

# Tribologie

Referat im Fach  
Entwicklung&Konstruktion

# Agenda:

- -Was ist Tribologie?
- -Ziel der Tribologie
- -Anwendungen
- -Aufgaben
- -Tribologisches System
- -Funktion und Wirkung
- -Reibungszahlen/Reibungsarten
- -Experiment
- -Reibungszustände
- -Schmierdruck
- -Schmierstoffe/Eigenschaften/Einteilung
- -Schmierungsarten
- -Schäden an Maschinenelementen
- -Formeln
- -Berechnungen
- -Hertz'sche Pressung (Berechnung)

# Was ist Tribologie?

Denk nach!!!!

- -Reibung
- -Verschleiß
- -Schmierung




# Ziel der Tribologie

- Das Bewegungssystem zu optimieren. In ökologischer, ökonomischer und funktioneller Hinsicht. Das heißt Minderung von Verschleiß und Optimierung von Reibungsbedingungen

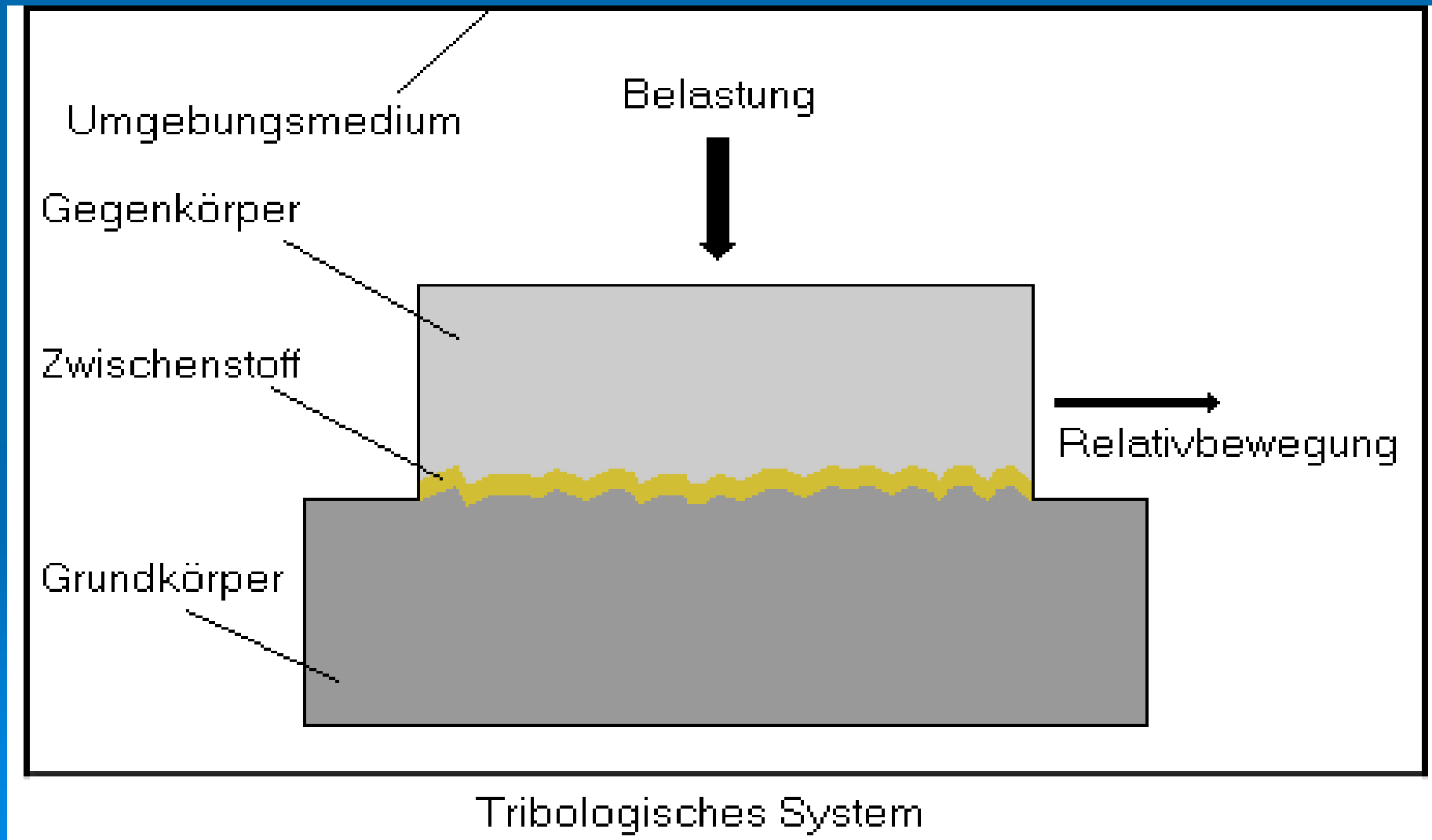
# Wo kommt es zur Anwendung?

- Maschinenbau
- Fertigungstechnik
- Antriebs- und Fördertechnik
- Kraftfahrzeug- und Motorenindustrie
- Bautechnik
- Luft und Raumfahrt
- Schienenfahrzeugtechnik
- Feinwerktechnik
- EDV Technik
- Energieversorgung
- Medizintechnik

# Aufgaben:

- Ressourcen (allgemein)
  - Betriebssicherheit
  - Produktionskosten senken
  - Energie/Emissionen verringern
- 

# Tribologisches System



# Funktion und Wirkung

- Reibung/Verschleiß auf ein minimales reduzieren!
- Energieverlust reduzieren!
- !!! verstärkte Wirkung erwünscht, z.B. Reibradgetriebe/Bremsen!!!



# Reibung

- In der Kontaktzone zweier Bauteile treten Reibungskräfte auf.
- Coulombsches Gesetz:

$$F_R = \mu * F_N$$

- $F_R$  = Reibungskraft
- $\mu$  = Reibungszahl
- $F_N$  = Normalkraft

# *Das Experiment!!*

- Wir wollen feststellen, von welchen Faktoren die Reibwirkung abhängt?



# Reibungszahlen:

- Die Reibungszahlen hängen ab von:
- - der Werkstoffpaarung
- - dem Schmierstoff
- - dem Reibungszustand
- - der Reibungsart

# Reibungszahlen:

➤ Es gilt:

*Gleitreibungszahl  $\mu < \text{Haftreibungszahl } \mu_0$*

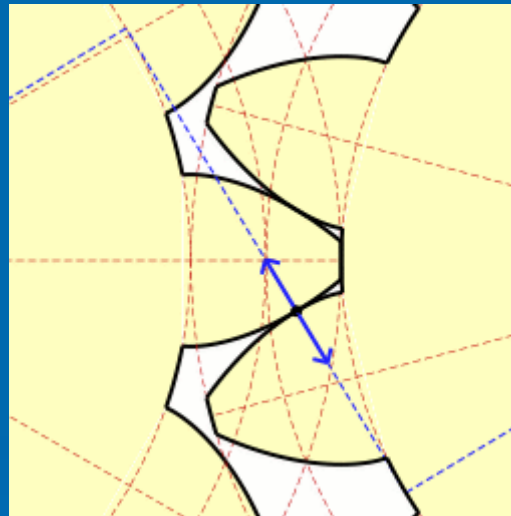
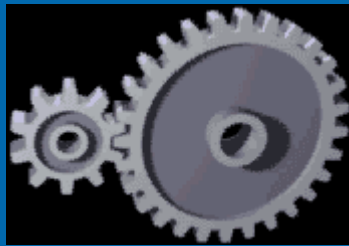
*Rollreibungszahl  $\mu < \text{Haftreibungszahl } \mu_0$*

# Reibungsarten:

- Bei den Reibungsverhältnissen unterscheidet man nach Art der Relativbewegung zwischen zwei Bauteilen, die
- Rollreibung, Gleitreibung, Wälzreibung und Bohrreibung.

# Reibungsarten:

## ➤ Bsp. Zahnradgetriebe:



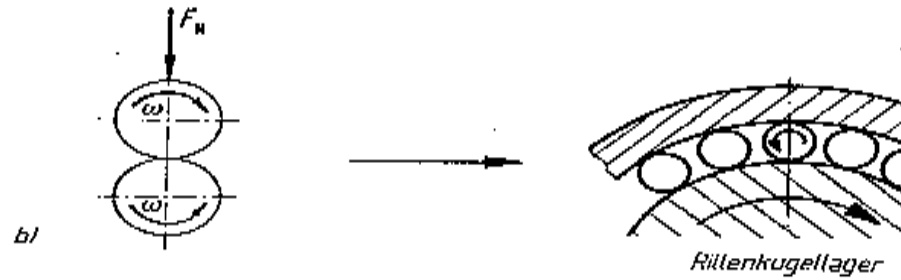
# Reibungsarten:

Lösungen:

Gleitreibung!



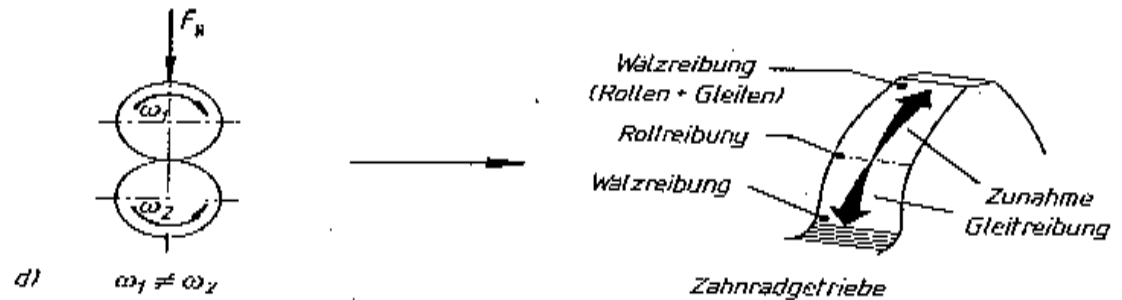
Rollreibung!



Bohrreibung!



Wälzreibung!

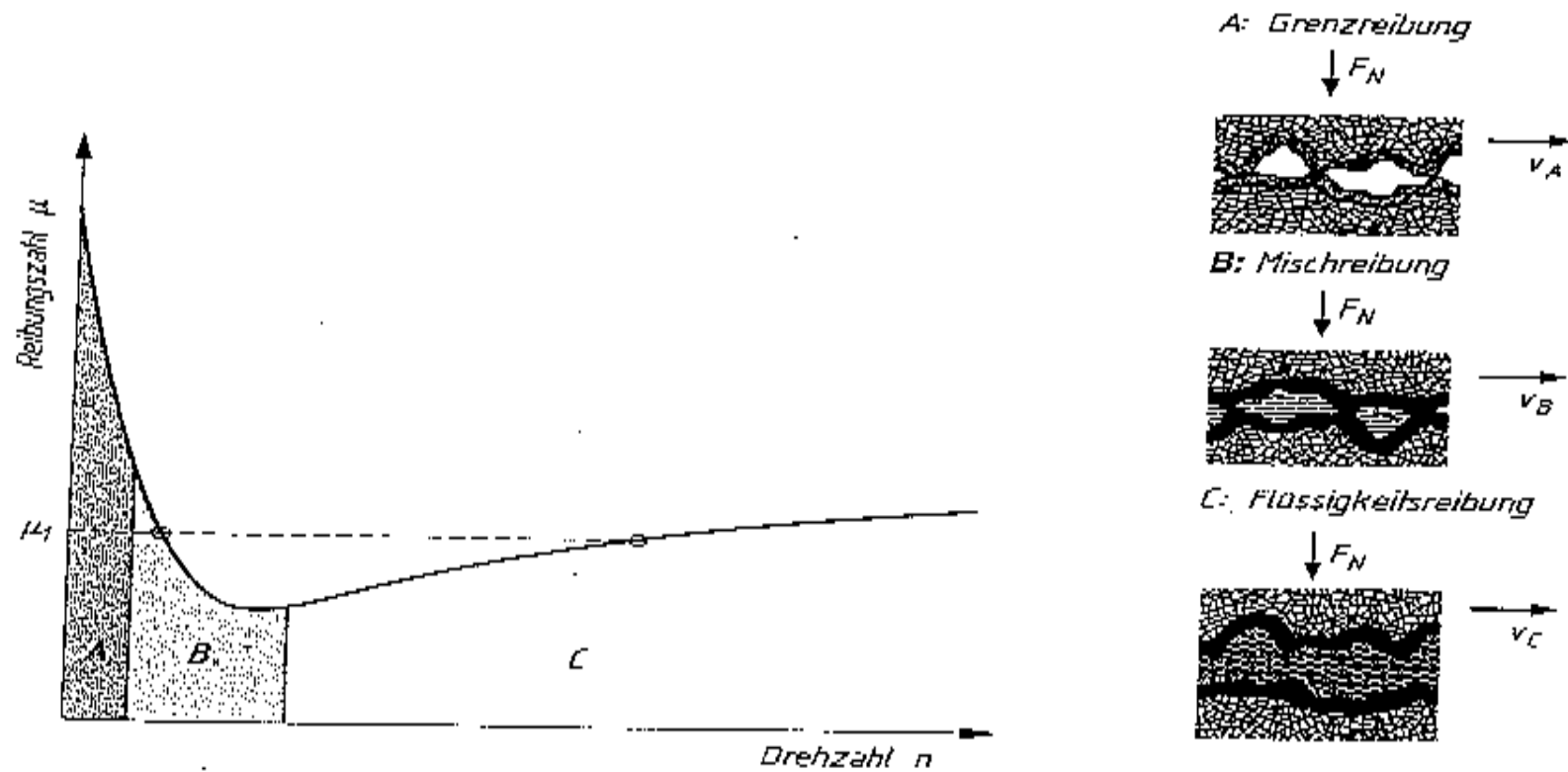


# Reibungszustände:

- Das Reibungs- bzw. Verschleißverhalten wird insbesondere durch den vorliegenden Reibungszustand beeinflusst.
- Man unterscheidet in:
  - -Festkörperreibung
  - -Grenzreibung
  - -Mischreibung
  - -Flüssigkeitsreibung
  - -Gasreibung



# Reibungszustände:



**Bild 4-3** Reibungszustände eines hydrodynamisch geschmierten Radialgleitlagers

# Schmierdruck

Der Schmierdruck zur vollständigen Trennung beider Bauteile kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden.

- -hydrostatische Schmierung
- -hydrodynamische und elastohydrodynamische Schmierung

# Schmierstoffe

## Schmieröle

Vorteile:

- leichte Reibstellenversorgung (somit Verbesserung hinsichtlich Reibung/Verschleiß)
- gute Abführung von Reibungswärme
- gute Abführung von Abrieb aus dem Kontakt
- kann durch zusätzliche Maßnahmen auf gewünschte Eigenschaften eingestellt werden (z.B. Kühlung, Filterung)

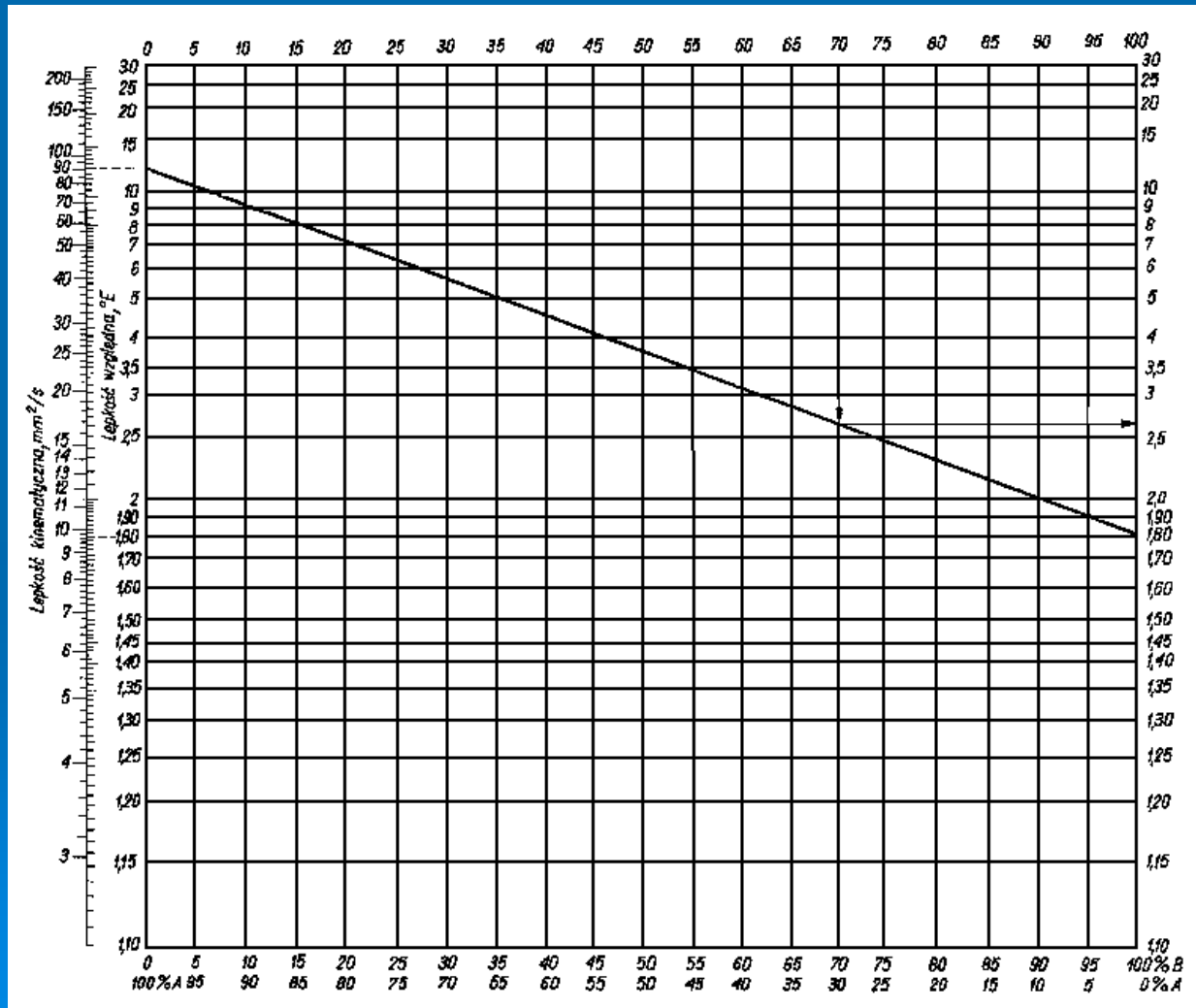
# Schmierstoffe

## Schmieröle

Nachteile:

- ziemlich Aufwendige Abdichtung notwendig
- teilweise große Schmierölmengen erforderlich

# Eigenschaften der Schmieröle



# Einteilung der Schmieröle

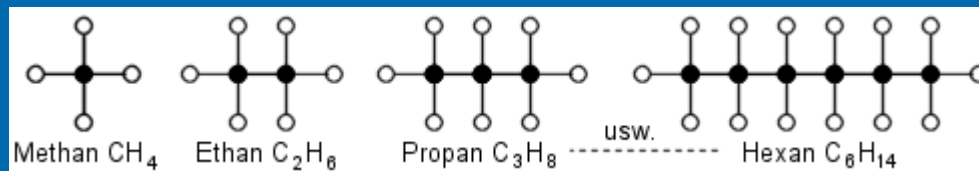
Es gibt 2 grundlegende Einteilungen!!!

1.) nach der Herstellung

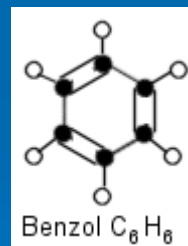
2.) nach der kinematischen Viskosität



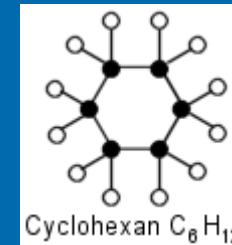
# Schmieröle



Paraffine (geradkettig)



Aromat (ringförmig)



Naphten (ringförmig)

# Synthetische Öle

## ➤ Vorteile:

- größerer Temperatureinsatzbereich
- bessere Alterungsbeständigkeit(3-5 mal längere Lebensdauer)
- höherer Flammpunkt (z.B. wichtig bei Gasturbinen und Kompressoren)
- Möglichkeit der Einstellung der Reibungszahl (0,7-2x Mineralöl-Reibungszahl)



Nachteile:

# Synthetische Öle

- stärkere hygroskopische Wirkung (ziehen Wasser an)
- ungünstigeres hydrolytisches Verhalten (Zersetzung bei Wasserzusatz)
- die Gefahr chemischer Reaktionen mit Dichtungen, Buntmetallen und Lacken bzw. von Korrosion
- nur eingeschränkte oder keine Mischbarkeit mit Mineralölen
- stärkeres toxisches Verhalten, häufig deutlich teurer

# SAE-Klassen

nach der kinematischen Viskosität:

RM: Bild 4-14



# Einteilung der Schmieröle

➤ nach dem Anwendungsgebiet:

- Maschinenschmieröle
  - Zylinderöle
  - Turbinenöle
  - Motorenöle
  - Getriebeöle\*
- Kompressorenöle
  - Umlauföle
  - Hydrauliköle
  - Isolieröle
- Wärmeträgeröle
- Prozessöle
- Metallbearbeitungsöle/Kühlschmierstoffe
- Korrosionsschutzmittel
- Textil- und Textilmaschinenöle

\*Eine Klassifikation für Kfz-Getriebeöle findet Ihr im Roloff/Matek Bild 4-15.

# Schmierfette

- Schmierfette setzen sich aus folgenden 3 Anteilen zusammen:
- **-Grundöl**
- **-Eindicker**
- **-Additiven**
- Die Art und Konzentration der drei Grundkomponenten bestimmen die Eigenschaften des Schmierfetts.

# Schmierfette

- **Vorteile** von Schmierfetten: geringe Mengen reichen aus, eine aufwendige Abdichtung entfällt
- **Nachteile** von Schmierfetten: schlechte bzw. gar keine Abführung von Wärme und Verschleißpartikeln aus dem Kontakt

# Sonstige Schmierstoffe

- -Festschmierstoffe
- -Schmierpasten
- -Gleitlacke
- -Schmierwachse

# Schmierungsarten

- manuelle Schmierstoffversorgung
- halbautomatische Schmierstoffversorgung
- automatische Schmierstoffversorgung

# Schmierungsarten

Bei der Versorgung einer großen Anzahl von Schmierstellen ist eine wirtschaftliche Lösung nur durch Zentralschmieranlagen zu erreichen. Darunter fallen:

- Einleitungsanlagen
- Zweileitungsanlagen
- Mehrleitungsanlagen
- Progressivanlagen



# Schäden an Maschinenelementen

- Die Schäden sind in Wiki ausführlich dokumentiert...

# Formeln:

- Allg.: Reibung ist eine Kraft, die der Bewegung eines Körpers auf einer Unterlage Widerstand entgegensetzt. Die Größe der Reibungskraft  $F_R$  ist abhängig von:
  - 1.) Normalkraft  $F_N$  des zu bewegenden Körpers.
  - 2.) Oberflächenqualität der Berührungsflächen
  - 3.) Werkstoffpaarung an den Berührungsflächen
  - 4.) Schmiermittelzugabe an den Berührungsflächen
- Hierzu wurde durch Versuche die Reibungszahl  $\mu$  ermittelt.
- **!!!Die Größe der Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Berührungsflächen ab!!!**

# Formeln:

## Berechnung der Reibungskraft:

$$F_R = \mu * F_N$$

- $F_R$  = Reibungskraft
- $\mu$  = Reibungszahl (TB Europa S. 41)
- $F_N$  = Normalkraft ( wirkt die Gewichtskraft senkrecht auf die Reibfläche, gilt  $F_G = F_N$  )

# Formeln:

Berechnung des Reibmomentes:

$$M_R = F_R * d/2$$

- $F_R$  = Reibungskraft
- $M_R$  = Reibmoment
- $d$  = Durchmesser (Körper)

# Formeln:

Berechnung der Rollreibungzahl:

$$\mu = f/r$$

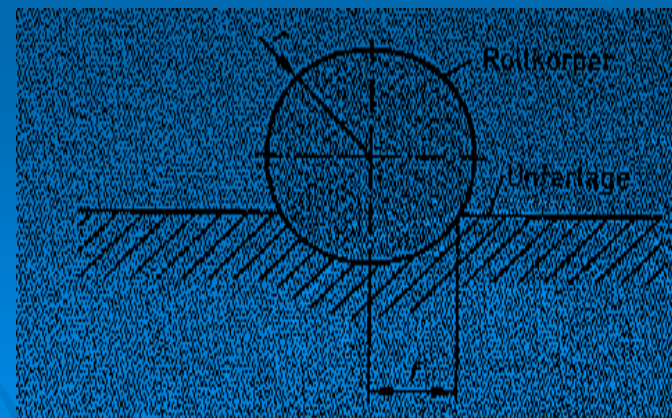
- $f$  = Rollreibungzahl
- $\mu$  = Reibungszahl (TB Europa S. 41)
- $r$  = Radius des Rollkörpers

# Formeln:

Berechnung der Reibungskraft bei Rollreibung:

$$F_R = (f * F_N) / r$$

- $F_R$  = Reibungskraft
- $f$  = Rollreibungszahl
- $F_N$  = Normalkraft
- $r$  = Radius des Rollkörpers

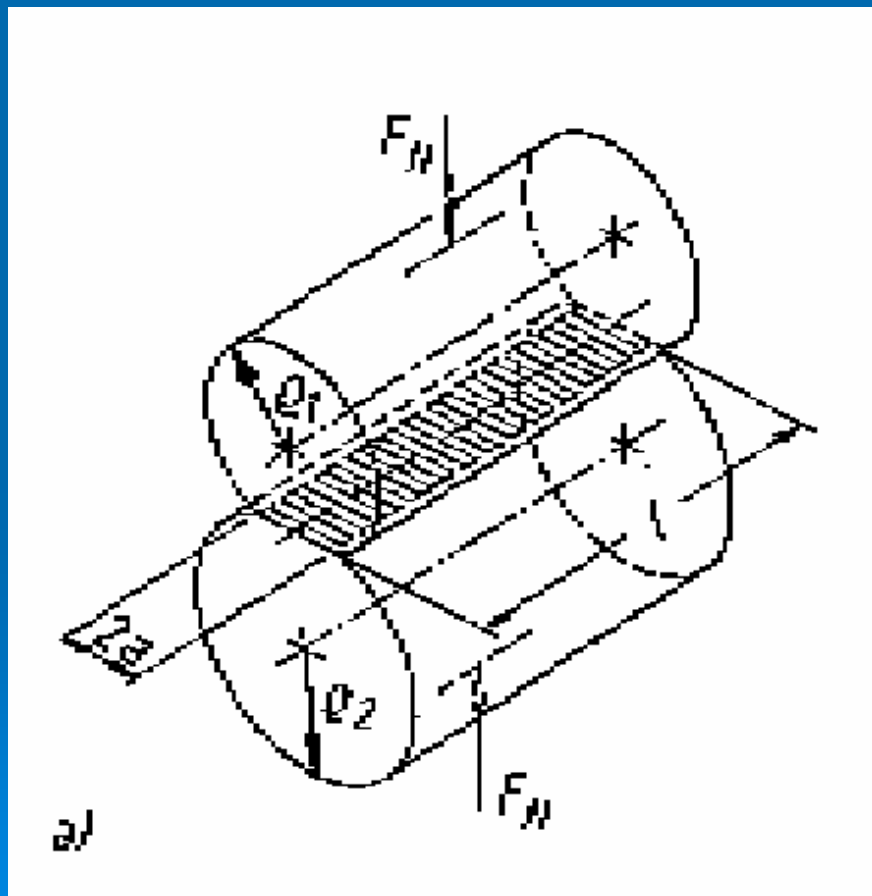


# Berechnungen

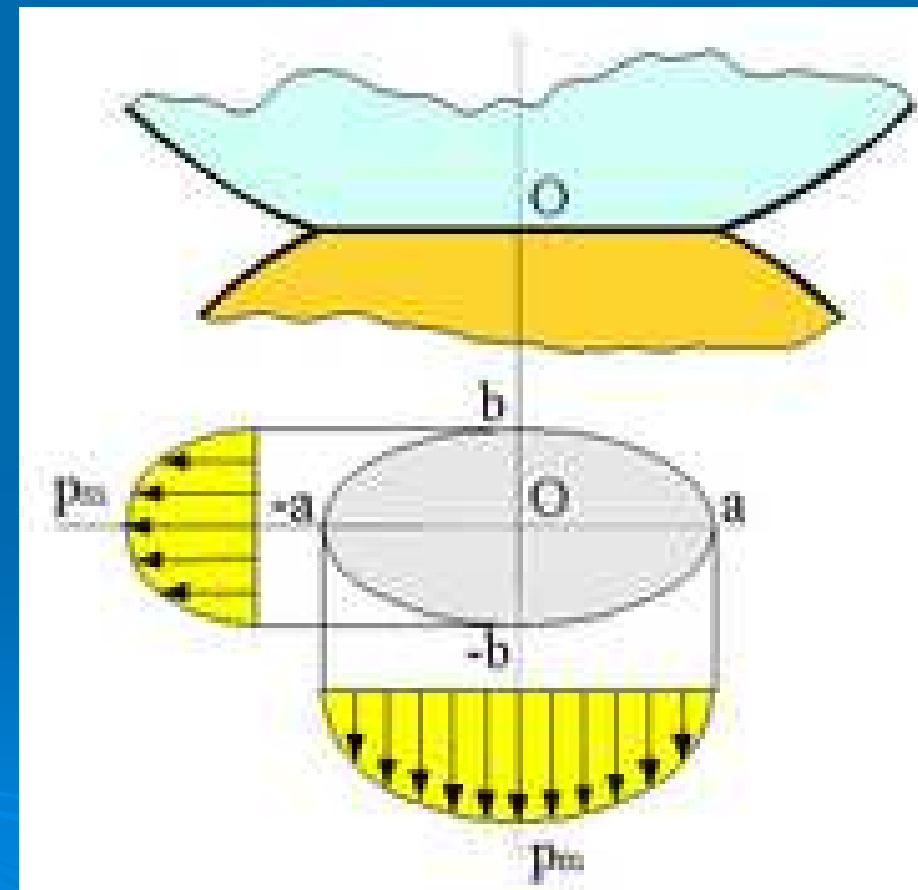
- Bitte löst das Aufgabenblatt!

# Hertz'sche Pressung

➤ Linienberührung



➤ Punktberührung



➤ RM: Bild 4-6



# Formeln:

- Punktberührung Kugel - Kugel
- Für den einfachen Berührungsfall Kugel - Kugel (oder Ebene) gilt:

$$P_{max} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot FE^2}{r^2 (1 - \nu^2)^2}}$$

- $r_{1,2}$  -- Kugelradien Kugel 1, Kugel 2; Sonderfall Ebene:  $r_2 \rightarrow \infty$  und damit  $r = r_1$

# Formeln:

- Linienberührung Zylinder - Zylinder
- Für den einfachen Berührungsfall Zylinder - Zylinder (oder Ebene) gilt:

$$p_{max} = \sqrt{\frac{F \cdot E}{2\pi r l (1 - \nu^2)}}$$

$$E = 2 \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$$

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

- $\nu$  -- Poissonzahl (auch: Querkontraktionszahl) (Bei 2 verschiedenen Reaktionspartnern wird gemittelt)
- $E_{1,2}$  -- Elastizitätsmodul der Werkstoffe Körper 1, Körper 2
- $l$  -- Berührungslänge der Zylinder
- $F$  -- als Linienlast über die Berührungslänge wirkende Kraft
- $r_{1,2}$  -- Zylinderradien Zylinder 1, Zylinder 2; Sonderfall Ebene:  $r_2 \rightarrow \infty$  und damit  $r = r_1$

# Berechnungen

- 1. Aufgabe zur Hertz'schen Pressung:
- Flächenpressung bei Zahnrädern
- Ein Tram überträgt seine Gewichtskraft gleichmäßig verteilt über alle Räder auf die Schienen. Die Flächenpressung ist dabei weit unterhalb kritischer Werte.
- Berechnen Sie die Hertz'sche Pressung zwischen Rad und Schiene:

# Berechnungen

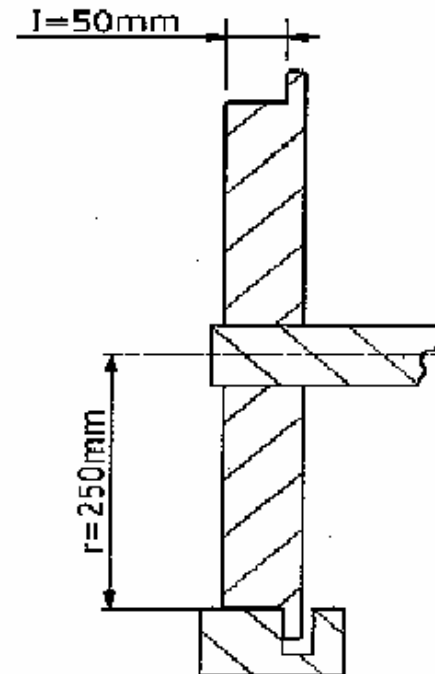


Abb. 1 Tram Modell Be 4/6 "Tram 2000" und Schnittdarstellung Tramrad (idealisiert).

Gegeben: Material Rad: Stahl 41CrMo4

Material Schiene: Stahl C35E+A

Gewicht des Trams voll beladen:  $FG = 380\,000\text{ N}$

Anzahl Räder: 12

Ende:

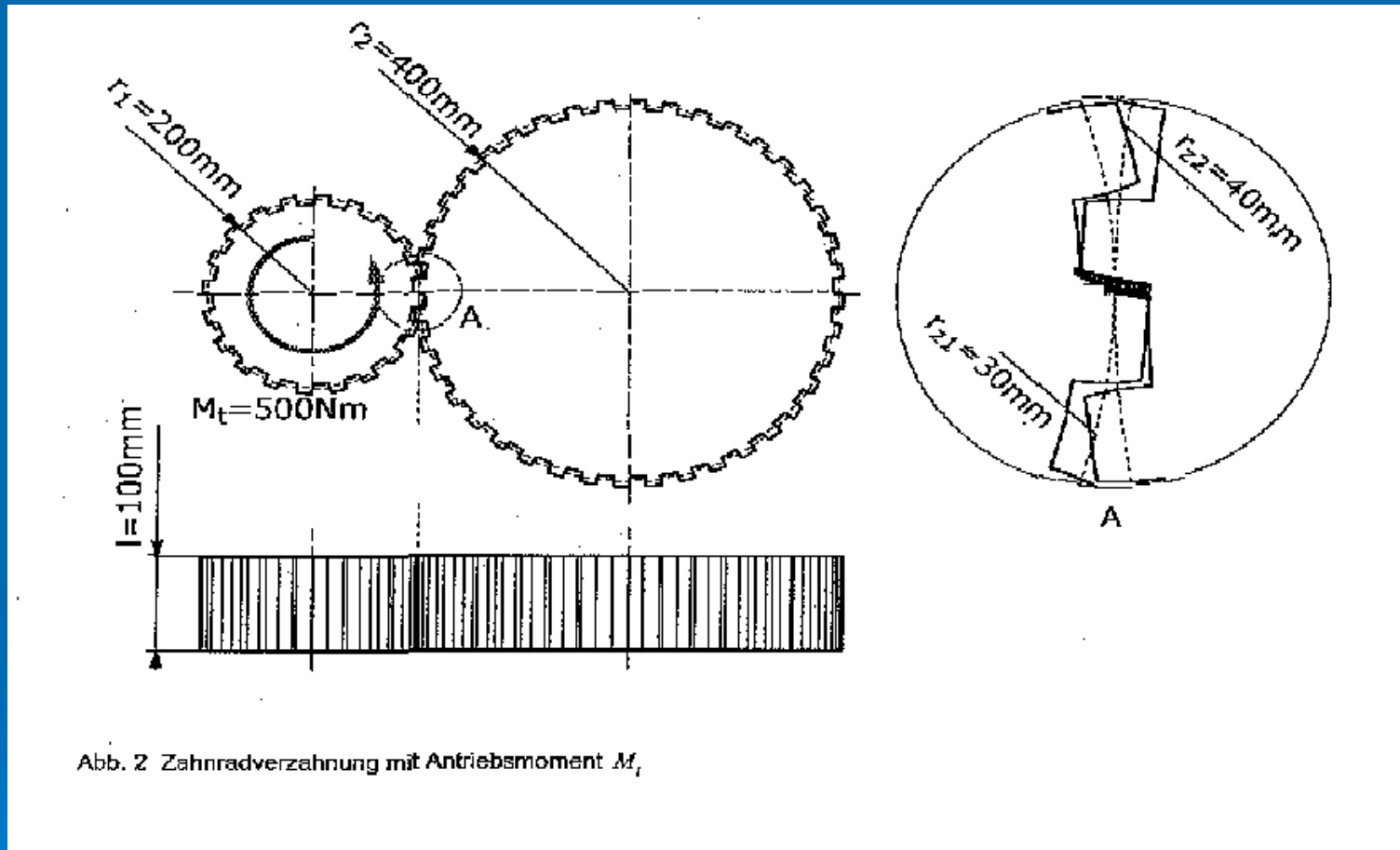
Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit!!  
(Lösungen werden ausgeteilt!)



# Berechnungen

- 2.Aufgabe zur Hertz'schen Pressung:
- Flächenpressung bei Zahnrädern
- Ein Zahnradgetriebe, bestehend aus einem kleineren Antriebsrad und einem größeren Abtriebsrad, wird mit einem Antriebsmoment belastet.
- Berechnen Sie die Hertz'sche Pressung zwischen den belasteten Zähnen:

# Berechnungen



Gegeben: Material Zahnrad 1: Stahl 16 MnCr5  
Material Zahnrad 2: Alu EN AW-7022