

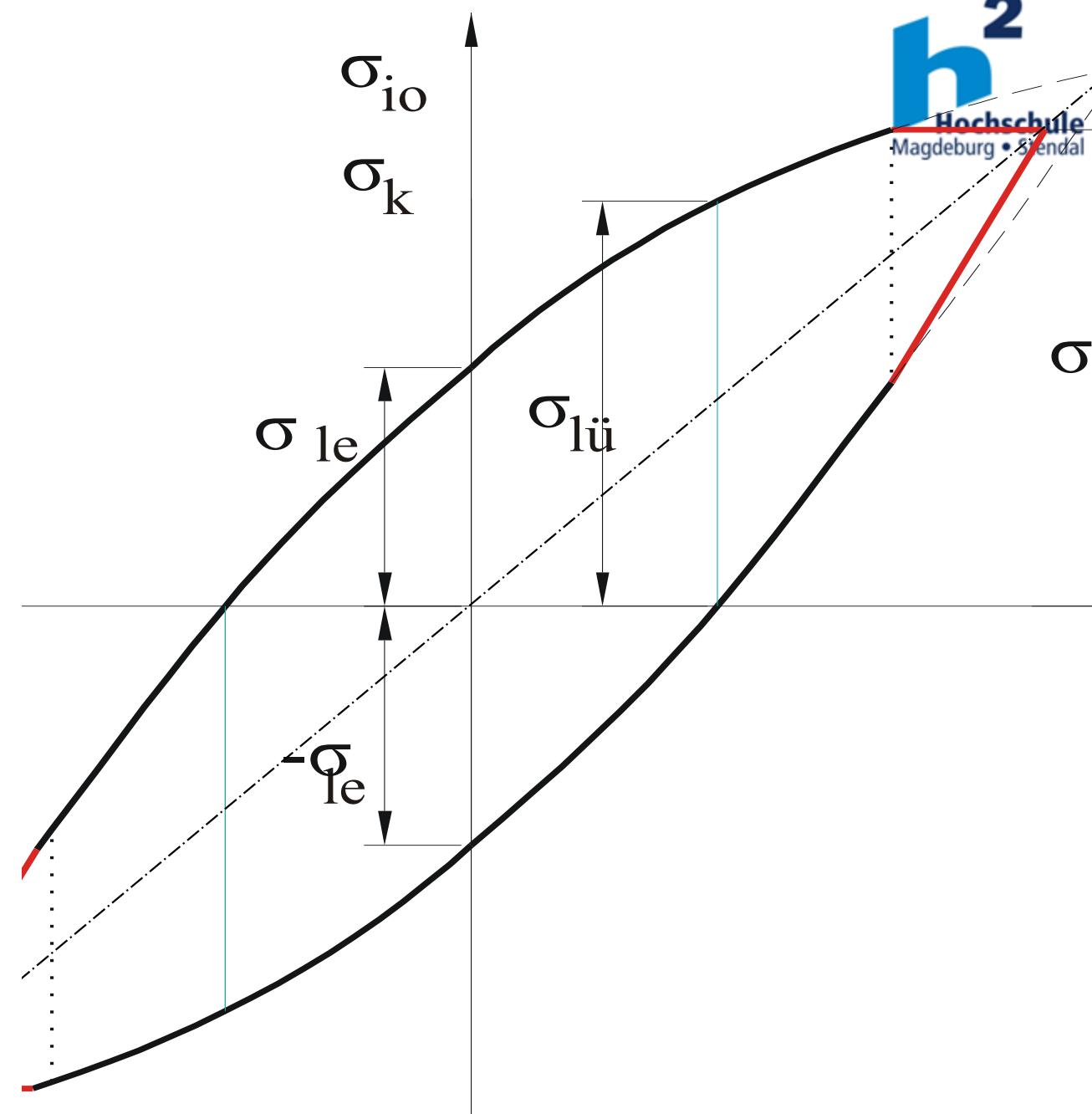
Ermüdung und Verschleiß

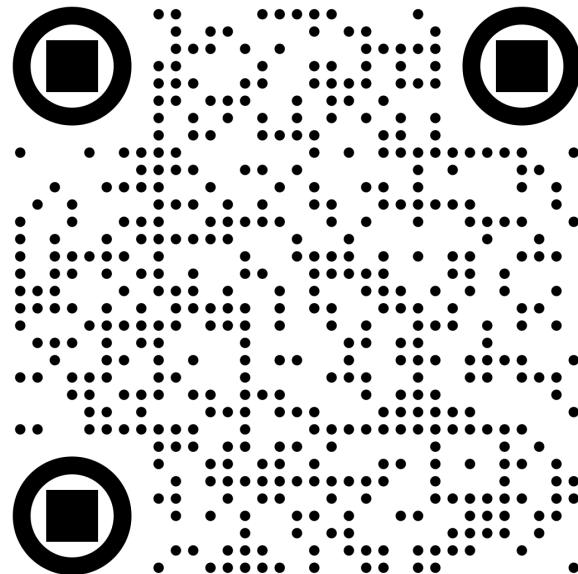
Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{id}

Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: christian.willberg@h2.de

Teile des Skripts sind von Prof. Dr.-
Ing. Jürgen Häberle übernommen

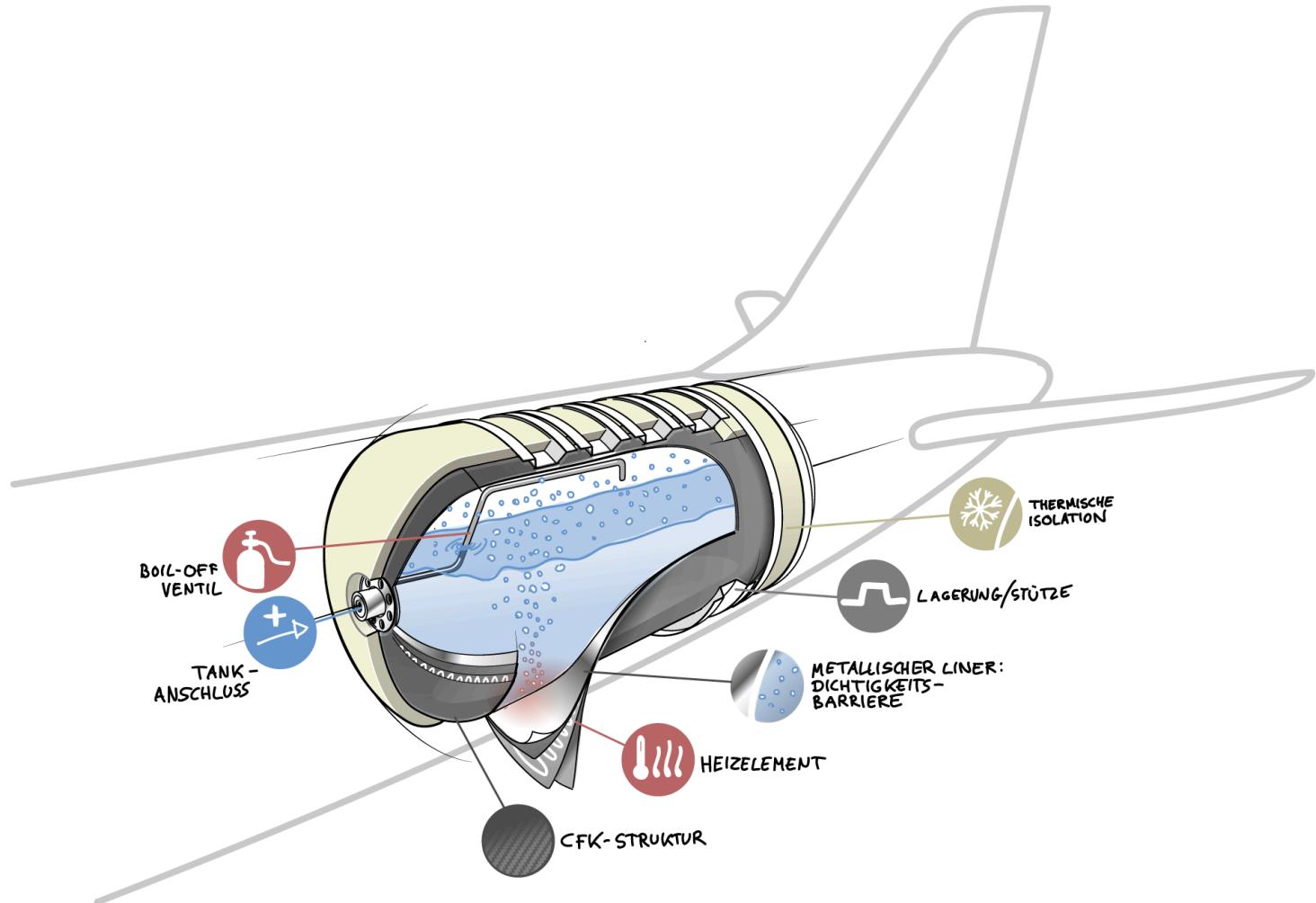




Ermüdung

- Was ist Ermüdung?

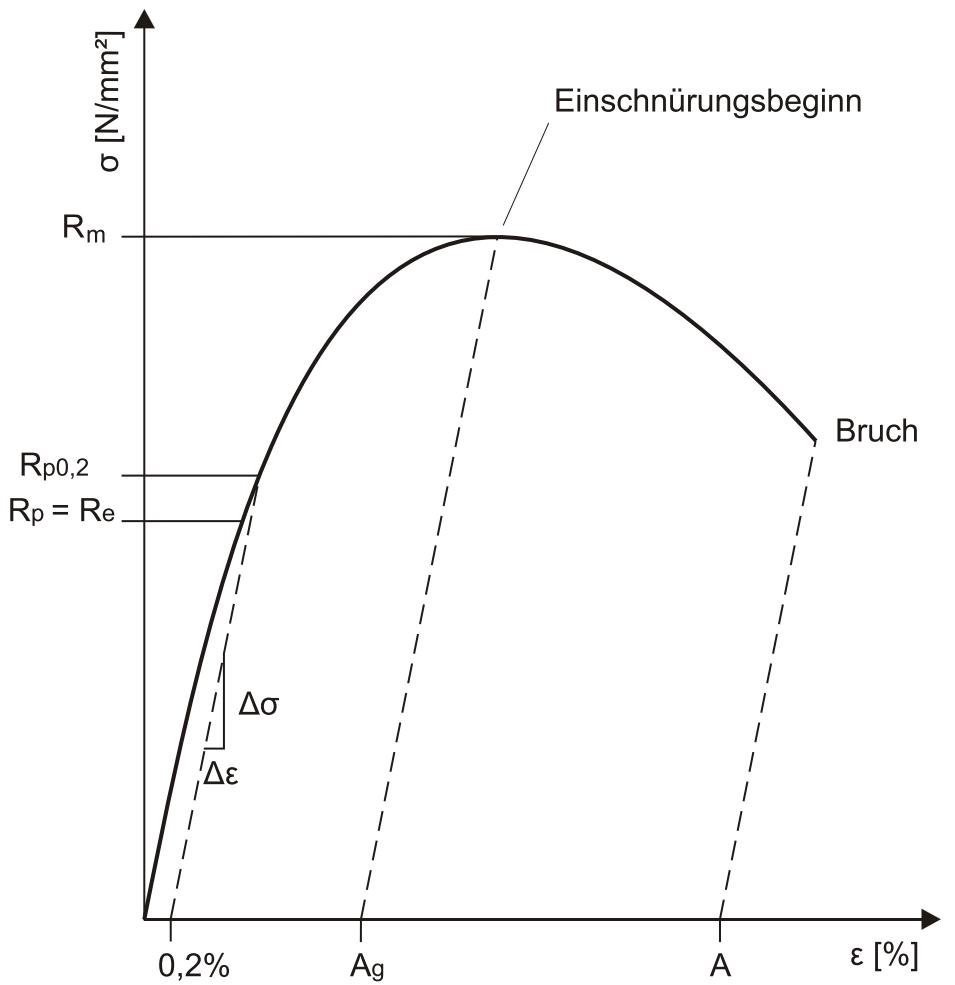
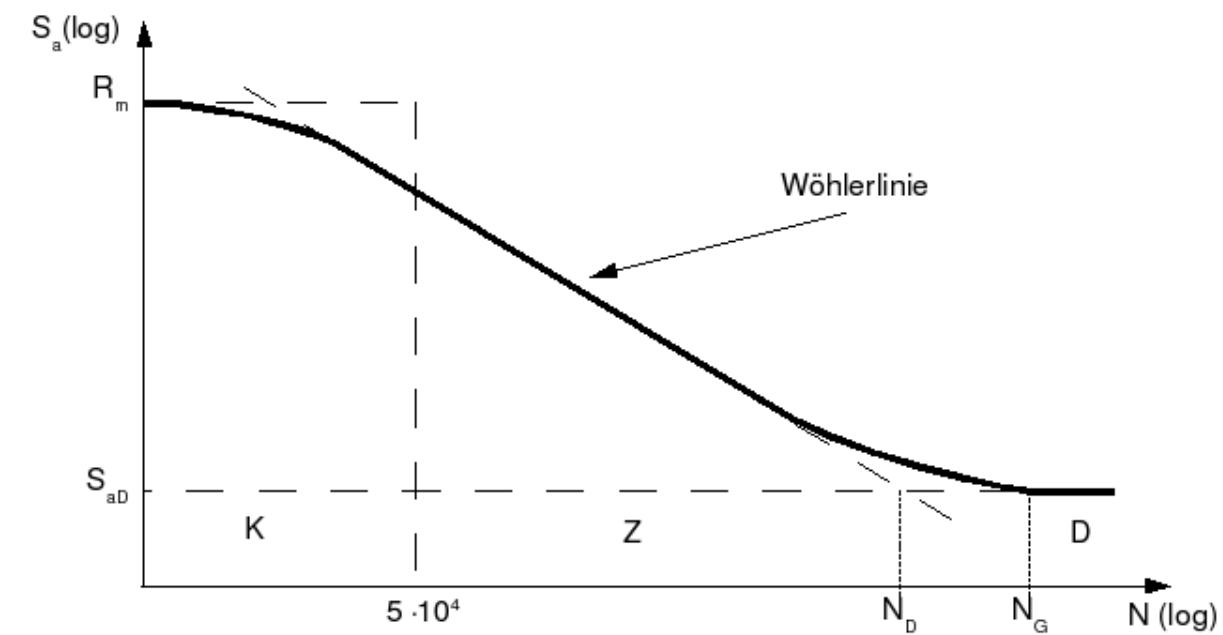
- Tritt typischerweise bei zyklischer Belastung auf
 - Isotherme mechanische Ermüdung
 - Oszillierende Last
 - Flugzeugrümpfe (Druckaufbau und -abfall)
 - Thermische Ermüdung
 - Öfen, Heizelemente
 - Thermomechanische Ermüdung
 - Hochdruckbehälter
 - Elektrothermische Ermüdung
 - Stromleiter (Glühfäden)



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

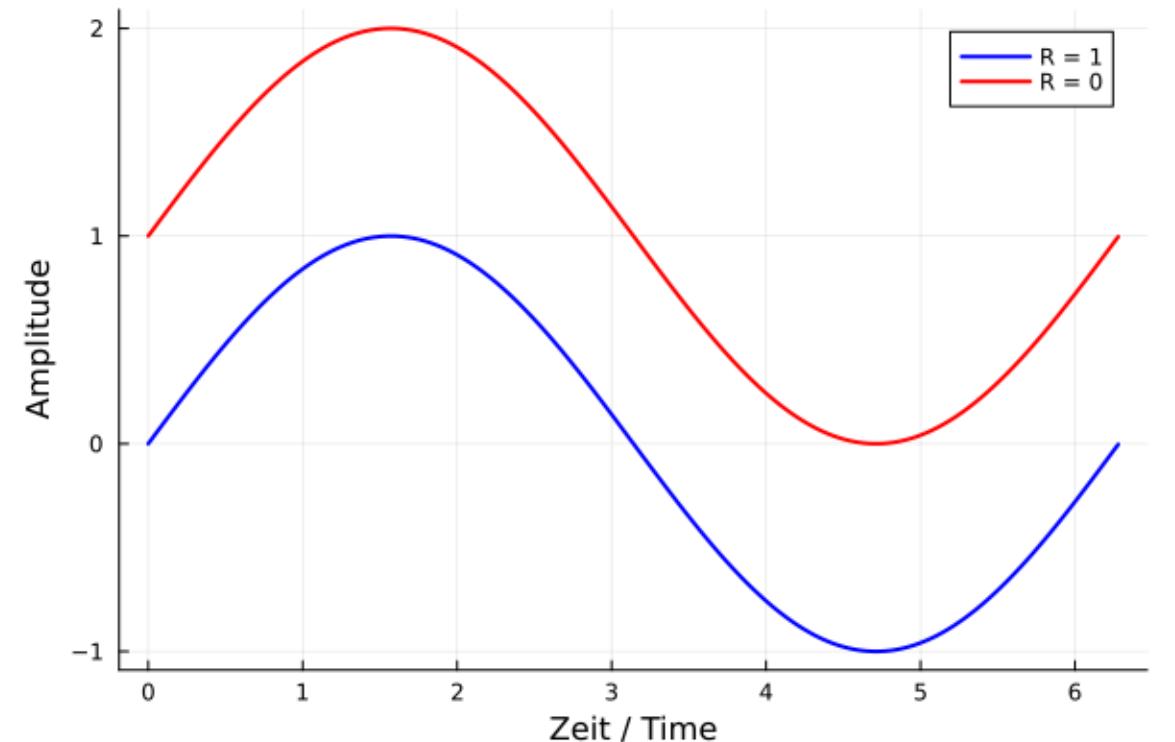
$$R = \frac{\sigma_u}{\sigma_o}$$

Mittelspannung

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

σ_o - Oberspannung

σ_u - Unterspannung



Spannung ↑

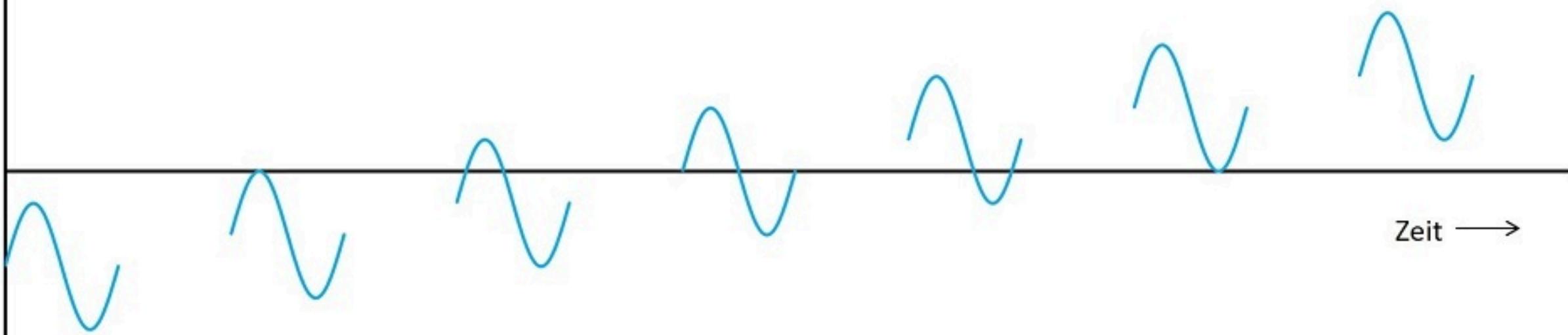
Wechselbereich

Druckschwellbereich

Druckwechselbereich

Zugwechselbereich

Zugschwellbereich



$$R > 1$$

$$S_o < 0$$

$$R = -\infty$$

$$S_o = 0$$

$$S_m = -S_a$$

$$-\infty < R < -1$$

$$S_o > 0$$

$$S_m < 0$$

$$R = -1$$

$$S_o = -S_u$$

$$S_m = 0$$

$$-1 < R < 0$$

$$S_u < 0$$

$$S_m > 0$$

$$R = 0$$

$$S_u = 0$$

$$S_m = S_a$$

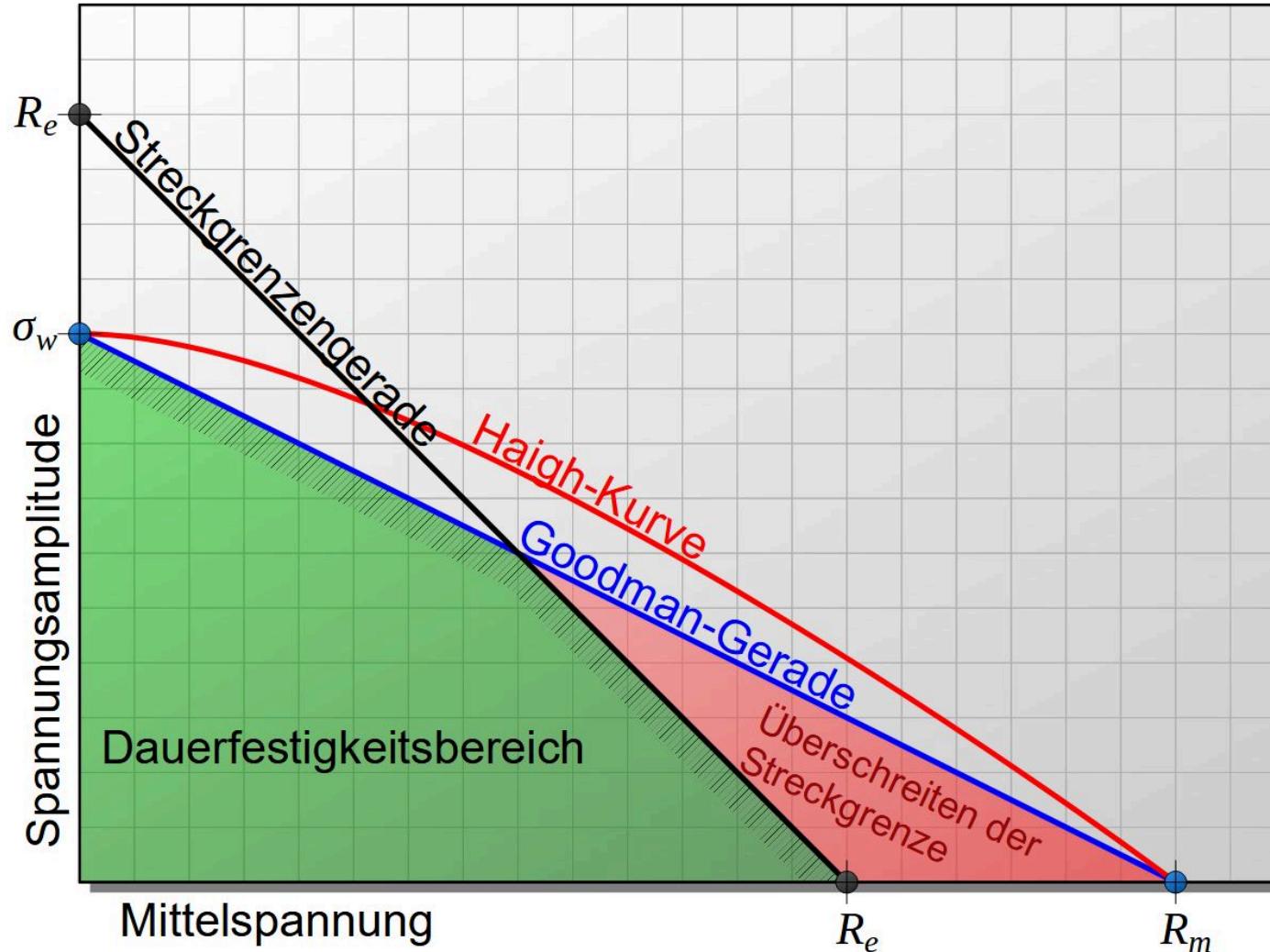
$$0 < R < 1$$

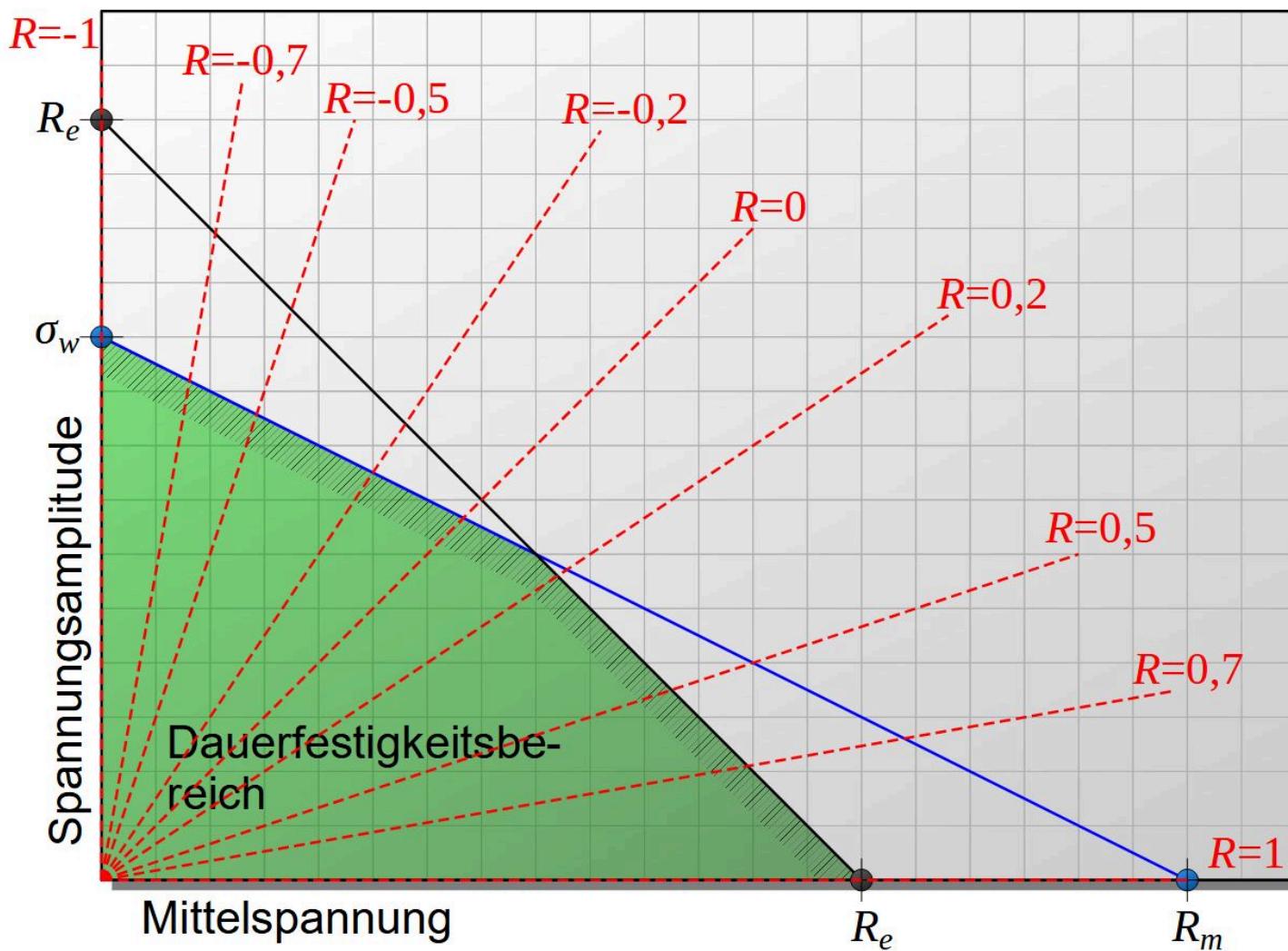
$$S_u > 0$$

Dauerfestigkeitsschaubilder

- Haigh-Diagramm und Smith-Diagramm empfohlen nach DIN 50100

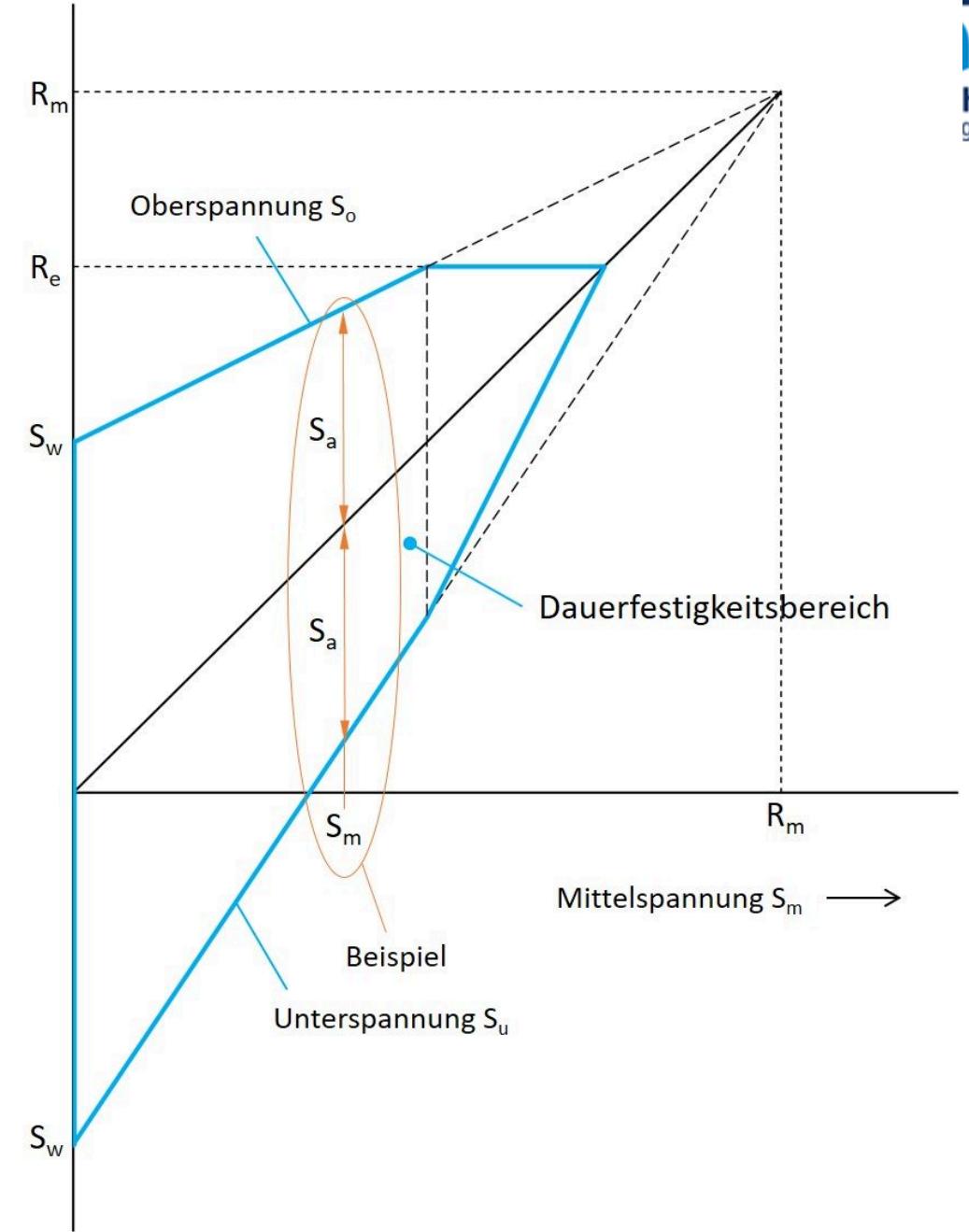
Haigh-Diagramm





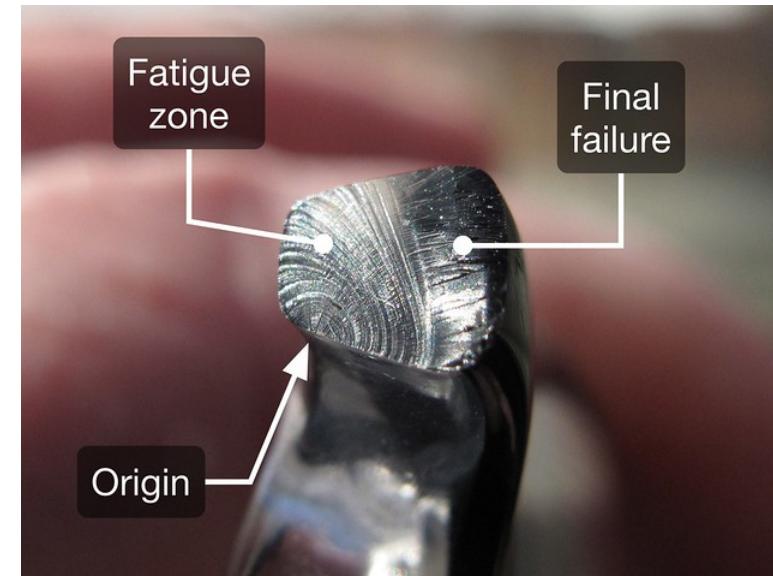
Smith-Diagramm

- Winkelhalbierende eintragen
- Oben und unten (parallele Linien) -
> statische Druck- und
Zugfestigkeit
- Kurven werden aus
Wöhlerexperiment mit
verschiedenen R bestimmt



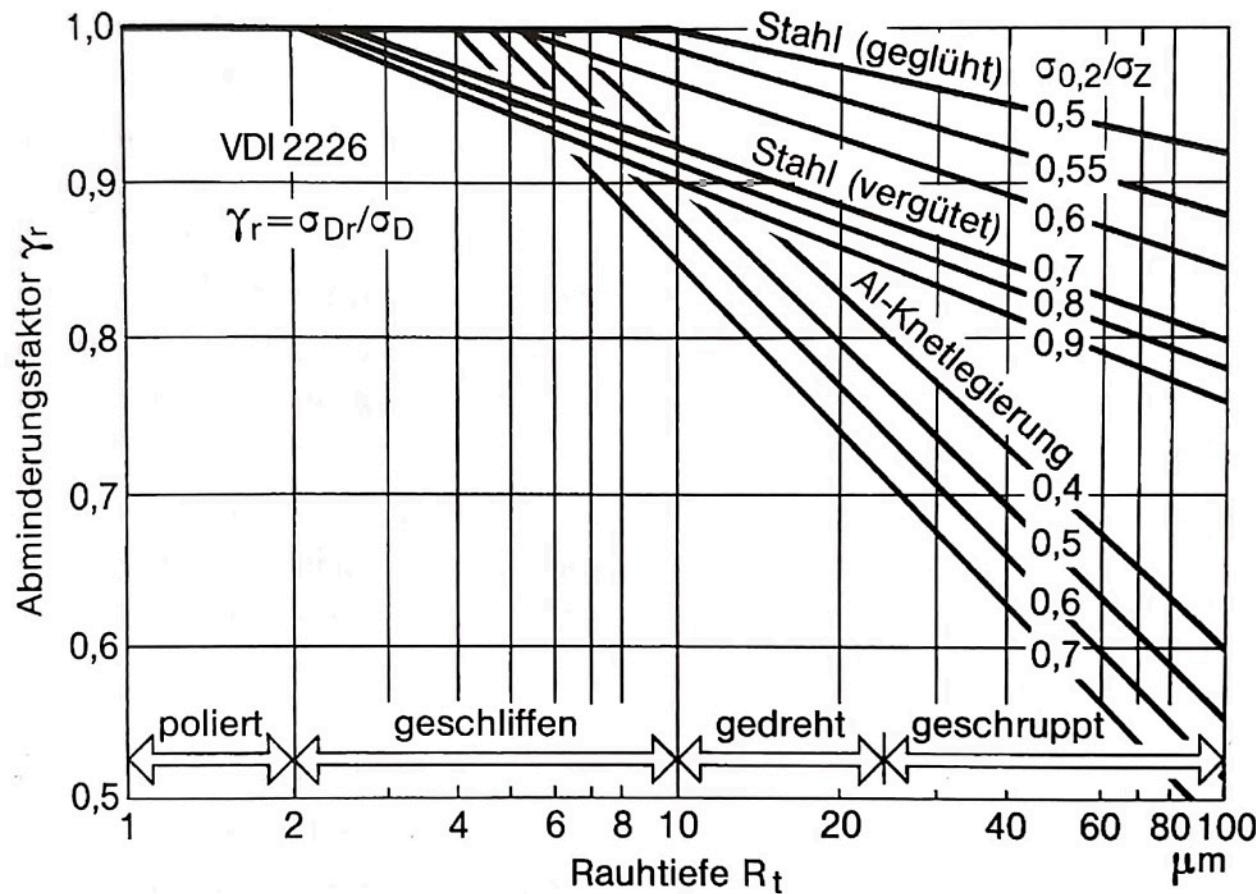
Begriffe

- 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
- Oberfläche



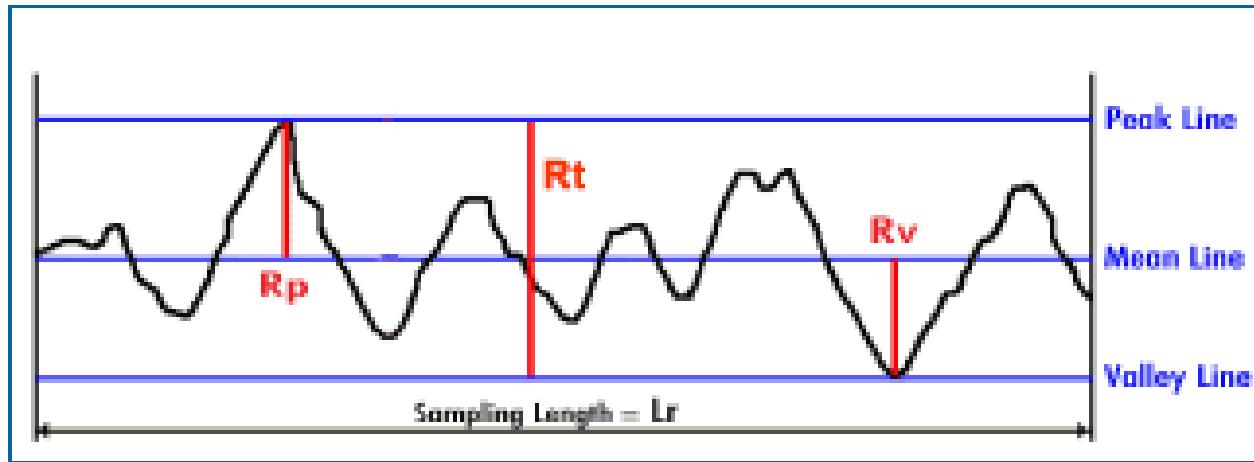
Verschleiß

- 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.

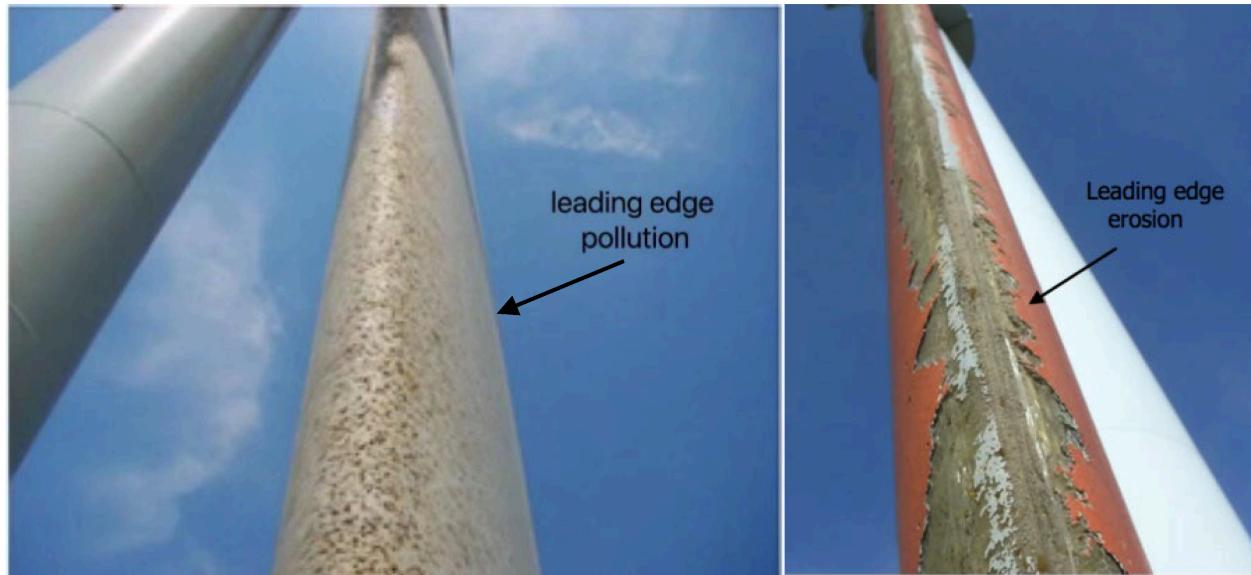


Abrasiver Verschleiß

- 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 "schmiegelt" die Oberfläche ab
- Wirkungsgrad sinkt



Oberflächenzerrüttung

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

Tribooxidation

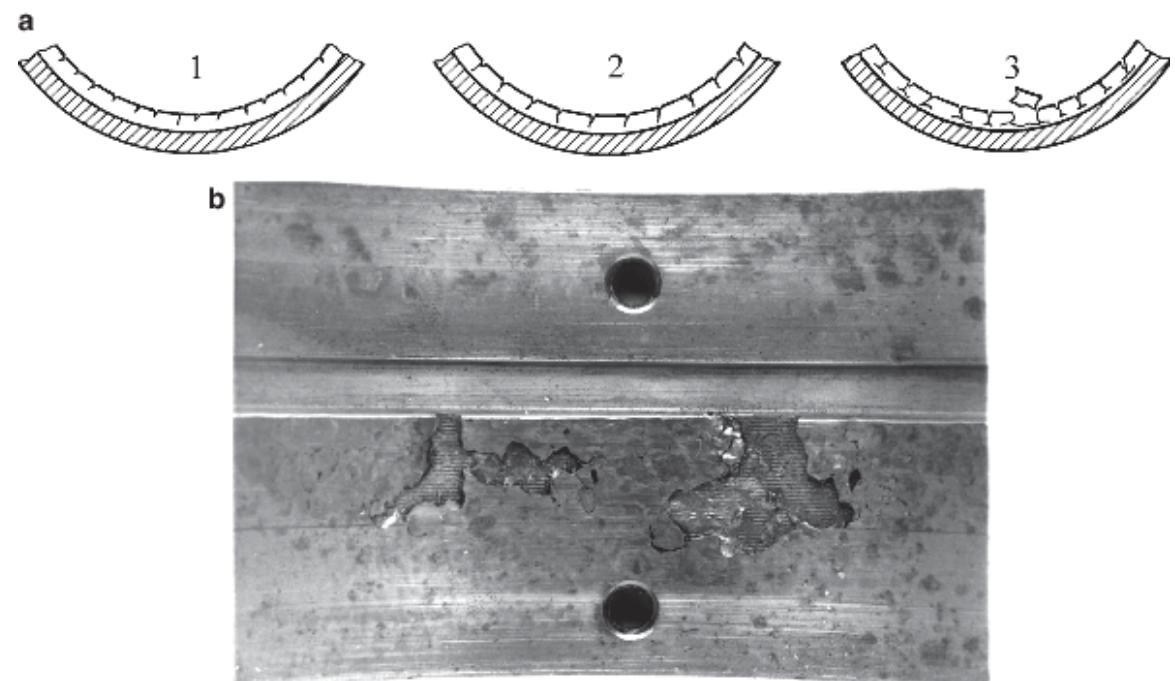
- Tribooxidation (Passungsrost) an einer Welle aus Stahl
- Bildung von Zwischenschichten, z. B. Oxidschichten, infolge chemischer Reaktion und ihre mechanische Zerstörung durch Bewegung der Bauteile
- tritt fast immer zusammen mit adhäsivem Verschleiß auf

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

Verschleißart	Erscheinung	Primäres Vorkommen
Abrasivverschleiß	Plastische Verformung, Erosion	Bagger, Schüttguttransport, Partikelaufprall
Kavitation	Oberflächenschädigung durch Aufprall von Dampfblasen	Wasserturbinen, Pumpen
Tribooxidation (Reibkorrosion)	Loses Oxidationsprodukt	Maschinenelemente mit form- oder kraftschlüssigen Verbindungen

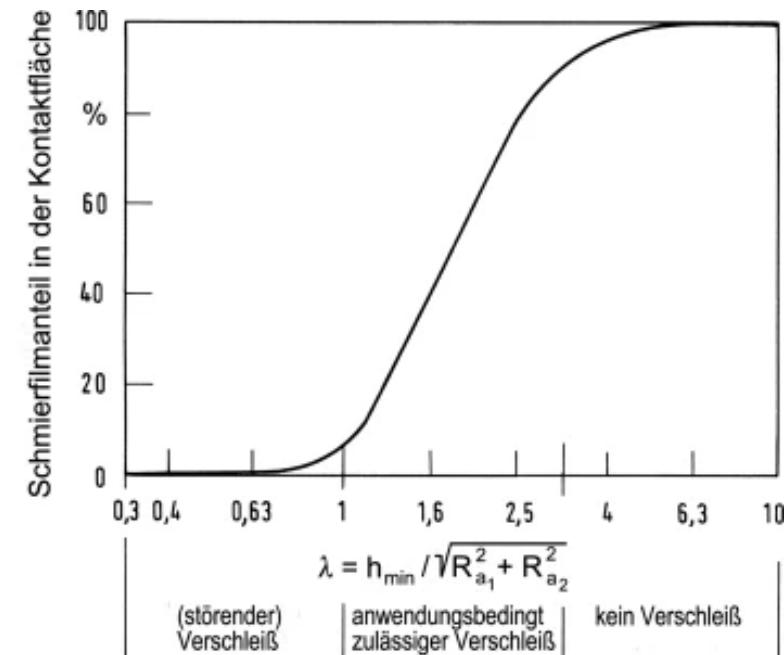
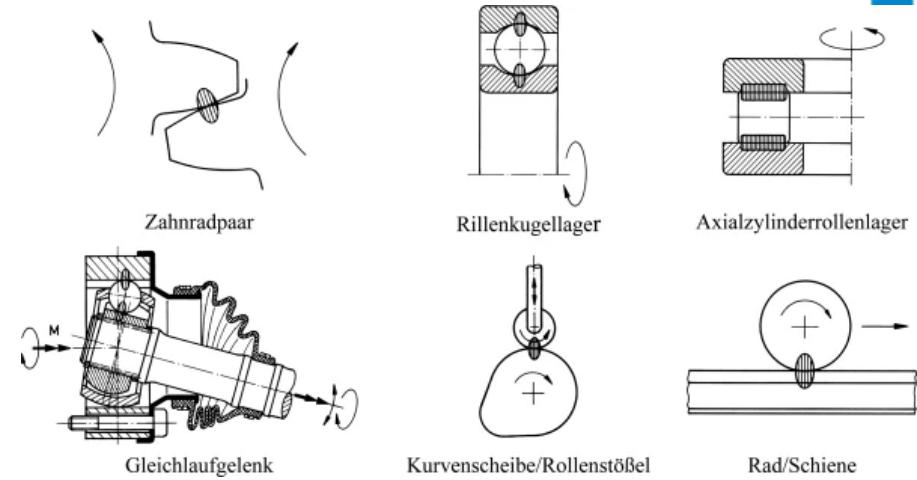
Gleitverschleiß

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



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

