
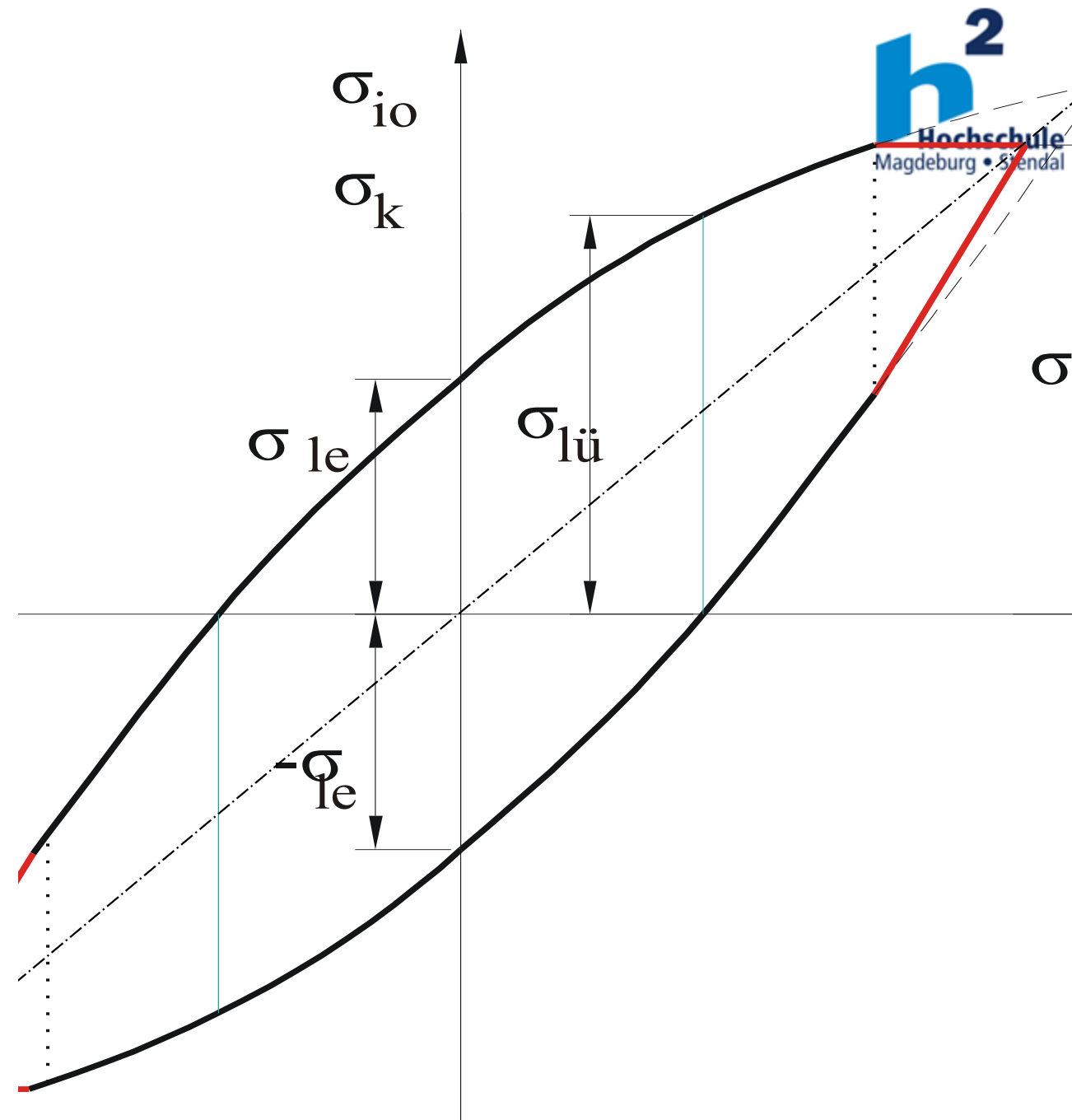


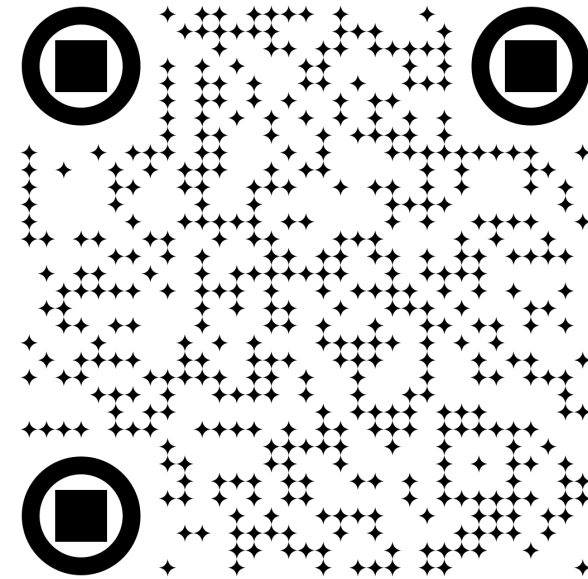
# Ermüdung und Verschleiß

Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg   
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: [christian.willberg@h2.de](mailto:christian.willberg@h2.de)  
Teile des Skripts sind von Prof. Dr.-  
Ing. Jürgen Häberle übernommen



## Bildreferenz



# Ermüdung

- ▶ Was ist Ermüdung?

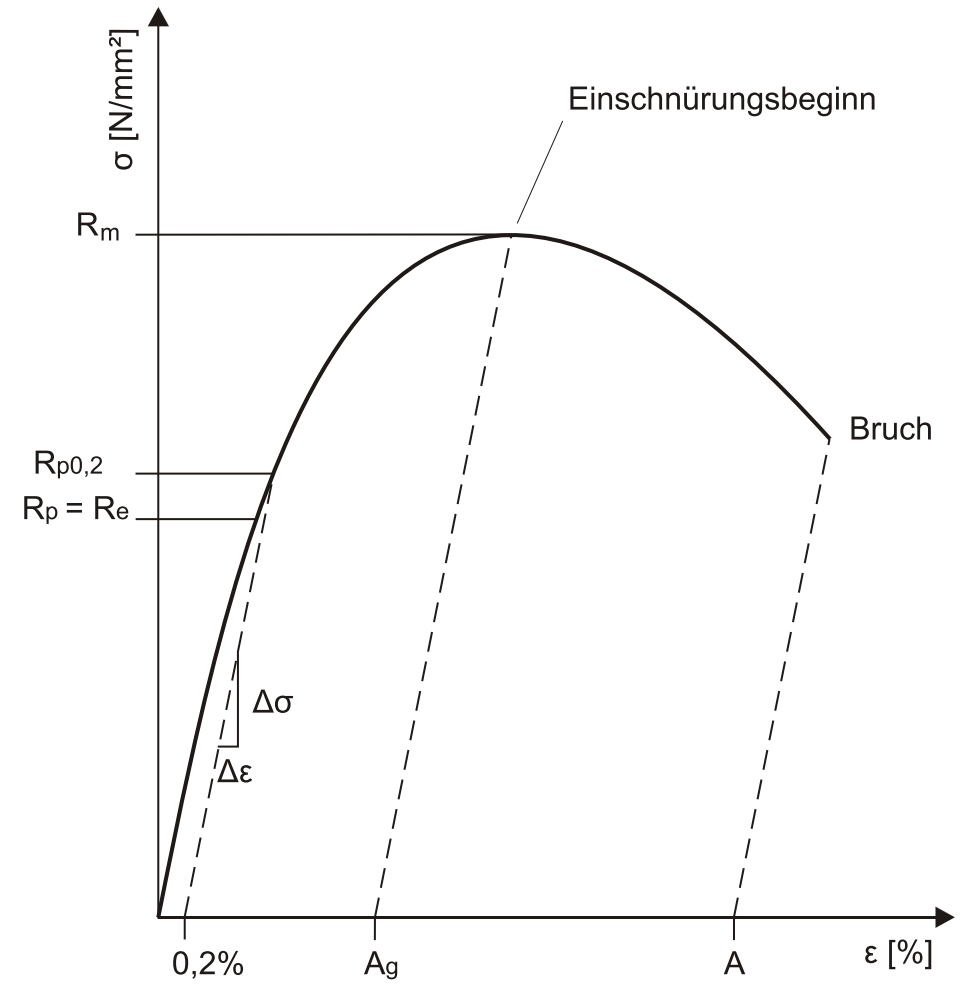
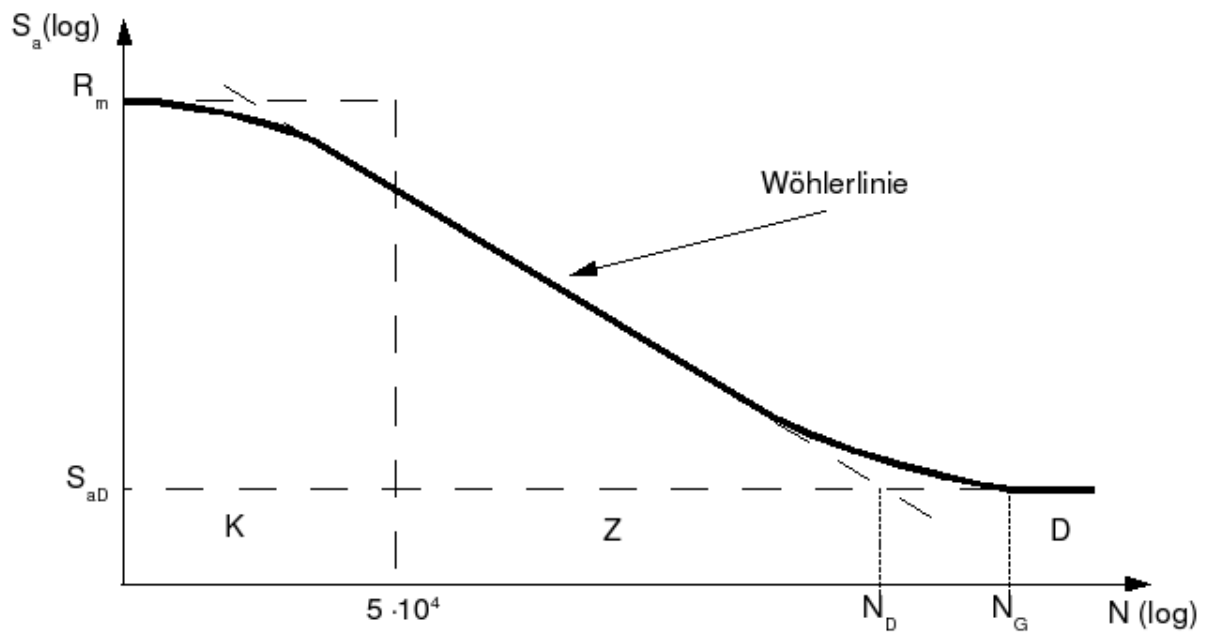
- Tritt typischerweise bei zyklischer Belastung auf
  - Isotherme mechanische Ermüdung
    - **Oszillierende Last**
    - Flugzeugrümpfe (Druckaufbau und -abfall)
  - Thermische Ermüdung
    - Öfen, Heizelemente
  - Thermomechanische Ermüdung
    - Hochdruckbehälter
  - Elektrothermische Ermüdung
    - Stromleiter (Glühfäden)



# Ermüdung

- Die Belastung liegt unterhalb der Streckgrenze  $R_{p0,2}$ 
  - *Erinnerung: Was bedeutet  $R_{p0,2}$ ?*
- Spannungs-Konzentrationen entstehen an Materialfehlern (Poren, Mikrorisse) oder im Kristall (Versetzungen, Fehlstellen)
- Zunächst bilden sich unter wechselnder Last lokal zufällige Bereiche plastischer Verformung
- Diese Punkte repräsentieren Spannungs-Konzentrationsbereiche, die sich mit der Zeit vergrößern und zu Bruch führen können

[Erklärvideo](#)



# Spannungsverhältnis

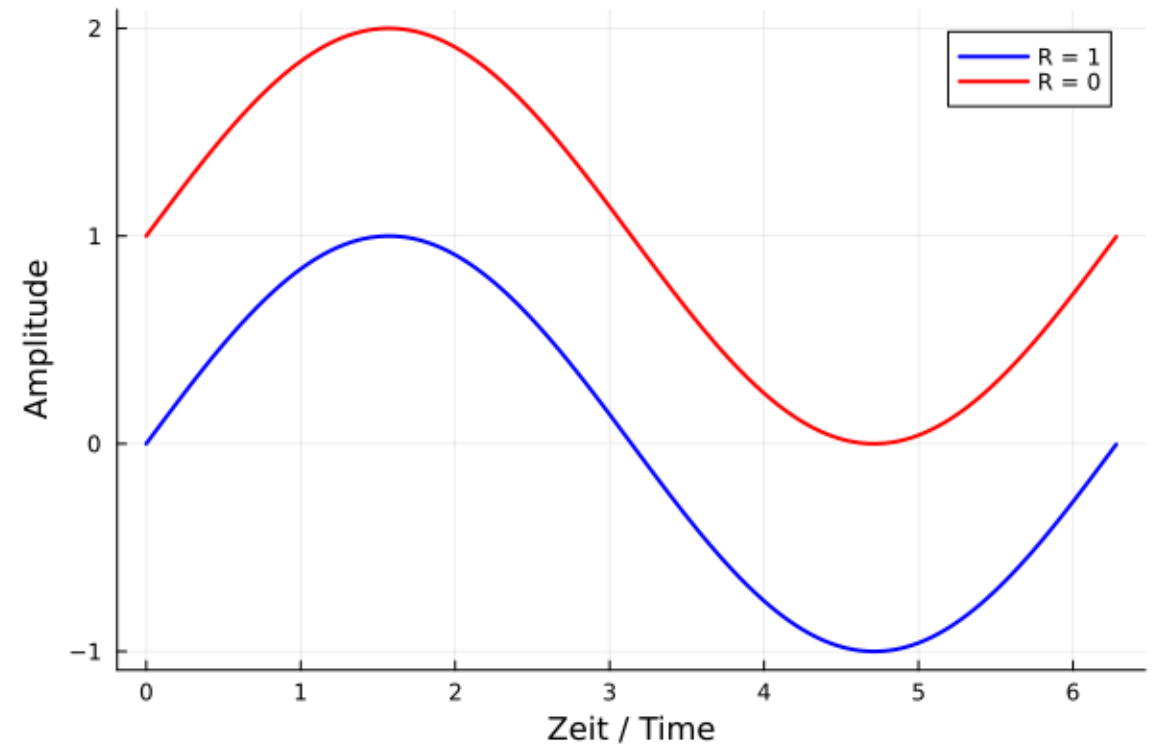
$$R = \frac{\sigma_u}{\sigma_o}$$

## Mittelspannung

$$\sigma_m = \frac{\sigma_u + \sigma_o}{2}$$

$\sigma_o$  - Oberspannung

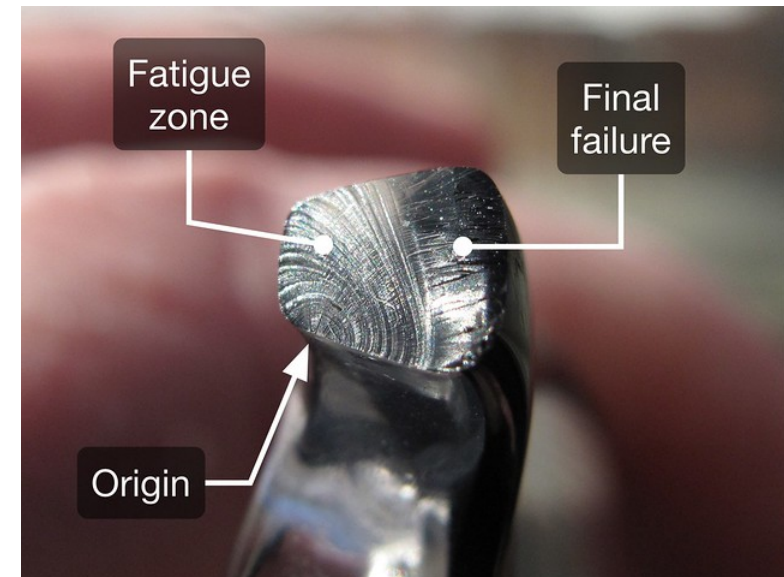
$\sigma_u$  - Unterspannung





# Begriffe

- Lebensdauer
- Ermüdungsriß
- Ermüdungsbruch
- Kurzzeitfestigkeit (K)  $< 10^5$  (Low Cycle Fatigue (LCF))
- Zeitfestigkeit (Z)  $10^4 < 10^6$  (High Cycle Fatigue (HCF))
- Dauerfestigkeit (D)  $> 10^6$  (Very High Cycle Fatigue (VHCF))



## Gegenmaßnahmen

- Kerbwirkung verringern
- Materialanpassung
- Konstruktion anpassen, damit lokale Spannung zulässige Grenzen nicht überschreitet
- Regelmäßige Inspektionen

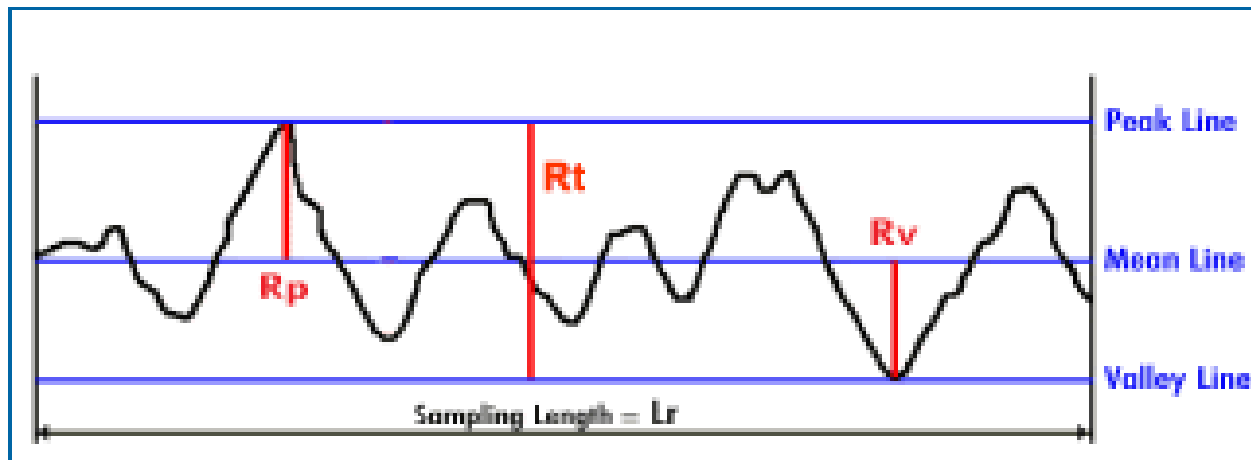
# Verschleiß

- infolge Reibung eintretende bleibende Form- und Stoffveränderung an der Oberfläche von Festkörpern
- ist technologisch nicht beabsichtigt und eine Form des funktionellen Versagens darstellt bzw. darstellen kann
- Beeinflusst durch
  - Reibkörperpaarung
  - Beschaffenheit der Grenzschichten und des Zwischenstoffes
  - Art des Bewegungsablaufes
  - Höhe der Belastung

- Adhäsiver Verschleiß
- Abrasiver Verschleiß
- Oberflächenzerrüttung
- Tribooxidation

## Adhäsiver Verschleiß

- Adhäsiver Verschleiß tritt bei mangelnder Schmierung auf
- bei hoher Flächenpressung haften Flächen aneinander
- tritt Gleiten ein, werden Randschichtteilchen
- es entstehen Löcher und schuppenartige Materialteilchen, die oft an der Gleitfläche des härteren Partners haften bleiben.



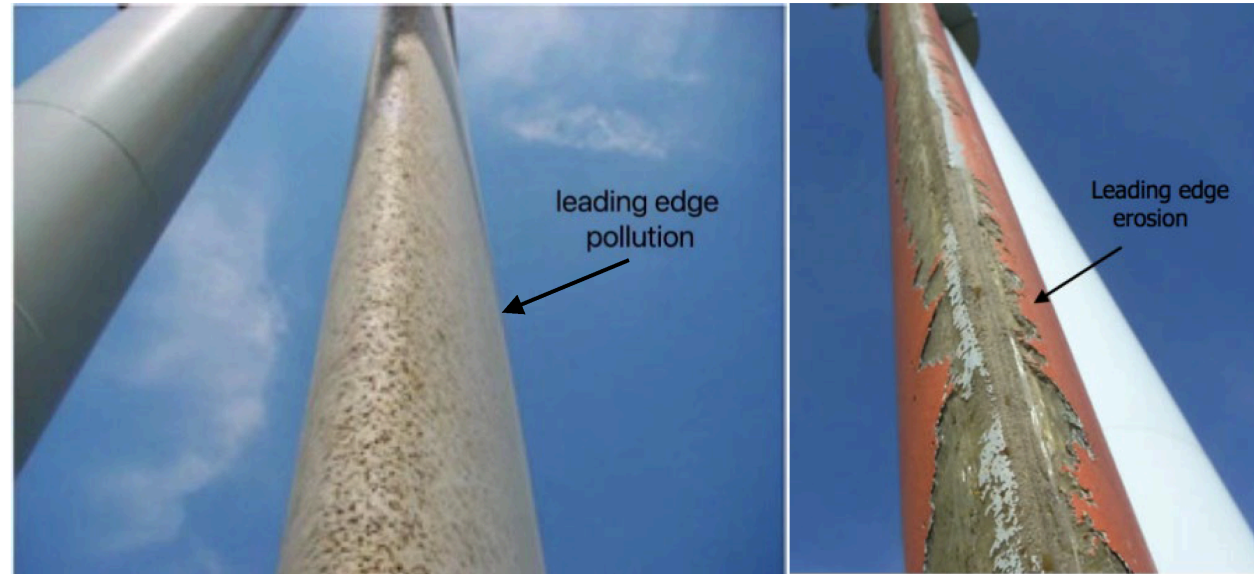
# Abrasiver Verschleiß

- harte Teilchen eines Schmierstoffs oder Rauheitsspitzen eines Reibungspartners dringen in Randschicht ein
  - > es kommt es zu Ritzung und Mikrozerspanen
    - Furchverschleiß oder Erosionsverschleiß
- richtige Wahl der Werkstoffpaarung; Metall-Kunststoff- oder Metall-Keramik-Paarungen



## Beispiel Windenergie:

- Sand im Wind "schmirgelt" die Oberfläche ab
- Wirkungsgrad sinkt



# Oberflächenzerrüttung

- wechselnde oder schwellende mechanische Spannungen an der Oberfläche
- Ermüdung oder Kriechen des Materials an der Oberfläche

# Tribooxidation

- Tribooxidation (Passungsrost) an einer Welle aus Stahl
- Bildung von Zwischenschichten, z. B. Oxidschichten, infolge chemischer Reaktion und ihre mechanische Zerstörung durch Bewegung der Bauteile
- tritt fast immer zusammen mit adhäsivem Verschleiß auf

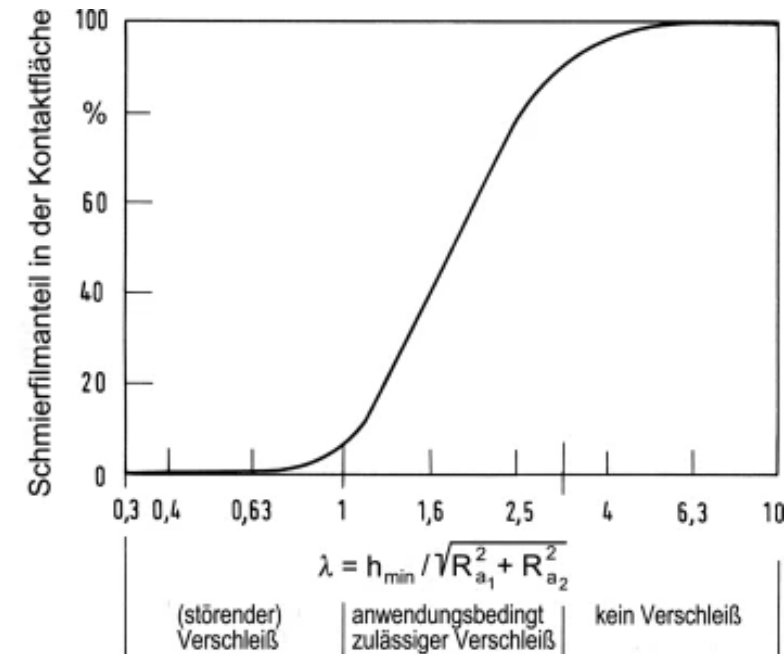
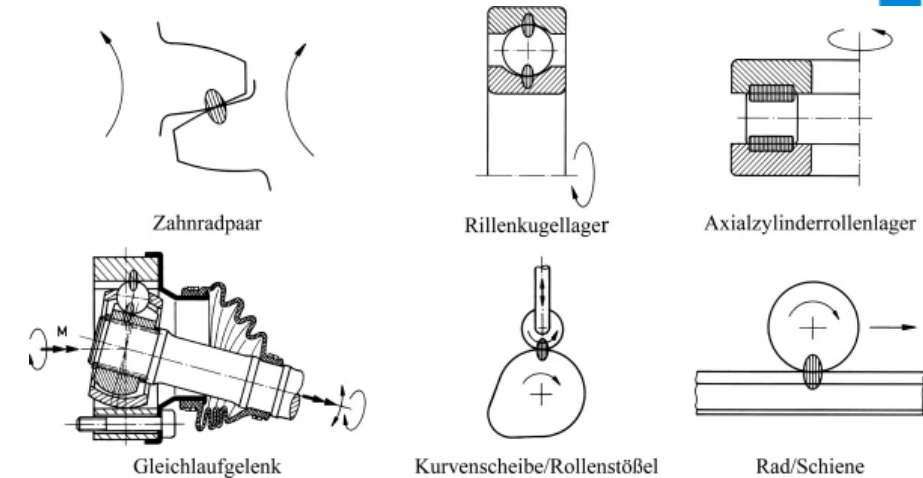
| Verschleißart     | Erscheinung   | Primäres Vorkommen                          |
|-------------------|---|---|
| Gleitverschleiß   | Rillen oder Riefen durch Abrieb, Materialübertragung oder lokales Schmelzen | Un-geschmierte Lager, Kupplungen, Bremsen   |
| Rollverschleiß    | Abblättern durch Ermüdungsrisse   | Rad/Schiene, Wälzlager                      |
| Pittings          | Grübchenbildung: Pitting  | Wälzkörper, speziell Zahnräder              |
| Abrasivverschleiß | Plastische Verformung, Erosion  | Bagger, Schüttguttransport, Partikelaufrall |
| Kavitation        | Oberflächenschädigung durch   | Wasserturbinen, Pumpen                      |

# Gleitverschleiß

- Beeinflusst durch
  - Die mittlere Rauheitstiefe  
 $R_z$
  - Anpressdruck
  - Verschleißpfadverhältnis  
 $W = k \frac{F_N}{A} 10^6$
  - $k$  in  $\left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right]$  spezifischer  
Verschleißkoeffizient  
(lastunabhängig)

# Wälzverschleiß

- **Wälzen** ist eine Beanspruchungsart, bei der Gleitanteile (Schlupf) den reinen Rollvorgang überlagern
- kleine Kontaktfläche; hohe Flächenpressung
- Oberflächenzerrüttung (plastische Verformung, Gefügeänderungen, usw.)
- durch Schmierung deutlich reduzierbar → spezifische Schmierfilmdicke  $\lambda$



# Kavitation

## Video

- ▶ Physikalische Ursache?

- lokale Belastungen an der Oberfläche
- diese Bereiche ermüden und platzen ab
- Beeinträchtigt die Oberfläche
  - Wirkungsgradreduktion
  - Korrosion
  - Bereiche wo Risse initiieren können



# Reibkorrosion

- Gleitbewegungen zwischen zwei hochbelasteten Bauteilen
- meist bei zu geringem Übermaß  
→ Passungen