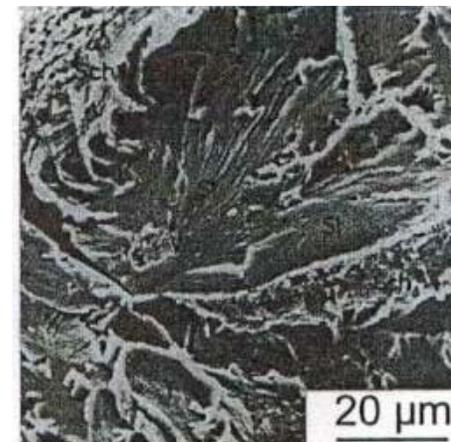
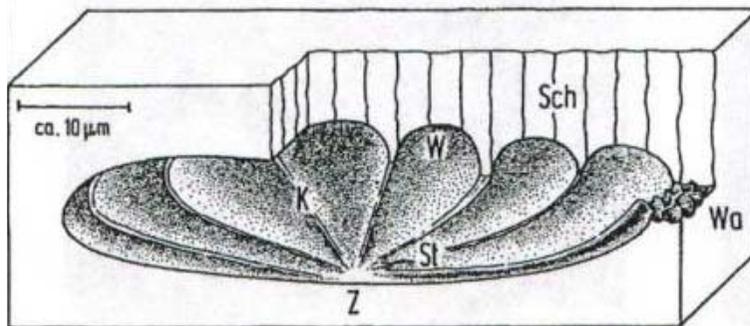


Schema der Bildung des Quasi-Spaltbruchs (Rosettenbruch)

## Brucharten

### Quasi-spröder Gewaltbruch (Rosettenbruch)

- ... entsteht bei zunehmend eingeschränktem Verformungsvermögen
- Ausgehend von einem Zentrum verläuft die Rissfläche nahezu konzentrisch (spröd), wobei die einzelnen Bruchbahnen in Wabenfeldern abgefangen werden
- Wölbungen in den durch Kämmen getrennten Bruchbahnen zeigen die Restduktilität des Werkstoffs



## Brucharten: Ermüdung

### Ermüdungsbruch

#### Makroskopisch

- makroskopisch verformungslos
- matte, samtartige, glatte Bruchfläche
- vielfach Rastlinien durch Rissstillstand, Wechsel der Belastung
- Rastlinien konzentrisch um Ort des Rissbeginns angeordnet
- Rissbeginn meistens an der Oberfläche
- Fasern in Rissausbreitungsrichtung

Wichtiges Kriterium für die Höhe der Belastung

*Verhältnis der Restbruchfläche zur Schwingbruchfläche*

## Brucharten: Ermüdung

### Ermüdungsbruch

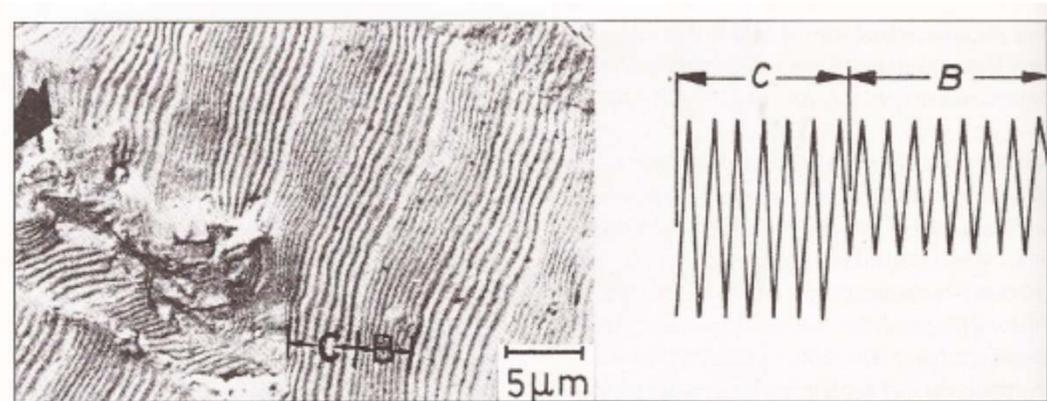
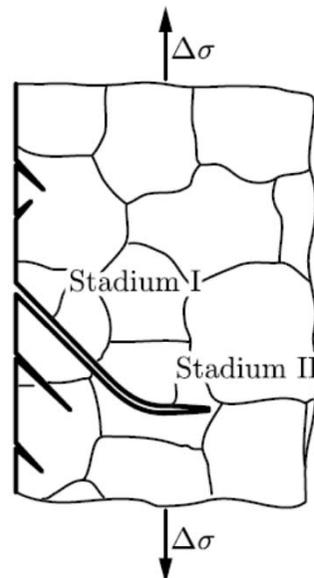
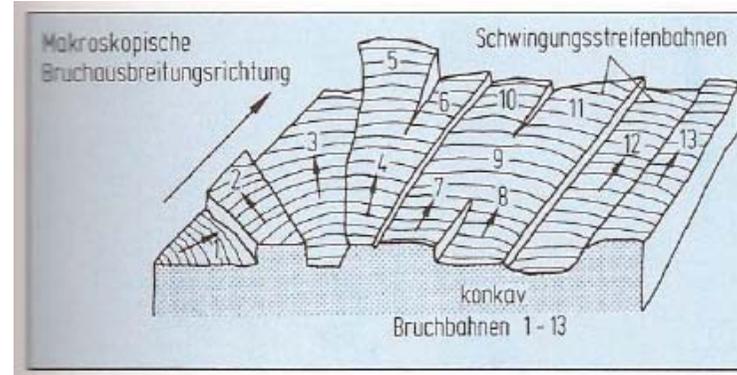
#### Mikroskopisch

Gleitbänder auf der Oberfläche

Schwingstreifen auf der Bruchfläche

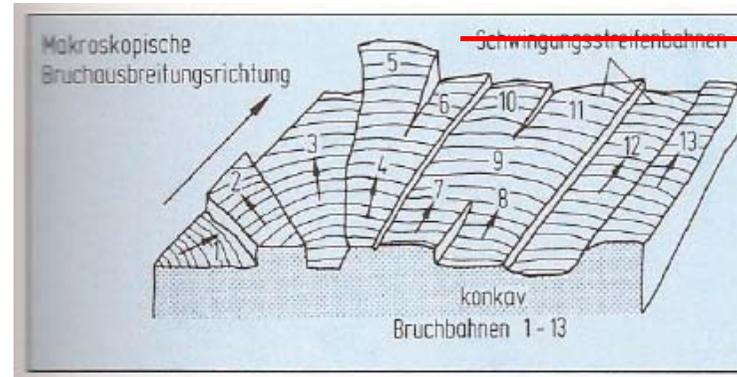
- Entstehung s. Rissausbreitung im Bereich Paris-Gleichung
- Breite des Schwingstreifens da

Brucharten: Ermüdung



Infolge der wechselnden Belastung können sich auf der Bruchfläche sogenannte Schwingstreifen ausbilden.

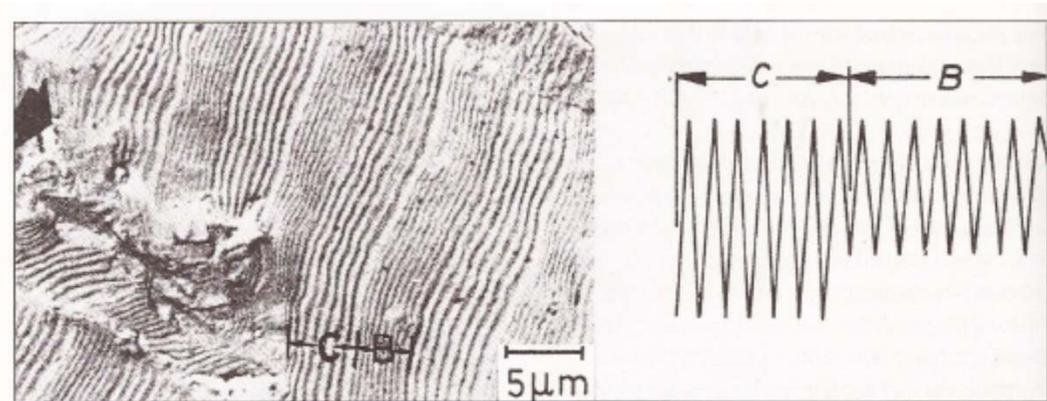
## Brucharten: Ermüdung



Rastlinien!

Bitte nicht verwechseln:

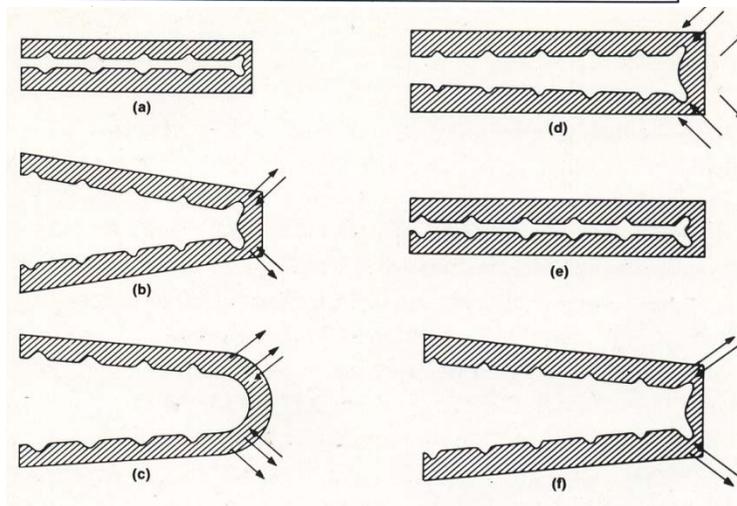
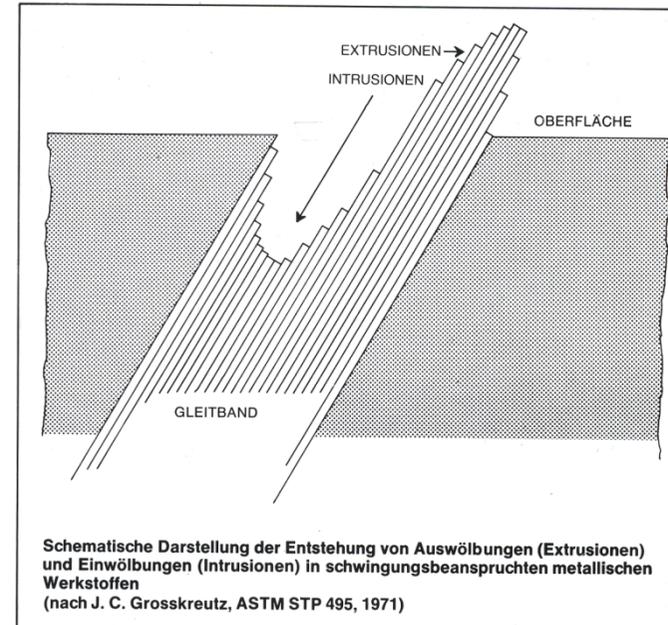
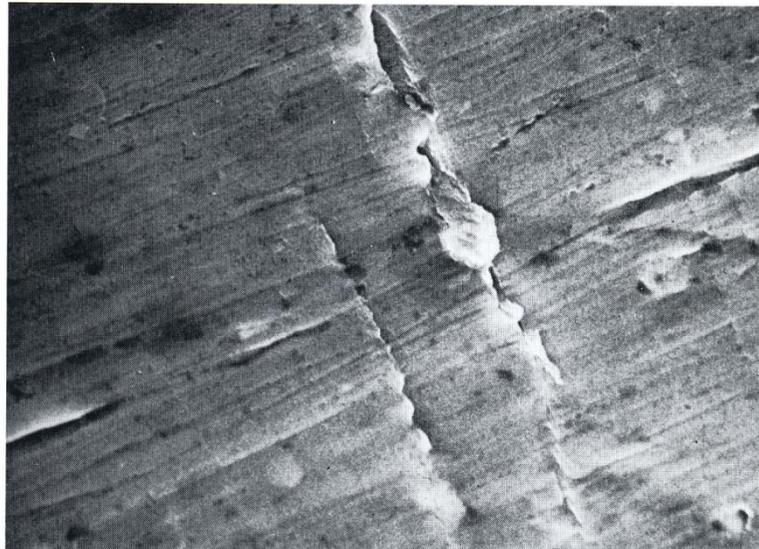
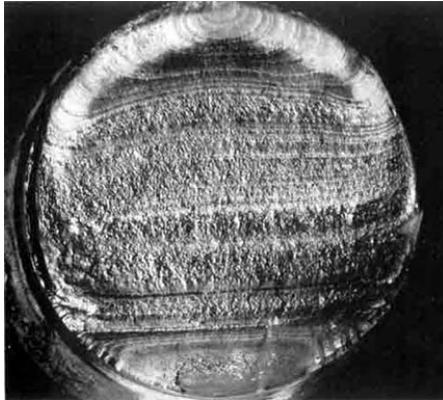
- Rastlinien
- Bruchbahnen
- Schwingstreifen



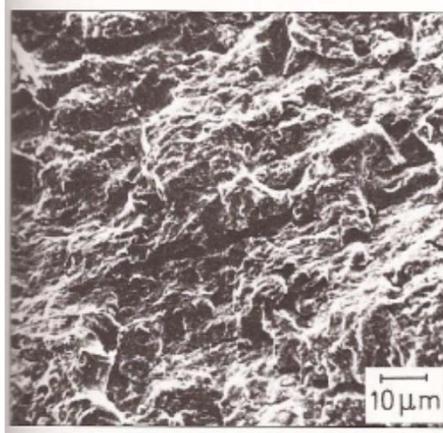
Infolge der wechselnden Belastung können sich auf der Bruchfläche sogenannte Schwingstreifen ausbilden.



## Brucharten: Ermüdung



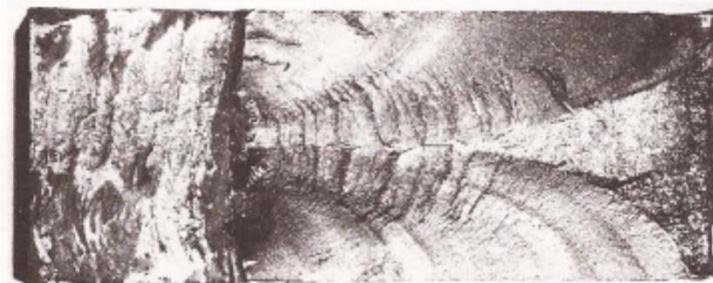
## Brucharten: Ermüdung



Bruchfläche infolge Ermüdung  
in einem Cr-Mo-V-Stahl



Bruchfläche infolge einer  
Umlaufbiegebeanspruchung in  
einem nichtrostenden Stahl

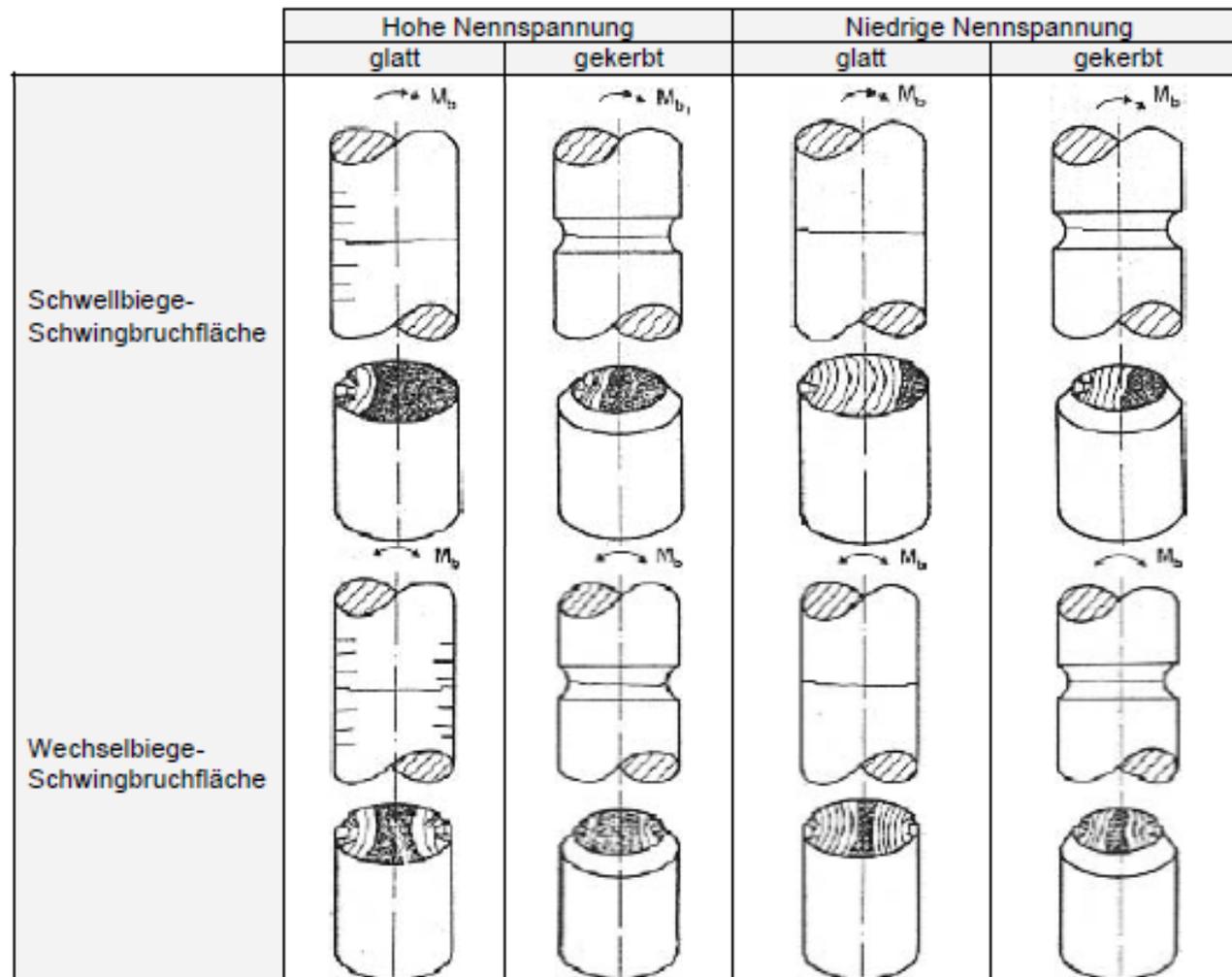


Schwingbruch durch doppelseitige Biegung

Zusammenhang: Rissverlauf u. Beanspruchung

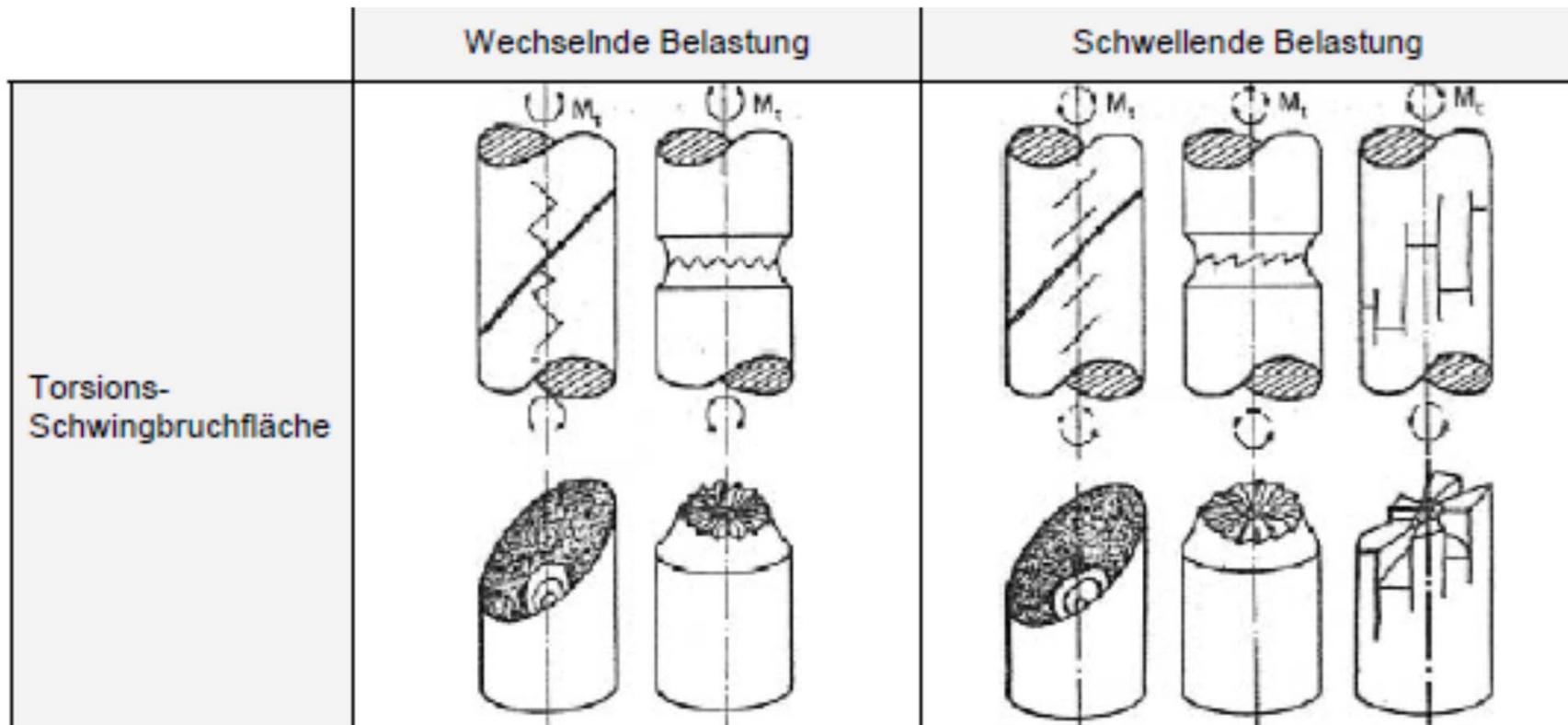
	Hohe Nennspannung		Niedrige Nennspannung	
	glatt	gekerbt	glatt	gekerbt
Zug- Druck- Schwingbruchfläche				
Umlaufbiege- Schwingbruchfläche				

Zusammenhang: Rissverlauf u. Beanspruchung





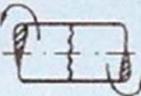
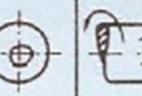
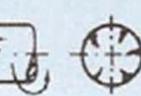
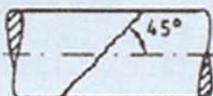
Zusammenhang: Rissverlauf u. Beanspruchung

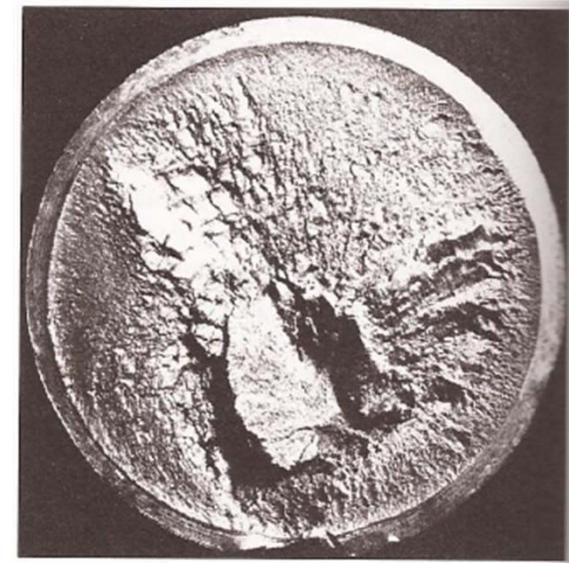


Brucharten: Ermüdung

Hohe Nennspannung			Niedrige Nennspannung		
glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe	glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe
Zug und Zug-Druck					
Einseitige Biegung					
Doppelseitige Biegung					
Umlaufbiegung					
Wechseltorsion					

Brucharten: Ermüdung

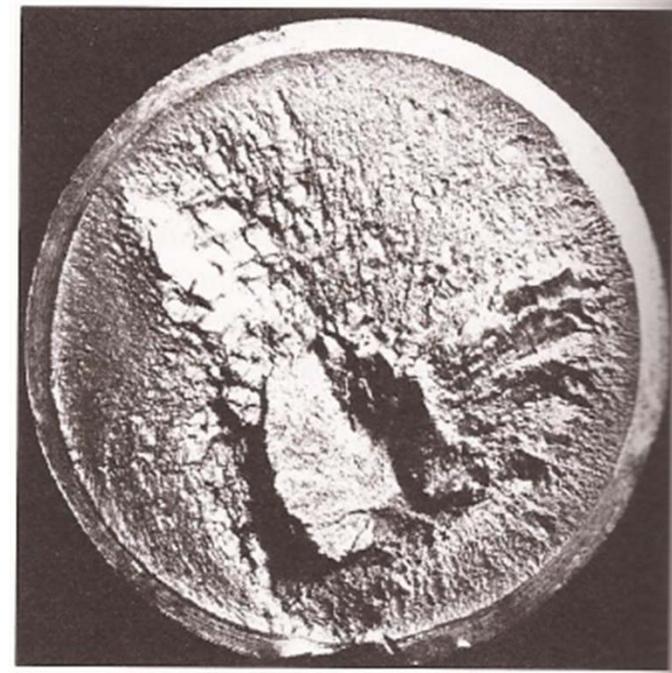
Hohe Nennspannung			Niedrige Nennspannung		
glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe	glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe
Zug und Zug-Druck					
					
Einseitige Biegung					
					
Doppelseitige Biegung					
					
Umlaufbiegung					
					
Wechseltorsion					
					



## Brucharten: Ermüdung

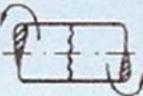
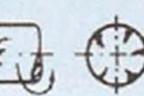
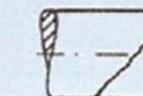
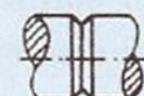
Antriebswelle eines Becherwerks:

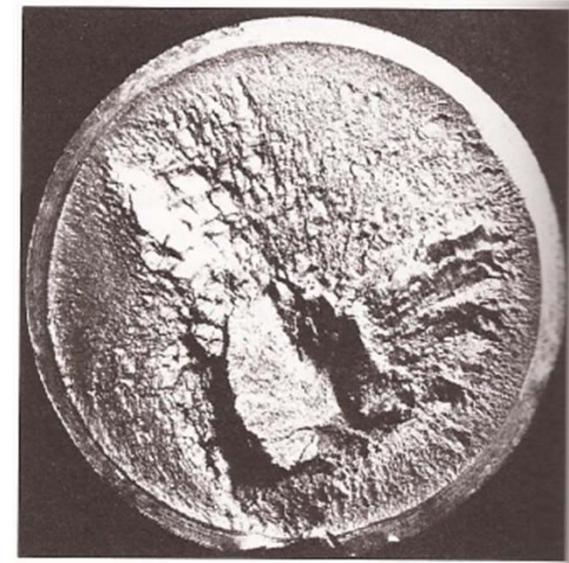
- Bruchfläche zeigen die Merkmale eines Schwingbruchs durch umlaufende Biegung
- Rissinitiierung über große Bereiche des Umfangs nahezu gleichzeitig, daher hohe Kerbwirkung
- Die verhältnismäßig kleine Restbruchfläche und die Ausbildung der Rastlinien zeigen, dass die Nennbelastung nicht sehr hoch gewesen ist.



Bisher Schwerpunkt auf der mechanischen Rissentstehung!

Brucharten: Ermüdung

Hohe Nennspannung			Niedrige Nennspannung		
glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe	glatt	Milde Kerbe	Scharfe Kerbe
Zug und Zug-Druck					
					
Einseitige Biegung					
					
Doppelseitige Biegung					
					
Umlaufbiegung					
					
Wechseltorsion					
					



## Abschließende Bemerkungen

### Schwingbruch (Ermüdungsbruch)

Makroskopisch/lichtmikroskopisch sind oftmals sog. **Rastlinien** zu erkennen, die bei plötzlichen Änderungen der Belastungsbedingungen (Amplitude, Mittellast) entstehen.

**Bruchbahnen** sind Stufen zwischen parallelen Rissbereichen und verlaufen in Rissausbreitungsrichtung.

Für Ermüdung typische **Sekundärrisse** bilden sich entlang der aktuellen Rissfront und laufen senkrecht in die Bruchfläche hinein.

**Schwingungstreifen** sind ggf. ein Abbild des Schädigungs-Prozesses.