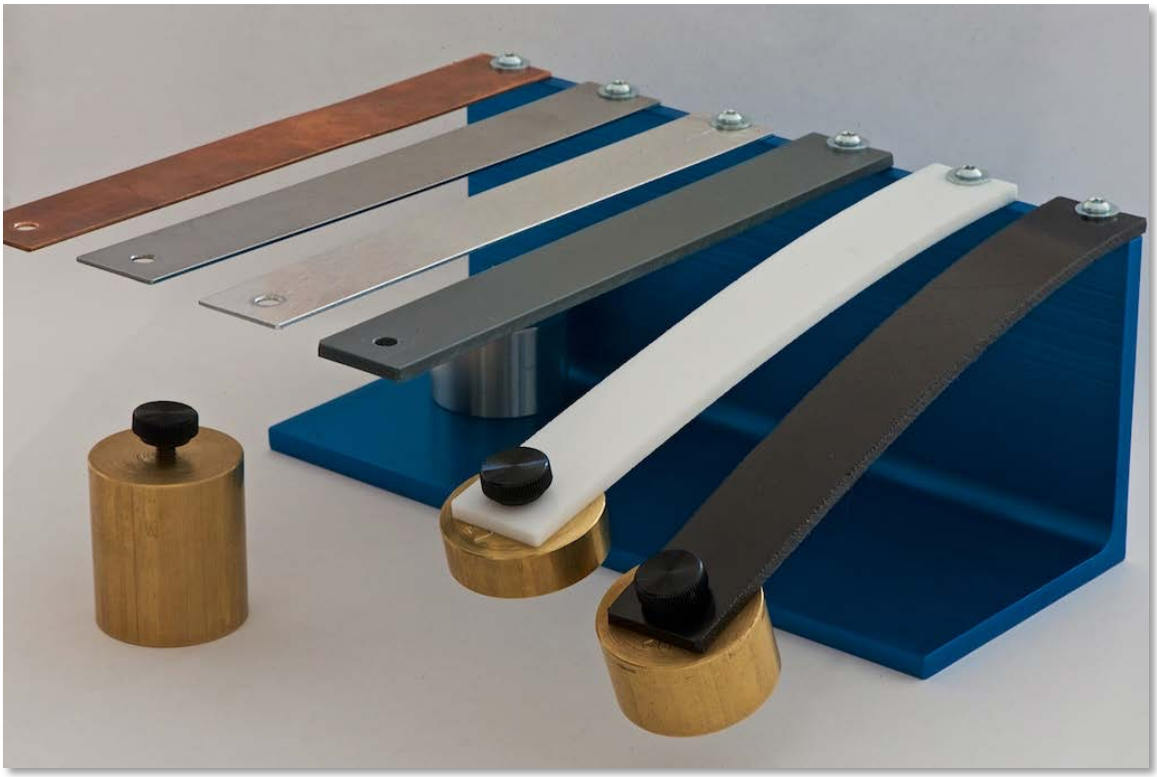
# Überbetrieblicher Kurs „Werkstoffkunde“

## Grundlagen-Ausbildung der Physiklaboranten



ETH Zürich
Cornel Andreoli und Jessica Gmür
6. Januar – 22. Januar 2021

OC Oerlikon Balzers AG
Damian Loher
13. Januar – 29. Januar 2021

Version 6.03

# Überbetrieblicher Kurs „Werkstoffkunde“

## Grundlagen-Ausbildung der Physiklaboranten

Dieser Kurs befasst sich mit:

- Thermische und elektrische Eigenschaften von Materialien.
- Festigkeit und Härte diverser Werkstoffe
- Eigenschaften und Bestimmung von Kunststoffen.
- Korrosion und Korrosionsschutz.

Der überbetriebliche Kurs wird Mitte des 1. Lehrjahres durchgeführt. Der Kurs dauert 9 Tage.

Den Kurs und weitere Informationen gibt es auf Moodle:
https://moodle-app2.let.ethz.ch/course/view.php?id=11928

# Inhalt


**1 EINFÜHRUNG WERKSTOFFE 7**

**1.1 Definition – Was sind Werkstoffe? 7**

**1.2 Einteilung der Werkstoffe 7**

**1.3 Werkstoff, Betriebsstoff, Hilfsstoff 7**

**1.4 Hilfsstoffe und Betriebsstoffe 8**

**1.5 Typische Merkmale der Werkstoffgruppen und ihre Anwendungen 8**
1.5.1 Stähle 8
1.5.2 Eisen-Gusswerkstoffe 8
1.5.3 Schwermetalle (Dichte ρ > 5000 kg/m³) 9
1.5.4 Leichtmetalle (Dichte ρ < 5000 kg/m³) 9
1.5.5 Natur-Werkstoffe 9
1.5.6 Künstliche Werkstoffe 9
1.5.7 Verbundwerkstoffe (auch Kompositwerkstoff) 9

**2 WERKSTOFFBEZEICHNUNGEN 10**

**2.1 Grundsätzliches 10**

**2.2 Werkstoffnummer gemäss DIN 10**

**2.3 Aluminium Werkstoffe 10**

**2.4 Kennzeichnung entsprechend der chemischen Zusammensetzung 10**
2.4.1 Unlegierte Kohlenstoffstähle 10
2.4.2 Niedrig legierte Stähle 11
2.4.3 Hoch legierte Stähle 11
2.4.4 Schnellarbeitsstähle 11
2.4.5 Nichteisenmetalle nach chemischer Zusammensetzung 11
2.4.6 Weitere Bezeichnungen 12

**3 KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ 13**

**3.1 Einführung in die Korrosion und den Korrosionsschutz 13**

**3.2 Arten der Korrosion 14**
3.2.1 Chemische Korrosion 14
3.2.2 Elektrochemische Korrosion 14

**3.3 Korrosionsschutz 15**
3.3.1 Passiver Korrosionsschutz 15
3.3.2 Aktiver Korrosionsschutz 15

**4 THERMISCHE EIGENSCHAFTEN VON WERKSTOFFEN 17**

**4.1 Einführung in die Wärmeausdehnung 17**

**4.2 Einführung in die Wärmeleitung 23**

**4.3 Einführung in die Wärmestrahlung 27**

**5 ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN VON WERKSTOFFEN 29**

**5.1 Einführung 29**

**5.2 Der elektrische Widerstand eines Drahtes 29**

**5.3 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes 31**

**6 FESTIGKEIT VON MATERIALIEN 33**

**6.1 Einführung in die Festigkeit 33**

**6.2 Das Hook'sche Gesetz 35**

**7 HÄRTE VON MATERIALIEN 41**

**7.1 Einführung 41**

**8 REIBUNGSEIGENSCHAFTEN 43**

**8.1 Einführung in die Reibungseigenschaften von Werkstoffen 43**

**8.2 Haftreibung 44**

**8.3 Gleitreibung 44**

**8.4 Rollreibung 44**

**8.5 Schmiermittel 44**

**9 WERKSTOFF KUNSTSTOFF 47**

**9.1 Einführung in die Kunststoffe 47**

**9.2 Daten zu Kunststoffen 47**

**9.3 Geschichte der Kunststoffe 49**

**9.4 Einteilung der Kunststoffe 50**
9.4.1 Grundlegende Eigenschaften der Thermo- & Duroplaste und Elastomere 50

**9.5 Eigenschaften von Kunststoffen 51**
9.5.1 Physikalische Eigenschaften 51
9.5.2 Elektrische Eigenschaften 51
9.5.3 Thermische Eigenschaften 52
9.5.4 Mechanische Eigenschaften 52
9.5.5 Chemische Eigenschaften 52

**9.6 Herstellung von Kunststoffen 53**
9.6.1 Polymerisation 53
9.6.2 Polykondensation 53
9.6.3 Polyaddition 53

**9.7 Kaltfliessen der Kunststoffe 55**

**9.8 Verarbeitung von Kunststoffen 56**
9.8.1 Extrudieren 56
9.8.2 Extrusionsblasen 56
9.8.3 Spritzgiessen 56
9.8.4 Formpressen 56
9.8.5 Kalandrieren 56

**9.9 Kunststofferkennung 58**

**9.10 Weitere Informationen 58**

**10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 60**

**11 NOTIZEN UND FRAGEN 61**

# 1 Einführung Werkstoffe

## 1.1 Definition – Was sind Werkstoffe?

Die Natur stellt uns jede Menge Stoffe zur Verfügung. Diese können abgebaut und somit zu Rohstoffen werden. Nach einer weiteren Veredelung zu Werkstoffen werden sie technisch nutzbar und können zu Fertigprodukten verarbeitet werden.
In der Regel handelt es sich bei Werkstoffen um Feststoffe mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften. Diese können vor allem in chemische und physikalische Eigenschaften unterteilt werden. So sind Kunststoffe gute Isolatoren, sind häufig aber nur bedingt Lösemittelbeständig. Metalle dagegen sind elektrisch und thermisch Leitfähig. Titan und Aluminium sind sehr leicht und Stahl weist eine hohe Belastungsgrenze auf.
Je nach Verwendungszweck werden die Rohstoffe unterschiedlich verarbeitet und aufbereitet. Auch die Art und Weise wie aus einem Rohstoff ein Fertigprodukt wird ist vom Werkstoff und der Anwendung abhängig. Die Eigenschaften der Metalle können durch vielerlei Zusätze eingestellt werden. So wird aus Eisen Stahl, wenn der Kohlenstoffgehalt stimmt oder aus Kupfer wird Messing, wenn es geeignet mit Zink legiert (gemischt) wird. Metalle werden durch Schmelzverfahren aus Erzen gewonnen. Kunststoffe bestehen dagegen aus Bestandteilen des Erdöls und werden durch Polymerisationsprozesse hergestellt.
Metalle werden geschmiedet, gezogen, gegossen, umgeformt, tiefgezogen oder gefräst. Kunststoffe werden meistens in Formen gespritzt, extrudiert oder tiefgezogen, können aber meistens ebenfalls spanend bearbeitet werden.

## 1.2 Einteilung der Werkstoffe

Grundsätzlich können Werkstoffe nach ihren chemischen oder physikalischen Eigenschaften eingeteilt werden. Die üblichste und einfachste Einteilung ist die Unterscheidung nach Metallen und Nichtmetallen. Der Unterschied ist im Aufbau der Werkstoffe begründet.

Metalle sind **kristallin** aufgebaut. Sie besitzen also ein Kristallgitter. In diesem Gitter sind die Atome in regelmässigen Gittern räumlich angeordnet. Auch Zucker, Salz oder Schnee sind kristalline Materialien. Die Elektronen bilden dabei ein sogenanntes „Elektronengas“ welches sich frei innerhalb des Gitters bewegen kann. Dies erklärt die elektrische und thermische Leitfähigkeit der Metalle. Dank des Kristallgitters erhalten die Metalle ihre hohe mechanische Festigkeit.

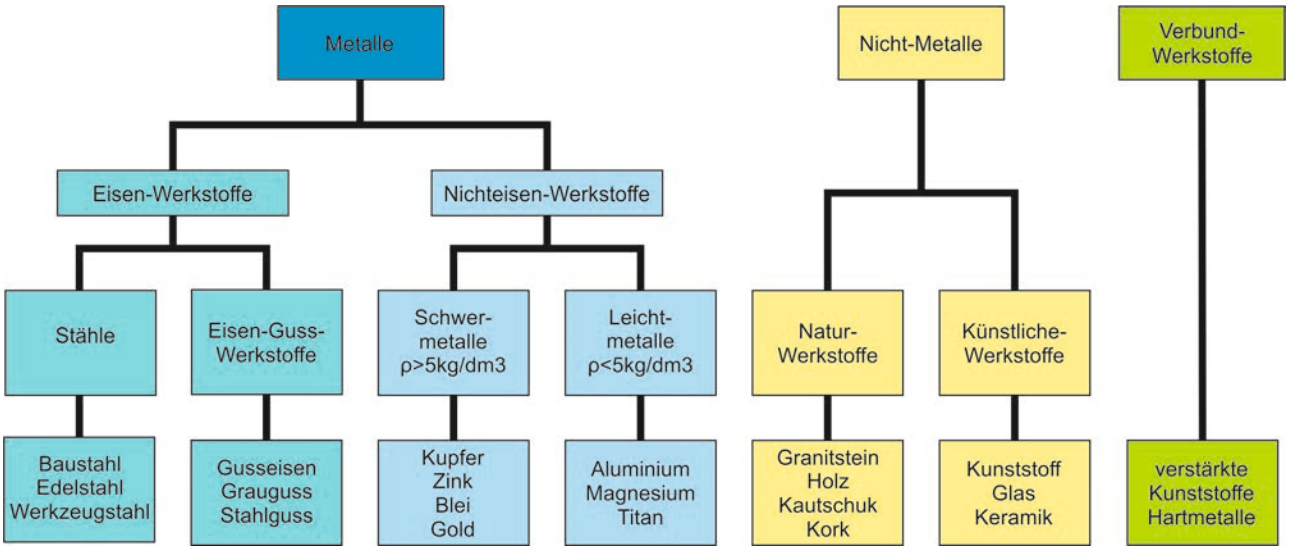
Die Nichtmetalle hingegen sind **amorph**. Sie besitzen kein Kristallgitter und die Atome sind regellos im Werkstoff angeordnet. Amorphe Werkstoffe sind einerseits Kunststoffe, Keramiken aber auch Holz oder Glas. Amorphe Werkstoffe können in der Regel schlecht plastisch verformt werden und weisen tiefe mechanische Festigkeiten auf. Aufgrund der fehlenden freien Elektronen sind sie elektrisch isolierend.
Einige Stoffe können sowohl amorph als auch kristallin auftreten. Siliziumdioxid ($SiO_2$) zum Beispiel tritt als Quarz (kristallin) oder sogenanntes Quarzglas (amorph) auf.
Die weitere Unterteilung der Werkstoffe geschieht entsprechend der nachfolgenden Grafik:

## 1.3 Werkstoff, Betriebsstoff, Hilfsstoff

Neben den Werkstoffen unterscheidet man auch noch Betriebs- und Hilfsstoffe. Diese sind nicht Teil des Werkstoffkurses. Ihre Funktion im Zusammenhang mit den Werkstoffen muss hier aber doch kurz erwähnt werden.

## 1.4 Hilfsstoffe und Betriebsstoffe

Hilfs- und Betriebsstoffe müssen von den Werkstoffen unterschieden werden. Es handelt sich dabei um Stoffe welche für die Verarbeitung von Rohstoffen und Werkstoffen notwendig sind, die aber nicht in das Endprodukt eingehen.




***Aufgabe: Nenne Beispiele für Werk- und Betriebsstoffe***

.....

.....

## 1.5 Typische Merkmale der Werkstoffgruppen und ihre Anwendungen

Die Werkstoffe der einzelnen Gruppen haben teils gemeinsame Eigenschaften, teilweise aber auch Werkstoffspezifische die dann typisch für einen einzelnen Werkstoff sind. Sie bestimmen dann wofür ein Werkstoff eingesetzt werden kann.

### 1.5.1 Stähle

Stähle sind sogenannte Eisen-Werkstoffe. Zum grossen Teil bestehen sie also aus Eisen. Durch Legierung mit entsprechenden Zusatzstoffen (Kohlenstoff, Chrom, Nickel, Titan…) können ihre Eigenschaften in einem weiten Bereich eingestellt werden. Stähle können daher für Vakuumanlagen, Autos oder als Armierung im Häuserbau genauso eingesetzt werden wie für die Herstellung einfacher Pfannen daheim. Es gibt dabei hunderte von Legierungen mit ihren spezifischen Eigenschaften.

### 1.5.2 Eisen-Gusswerkstoffe

Es handelt sich hier um Legierungen auf Eisen Basis welche sich sehr gut giessen lassen. Dabei entstehen Bauteile welche nur sehr aufwändig gefräst oder anderweitig hergestellt werden könnten. Beispiele sind z.B. Gehäuse für Pumpen oder Motoren. Passungen für Lager etc. werden nach dem Giessen spanabhebend erstellt.

### 1.5.3 Schwermetalle (Dichte ρ > 5000 kg/m³)

Dazu zählen z.B. Kupfer, Zink, Blei, Chrom und andere Metalle mit hoher Dichte. Sie haben einige recht nützliche Eigenschaften welche sie sehr wichtig für die Praxis machen:

- Kupfer wird in der Elektrotechnik eingesetzt wegen seiner hohen Leitfähigkeit
- Blei kann als Abschirmung für Strahlungen verwendet werden
- Zink, Chrom und Nickel weisen eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf und werden darum gerne zur Beschichtung von Stahlteilen eingesetzt.

### 1.5.4 Leichtmetalle (Dichte ρ < 5000 kg/m³)

Aluminium, Titan und Magnesium weisen eine sehr geringe Dichte auf und besitzen dennoch eine hohe Festigkeit. Diese Eigenschaften kann man sich an unterschiedlichen Orten zu Nutze machen. Z.B. Flugzeugbau, Hochspannungsleitungen, Laptopgehäuse und ähnliches.

### 1.5.5 Natur-Werkstoffe

Dies sind Werkstoffe welche in der Natur zu finden ohne, dass sie aufwändig aufbereitet werden müssen. Beispiele dafür sind: Grafit, Hartgestein (z.B. Granit) und zunehmend auch wieder Holz.

### 1.5.6 Künstliche Werkstoffe

Hier sind einerseits Kunststoffe angesiedelt aber auch Gläser, Keramiken und Kohlewerkstoffe. Dabei sind die Kunststoffe in allen Formen, Farben und mit unterschiedlichsten mechanischen Eigenschaften erhältlich.

### 1.5.7 Verbundwerkstoffe (auch Kompositwerkstoff)

Sie bestehen aus mindestens zwei Verbundstoffen. Die Kombination der Werkstoffe liefert dabei andere Eigenschaften als die der einzelnen Werkstoffe. Als Beispiele können Hartmetalle, Glasfaserverstärkte Kunststoffe oder auch Spanplatten herangezogen werden.

# 2 Werkstoffbezeichnungen

## 2.1 Grundsätzliches

Es gibt tausende unterschiedlicher Werkstoffe. Um diese unterscheiden und kennzeichnen zu können sind unterschiedliche Systeme verbreitet. Die Einteilung geschieht nach Werkstoffnummern, nach Einsatzbereichen oder nach chemischen Zusammensetzungen. Wichtig ist vor allem zu erkennen, dass man es mit einer Werkstoffbezeichnung zu tun hat und dann am richtigen Ort nachzuschauen. Für den Physiklaboranten der sich nicht täglich damit auseinandersetzt ist es annähernd unmöglich alle Bezeichnungen auswendig zu kennen. Im Zweifelsfall lohnt es sich immer mit dem Lieferanten Kontakt auf zu nehmen und den passenden Werkstoff für die jeweilige Problemstellung in Erfahrung zu bringen. Spezielle Vorsicht ist übrigens im Zusammenhang mit Lebensmitteln, Pharmaprodukten, chemischen Beständigkeiten oder ähnlichem geboten. Hier gibt es teilweise spezielle Bestimmungen zu den Werkstoffen!
In der täglichen Praxis werden wir vor allem die Bezeichnung mittels Werkstoffnummern oder der chemischen Zusammensetzung sehen. Ebenso sind meistens Stähle und Leichtmetall massgebend.
Im Folgenden wird erklärt wie die einzelnen Bezeichnungsarten aufgebaut sind. Die Details zur Interpretation sind den Tabellen auf Moodle oder anderen Nachschlagewerken zu entnehmen.

## 2.2 Werkstoffnummer gemäss DIN

Um Werkstoffe eindeutig und in einem klaren System zu benennen wird folgende Systematik eingesetzt:

X.YY ZZ(ZZ) z.B. 1.4301

**X**: Werkstoffhauptgruppe
Unterteilung in zum Beispiel, Stähle, Nichteisen Leichtmetalle Sinterwerkstoffe etc.
**YY**: Weitere Eigenschaften, Einteilung
Abhängig von der Werkstoffhauptgruppe
**ZZ**: Zählnummer

## 2.3 Aluminium Werkstoffe

Für Aluminium Werkstoffe wird teilweise auch ein Nummernsystem verwendet welches durch die „Aluminium Associaction“ festgelegt wurde. Die Nummern entsprechen folgender Form:

EN AW-1234 X

## 2.4 Kennzeichnung entsprechend der chemischen Zusammensetzung

### 2.4.1 Unlegierte Kohlenstoffstähle

Beispiel: C35C
Dies bezeichnet einen C-Stahl mit 0.35% Kohlenstoff der für die Kaltumformung geeignet ist.

### 2.4.2 Niedrig legierte Stähle

Beispiel: 21CrMoV5-7
Bezeichnet einen Stahl mit 0.21% Kohlenstoff, 1.25% Chrom und 0.7% Molybdän, Vanadium gezielt zu legiert.

Die Zahl welche sich am Anfang befindet gibt dabei den Kohlenstoffgehalt als 100x mittlerer C-Gehalt an.
Als Reihenfolge der Legierungselemente dient deren %-Anteile. Dabei sind diese mit Umrechnungsfaktoren versehen um ganze Zahlen zu erhalten. Diese sind abhängig vom jeweiligen Element:

Faktor 4: Cr, Co, Mn, Ni, Si, W
Faktor 10: Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr
Faktor 100: C, N, P, S
Faktor 1000: B

Wir der Buchstabe G vorangestellt handelt es sich dabei um ein Stahlguss Erzeugnis.
Als **Beispiel** bezeichnet G37MnSi5 ein Stahlgusserzeugnis, mit 0.37% C (37/100), 1.2 % Mangan und einem kleinen, nicht definierten Anteil Silizium.

### 2.4.3 Hoch legierte Stähle

Beispiel: X5CrNi18-10
Stahl mit 0.05% Kohlenstoff, 18% Chrom und 10% Nickel

Der Buchstabe X kennzeichnet einen hoch legierten Stahl. Dies bedeutet, dass die Zahlen am Ende als volle %-Anteile der Legierungselemente zu rechnen sind. Die Umrechnungsfaktoren wie bei den niedrig legierten Stählen entfallen. Auch hier gilt als Reihenfolge der Legierungselemente deren %-Anteile.

Ein Stahl gilt als hochlegiert, wenn ein Legierungselement einen Anteil von 5% übersteigt.

Ebenso bezeichnet der vorangestellte Buchstabe G ein Stahlguss Erzeugnis.

### 2.4.4 Schnellarbeitsstähle

Beispiel: HS6-5-2-5
Stahl mit 6% Wolfram, 5% Molybdän, 2% Vanadium und 5% Kobalt

HS steht für „High-Speed“ bzw. Schnellarbeitsstähle. Die Zahlen geben die Legierungselemente in einer festgelegten Reihenfolge vor:
1. Zahl: Wolfram
2. Zahl: Molybdän
3. Zahl: Vanadium
4. Zahl: Kobalt

### 2.4.5 Nichteisenmetalle nach chemischer Zusammensetzung

Hier werden die Legierungselemente direkt als % Anteil angegeben.

AlSi10Mg: Aluminiumlegierung, 10% Silizium, geringe Anteile Magnesium
CuZn40Pb2: Kupferlegierung, 40% Zink, 2% Blei (Trivialname Messing)

### 2.4.6 Weitere Bezeichnungen

Es gibt weitere Bezeichnungsmöglichkeiten. So können z.B. Schutzüberzüge, Behandlungszustände oder Einsatzbereiche bereits in die Materialbezeichnung einfliessen. Die entsprechenden Bezeichnungen sind ebenfalls im Zusatzdokument zu finden.

***Aufgabe: Beschreibe mit Hilfe der Tabellen auf dem Server die folgenden Werkstoffe:***

| Bezeichnung | Beschreibung |
|---|---|
| 1.0330 | 1 : Stahl<br>03 : Stahl mit C-Gehalt =<0.12% oder Rm<400N/mm$^2$ |
| 1.4581 | |
| 34CrNiMo6 | |
| HS6-5-2 | |
| 3.3547 | |
| X5CrNi18-10 | |
| 1.4401<br>X5CrNiMo17-12-2 | |
| AlSi1MgMn | |
| CuBe2 | |
| CuSn6 | |

# 3 Korrosion und Korrosionsschutz

## 3.1 Einführung in die Korrosion und den Korrosionsschutz

*Abb. 1: Korrosion*

Korrosion ist die chemische, elektrochemische oder physikalische Reaktion von Werkstoffen mit ihrer Umgebung. Rein mechanische Wechselwirkungen die nur zwischen den Oberflächen zweier Werkstoffe stattfinden zählen dabei nicht zur Korrosion, sondern zum Verschleiss. Wobei die Grenzen nicht immer ganz scharf zu ziehen sind.
Im Falle der Korrosion werden die Eigenschaften der Werkstoffe beeinträchtig. Dies führt zu Korrosionsschäden welche mitunter erhebliche Folgen haben können.

*Abb. 2: Korrosion am Autounterboden*

In der Praxis tritt in den meisten Fällen eine elektrochemische Korrosion auf. Das heisst die Korrosionsvorgänge finden an der Metalloberfläche mit Hilfe einer elektrisch leitenden Flüssigkeitsschicht, dem Elektrolyten, statt. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Wasser.

Um Korrosion zu vermeiden gibt es unterschiedliche Möglichkeiten.

***Aufgabe: Wo hast du schon Korrosion gesehen?***

Diskutiere in 4’er Gruppen und notiere deine Erfahrungen.

.....

.....

.....

.....

## 3.2 Arten der Korrosion

Es gibt 2 unterschiedliche Arten von Korrosion. Mechanische Spannungen können die Korrosion zusätzlich noch verstärken. In der Berufsfachschule wirst du noch mehr über die Korrosionsarten erfahren.

### 3.2.1 Chemische Korrosion

Aggressive Gasen oder Flüssigkeiten können die Oberfläche eines Werkstücks korrodieren. Der Sauerstoff spielt eine wesentliche Rolle, da er mit dem Metall ein Metalloxid bildet. Wird durch die Oxidation eine haltbare dichte Oxidschicht gebildet, so kann dies in vielen Fällen als Schutzschicht wirken und das darunterliegende Metall schützen (Kupfer, Alu, Chrom). Ist die Oxidschicht dagegen locker und porös, so gibt es keinen Schutz. (Eisen).

*Abb. 3: Chemische Korrosion*

### 3.2.2 Elektrochemische Korrosion

Bei der elektrochemischen Korrosion laufen dieselben Vorgänge wie bei einem galvanischen Element ab. Für die elektrochemische Korrosion werden zwei unterschiedliche Metalle und ein Elektrolyt benötigt. Die Luftfeuchtigkeit wirkt als Elektrolyt. Das unedlere Metall wird durch den Stromfluss nach und nach abgetragen. Je nach den verwendeten Metallen ist die Korrosion unterschiedlich stark. (Stichwort: elektrochemische Spannungsreihe)

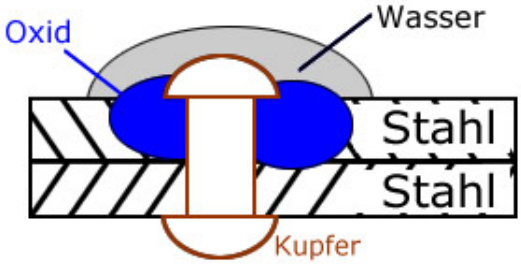



*Abb. 4: Kontaktkorrosion*

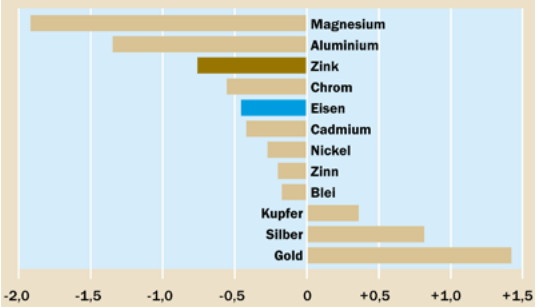



*Abb. 5: Elektrochemische Spannungsreihe*

Vorsicht bei der Konstruktion mit **unterschiedlichen** Metallen!

***Aufgabe: Wie könnte man Metalle vor Korrosion schützen?***

Diskutiere in der 4'er Gruppe und notiere.

.....

.....

.....

.....

## 3.3 Korrosionsschutz

### 3.3.1 Passiver Korrosionsschutz

Als passiver Korrosionsschutz bezeichnet man alle Massnahmen, welche eine abschirmende Wirkung gegen korrosive Medien erzielen. Dies können folgende Massnahmen sein:

- belacken
- ölen
- Kunststoffüberzüge
- brünieren
- chromatieren und passivieren
- verzinken (feuerverzinken, spritzverzinken, ...)
- vernickeln
- eloxieren
- ....

*Abb. 7: Diverse Korrosionsüberzüge*

*Abb. 8: Muster von Korrosionsüberzügen*

*Abb. 9: Brünierte Bauteile*

*Abb. 10: Gelb chromatiert*

### 3.3.2 Aktiver Korrosionsschutz

- Schutz durch Fremdstrom
- Schutz durch unedleres Material (Opferanode)

*Abb. 6: Mg-Opferanoden am Schiffsrumpf*

### *Aufgabe: Korrosion eines Eisennagels*

Wir möchten aufzeigen wie die Korrosion durch Materialpaarungen gefördert bzw. verhindert werden kann.

- Lege in die Petrischale drei Stahlnägel. Einen legst du auf einen Streifen Kupferblech, den Zweiten legst du einzeln in die Schale und den dritten legst du so in die Schale, dass er eine vernickelte Unterlagscheibe berührt.
- Gib nun von der vorbereiteten Lösung in die Schale bis die Nägel gerade bedeckt sind. Diese enthält Wasser und Kochsalz. Und als Indikator Kaliumhexacyanoferrat(III).
- Decke anschliessend die Petrischale zu und beobachte was passiert. Mache etwa alle 3-5 Minuten ein Bild (Handykamera).
- Am Ende erstellst du deinen Bericht in deinem Laborjournal. Benutze dazu die Bilder und deine Beobachtungen

Verwende **Schutzbrille und Handschuhe** beim Arbeiten mit der Lösung

**Entsorge** die Lösung und die benutzten Teile in den bereitstehenden **Behältern**

Was beobachtest du?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# 4 Thermische Eigenschaften von Werkstoffen

## 4.1 Einführung in die Wärmeausdehnung

Jedes Material verändert sein Volumen je nach Temperatur. Die allermeisten Materialien werden mit zunehmender Temperatur länger. Diese Längenänderung muss konstruktiv berücksichtigt werden. Brücken sind deswegen auf Rollen gelagert. Die Längenausdehnung ist abhängig von der Startlänge, dem Temperaturunterschied und dem Längenausdehnungskoeffizient α.

*Abb. 7: Gelagerte Brücke*

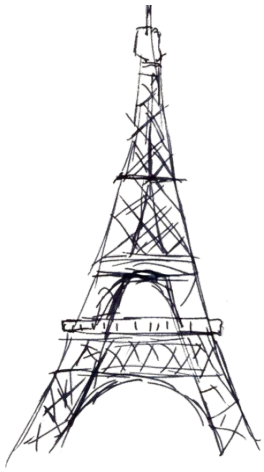
$$\boldsymbol{l_1 = l_0 * (1 + \alpha * \Delta T)}$$

Der Längenausdehnungskoeffizient α. Ist materialabhängig. Die Einheit: $[\alpha] = 1/\mathrm{K}$

***Aufgabe: Ergänze die Tabelle mit dem Längenausdehnungskoeffizient***

| Material | $\alpha$ in $10^{-6}$ $1/\mathrm{K}$ |
|---|---|
| **Aluminium** | |
| **Blei** | |
| **Chrom** | |
| **Eisen** | |
| **Graphit** | |
| **Invar** | |
| **Kupfer** | |
| **Nickel** | |
| **Platin** | |
| **Silber** | |
| **Silizium** | |
| **Titan** | |
| **Wolfram** | |
| **Zink** | |
| **Zinn** | |
| **Zirconiumwolframat** | |
| **CFK** | |

**Invar** ist eine FeNi-Legierung mit einem **kleinen** Längenausdehnungskoeffizienten.



### *Aufgabe: Theoretische Längenänderung vom Eifelturm*

Berechne die Längenänderung vom Eiffelturm an einem heissen Sommertag.
Annahme: in der Nacht ist es 20°C.

| | |
|---|---|
| Maximal Temperatur: | _____ °C |
| Länge Eiffelturm: | _____ m |
| Ausdehnungskoeffizient Eisen | _____ 1/K |

Lösung:

### *Aufgabe: Theoretische Längenänderung eines A380*

Berechne die Längenänderung des A380 an einem Sommertag.
Annahme: auf der Startbahn herrscht eine Temperatur von 35 °C

| | |
|---|---|
| Temperatur auf Flughöhe: | _____ °C |
| Länge A380: | _____ m |
| Ausdehnungskoeffizient Aluminium | _____ 1/K |

Lösung:

*Abb. 8: Gleisverwerfung*

### *Aufgabe: Bestimmen des Längenausdehnungskoeffizient α.*

Bestimme in der 2'er Gruppe den Längenausdehnungskoeffizient α eines Drahtes. Dazu müssen wir die Anfangslänge die Längenänderung und die Temperaturänderung messen können. Für diese Messung gibt es einen kompletten Versuch.

$$l_1 = l_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta T$$

- "Δl" ist die Längenänderung in Meter [m]
- "α" ist der Längenausdehnungskoeffizient (Stoffabhängig) in 1 durch Kelvin [1 / K]
- "$l_0$" ist die Ausgangslänge in Meter [m]
- "ΔT" ist die Temperaturänderung in Kelvin [K]
- "l" ist die Länge bei einer gewünschten Temperatur in Kelvin [K]

Forme als Erstes die Formel um: $\alpha =$ _____

**Schematische Aufbauskizze**

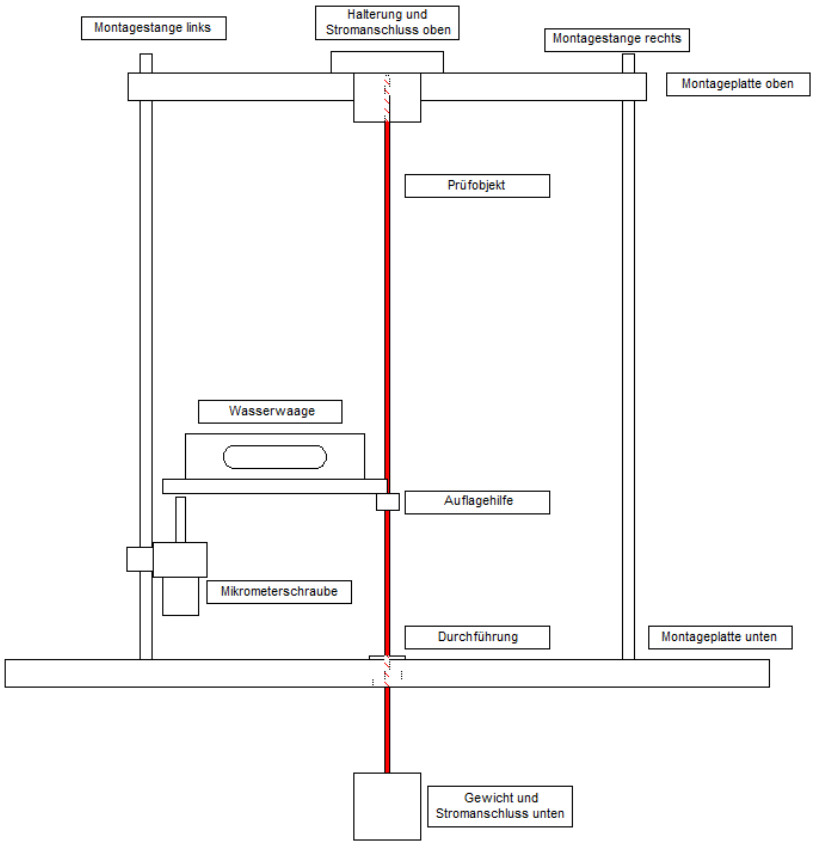



*Abb. 9: Schematischer Aufbau Längenausdehnungs-Versuch*

**Aufbauanleitung**

- Setze jeweils 3 Stangen für jede Seite zusammen.
- An einer Stange soll die mit der Mikrometerschraube verstellbare Auflage für die Wasserwaage fixiert werden.
- Montiere am Haltegestänge die obere Befestigung.
- Schneide ein Stück Draht der passenden Länge (ca. 1200 mm) für diesen Versuch von der Rolle. **ACHTUNG**: verwende eine Schutzbrille und halte beide Drahtenden mit den Händen fest.
- Montiere den Draht in die Halterung und schiebe die Auflagevorrichtung für die Wasserwaage auf den Draht.
- Befestige das Gewicht am unteren Ende des Drahtes, so dass der Draht gestreckt wird.
- Zum Schutz vor thermischen Einflüssen wird die Kontaktstelle für das Thermoelement innerhalb des Schutzzylinders gewählt.
- Befestige das Thermoelement an der Stange und am Draht.
- Die Kontaktstelle für die Temperaturbestimmung am Draht wird mittels Leitsilber bestrichen. Es genügen wenige Tröpfchen.
- Kontaktiere die Spannungsquelle an beiden Enden des Drahtes.

Verwende **Schutzbrille und Handschuhe** beim Arbeiten mit dem Leitsilber

**Sicherheit**

1. Der Draht wird über 60 °C heiss. Nicht mit blossen Händen berühren.
2. Das verwendete Leitsilber ist ätzend und giftig. Augen und Hautkontakt vermeiden.
3. Treffen Sie entsprechende Schutzmassnahmen

**Physikalische Eigenschaften Prüfobjekt**

| | |
|---|---|
| Material: | Kanthal A |
| Bauform: | Draht mit Durchmesser 0.4mm |
| Spezifischer Widerstand: | 11.06 Ohm/m [20°C ; ∅ 0.4mm] |
| | 1.390 Ohm*mm$^2$/m |
| Spezifisches Gewicht: | 7.15 g/cm$^3$ |
| Wärmeausdehnungskoeffizient: | 13.5 * 10$^{-6}$ 1/K @ 100°C, |
| | 14.0 * 10$^{-6}$ 1/K @ 200°C |
| | 14.5 * 10$^{-6}$ 1/K @ 300°C |

**Auszuführende Arbeiten**

1. Aufbau des Versuches gemäss Anleitung
2. Errechne den Widerstand des Drahtes und daraus die maximale Stromstärke bei 30V
3. Schätze die zu erwartenden Längenausdehnungen ab (50°, 100°, 150° und 200°C)
4. Justiere die Wasserwaage mittels der Mikrometerschraube
5. Bestimme die Längenausdehnung experimentell für 50°, 100°, 150° und 200°C
6. Messe die Drahttemperatur mit dem Multimeter ($\mu$V) und lese den Temperaturwert aus der Thermoelement-Tabelle. Notiere beide Werte ($\mu$V und °C) im Protokoll.
7. Wiederhole Punkt 5 und 6 mindestens 5 Mal.
8. Erstelle ein Diagramm der Funktion $\Delta l = f(\Delta T)$.
   (Das bedeutet, dass $\Delta T$ auf der x-Achse und $\Delta l$ auf der y-Achse des Diagrammes ist)
9. Errechne den Längenausdehnungskoeffizienten $\alpha$ für die entsprechende Temperatur.
10. Erstellen Sie ein Diagramm der Funktion $\alpha = f(T)$.
11. Vergleiche deine Messwerte mit dem Wärmeausdehnungskoeffizienten aus der Literatur
12. Schreibe ein vollständiges Protokoll über dieses Experiment.

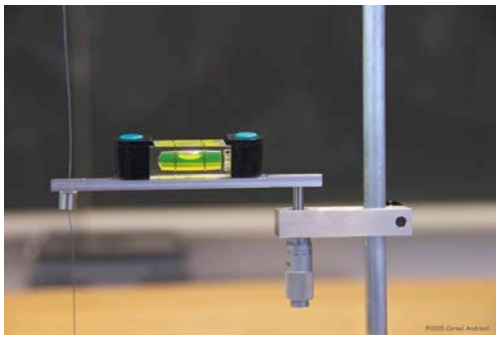


*Abb. 10: $\Delta l$ Messung*

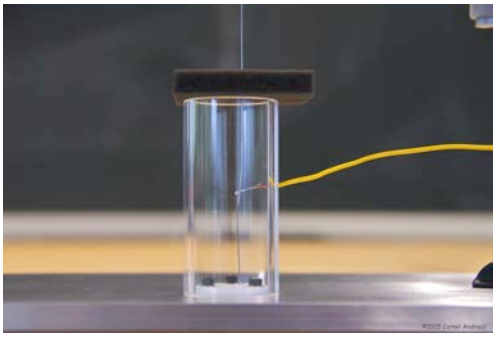


*Abb. 11: Temperaturmessung*

Option: Führe den Versuch, je nach Zeit, mit einem anderen Metall-Draht durch.

## Spannungstabelle für Thermoelemente Typ K (Ni-Cr / Ni-Al)

**gem. EN 60584 für den Temperaturbereich: 0° C ... +309° C**

alle Spannungswerte in µV, Vergleichstellentemperatur: 0° C

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 0 | 39 | 79 | 119 | 158 | 198 | 238 | 277 | 317 | 357 |
| **10** | 397 | 437 | 477 | 517 | 557 | 597 | 637 | 677 | 718 | 758 |
| **20** | 798 | 838 | 879 | 919 | 960 | 1000 | 1041 | 1081 | 1122 | 1163 |
| **30** | 1203 | 1244 | 1285 | 1326 | 1366 | 1 07 | 1448 | 1489 | 15 0 | 15 1 |
| **40** | 1612 | 1653 | 1694 | 1735 | 1776 | 1817 | 1858 | 1899 | 1941 | 1982 |
| **50** | 2023 | 2064 | 2106 | 2147 | 2188 | 2230 | 2271 | 2312 | 2354 | 2395 |
| **60** | 2436 | 2478 | 2519 | 2561 | 2602 | 2644 | 2685 | 2727 | 2768 | 2810 |
| **70** | 2851 | 2893 | 2934 | 2976 | 3017 | 3059 | 3100 | 3142 | 3184 | 3225 |
| **80** | 3267 | 3308 | 3350 | 3391 | 3433 | 3474 | 3516 | 3557 | 3599 | 3640 |
| **90** | 3682 | 3723 | 3765 | 3806 | 3848 | 3889 | 3931 | 3972 | 4013 | 4055 |
| **100** | 4096 | 4138 | 4179 | 4220 | 4262 | 4303 | 4344 | 4385 | 4427 | 4468 |
| **110** | 4509 | 4550 | 4591 | 4633 | 4674 | 4715 | 4756 | 4797 | 4838 | 4879 |
| **120** | 4920 | 4961 | 5002 | 5043 | 5084 | 5124 | 5165 | 5206 | 5247 | 5288 |
| **130** | 5328 | 5369 | 5410 | 5450 | 5491 | 5532 | 5572 | 5613 | 5653 | 5694 |
| **140** | 5735 | 5775 | 5815 | 5856 | 5896 | 5937 | 5977 | 6017 | 6058 | 6098 |
| **150** | 6138 | 6179 | 6219 | 6259 | 6299 | 6339 | 6380 | 6420 | 6460 | 6500 |
| **160** | 6540 | 6580 | 6620 | 6660 | 6701 | 6741 | 6781 | 6821 | 6861 | 6901 |
| **170** | 6941 | 6981 | 7021 | 7060 | 7100 | 7140 | 7180 | 7220 | 7260 | 7300 |
| **180** | 7340 | 7380 | 7420 | 7460 | 7500 | 7540 | 7579 | 7619 | 7659 | 7699 |
| **190** | 7739 | 7779 | 7819 | 7859 | 7899 | 7939 | 7979 | 8019 | 8059 | 8099 |
| **200** | 8138 | 8178 | 8218 | 8258 | 8298 | 8338 | 8378 | 8418 | 8458 | 8499 |
| **210** | 8539 | 8579 | 8619 | 8659 | 8699 | 8739 | 8779 | 8819 | 8860 | 8900 |
| **220** | 8940 | 8980 | 9020 | 9061 | 9101 | 9141 | 9181 | 9222 | 9262 | 9302 |
| **230** | 9343 | 9383 | 9423 | 9464 | 9504 | 9545 | 9585 | 9626 | 9666 | 9707 |
| **240** | 9747 | 9788 | 9828 | 9869 | 9909 | 9950 | 9991 | 10031 | 10072 | 10113 |
| **250** | 10153 | 10194 | 10235 | 10276 | 10316 | 10357 | 10398 | 10439 | 10480 | 10520 |
| **260** | 10561 | 10602 | 10643 | 10684 | 10725 | 10766 | 10807 | 10848 | 10889 | 10930 |
| **270** | 10971 | 11012 | 11053 | 11094 | 11135 | 11176 | 11217 | 11259 | 11300 | 11341 |
| **280** | 11382 | 11423 | 11465 | 11506 | 11547 | 11588 | 11630 | 11671 | 11712 | 11753 |
| **290** | 11795 | 11836 | 11877 | 11919 | 11960 | 12001 | 12043 | 12084 | 12126 | 12167 |
| **300** | 12209 | 12250 | 12291 | 12333 | 12374 | 12416 | 12457 | 12499 | 12540 | 12582 |

## 4.2 Einführung in die Wärmeleitung

Unterschiedliche Materialien leiten nicht nur den Strom, sondern auch die Wärme unterschiedlich gut oder schlecht. Es gibt viele technische Anwendungen bei denen man sich diese Eigenschaften zu Nutze machen kann.

***Aufgabe: Überlege dir drei Beispiele wo du eine gute bzw. schlechte Wärmeleitfähigkeit nutzen kannst:***

.....

.....

.....

.....

Die Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ ist materialabhängig. Die Einheit: $[\lambda] = \mathrm{W}/(\mathrm{m} * \mathrm{K})$

Die Wärmeleitung beschreibt einen Energietransport. Es ist also Wärmeenergie die durch einen Stoff transportiert wird. Es handelt sich dabei um ein physikalisches Phänomen.

**Unterscheide:**
**Wärmeleitfähigkeit** ist eine **Materialkonstante**
**Wärmeleitung** ist ein physikalisches **Phänomen**

Die Wärme welche wir in einem Stoff fühlen entsteht durch Schwingungen der Teilchen im Material. Je stärker die Teilchen schwingen, desto mehr Energie, sprich Wärme, befindet sich in dem Körper. Die Temperatur 0K (Kelvin) gibt den absoluten Nullpunkt an. Da hier keine Teilchen mehr schwingen ist es die tiefste, mögliche Temperatur.

Der Energietransport, also die Wärmeleitung, entsteht weil sich die Teilchen gegenseitig anstossen und sich die Schwingung im Material damit fortpflanzt.

$$\boldsymbol{Q_l = \lambda * \frac{A}{s} * (T_1 - T_2) * t}$$

- "$Q_l$" ist die Wärmeleitung [kWh] oder [J]
- "λ" ist die Wärmeleitfähigkeit $[\mathrm{W}/(\mathrm{m} * \mathrm{K})]$
- "A" ist die Fläche in Meter [$m^2$]
- "s" ist die Dicke des Materials in Meter [m]
- "$T_1$" ist die höhere Temperatur in Kelvin [K]
- "$T_2$" ist die tiefere Temperatur in Kelvin [K]
- "t" ist die verstrichene Zeit [s]

***Aufgabe: Ergänze die Tabelle mit den Wärmeleitfähigkeiten***

| Material | $[\lambda] = W/(m * K)$ |
|---|---|
| Aluminium | |
| Acrylglas | |
| Blei | |
| Chrom | |
| Eisen | |
| Fensterglas | |
| Gold | |
| Graphit | |
| Saphir | |
| Stahl | |
| Kupfer | |
| Luft | |
| Nickel | |
| Platin | |
| Polytetrafluorethylen (PTFE) | |
| Polyvinylchlorid (PVC) | |
| Silber | |
| Silizium | |
| Titan | |
| Wolfram | |
| Zink | |
| Zinn | |

**Saphir** hat eine **hohe** Wärmeleitfähigkeit und ist elektrisch isolierend.

### *Aufgabe: Qualitative Bestimmung der Wärmeleitung*

Als Material hast du Aluminium, Kupfer, Stahl, Titan, Polycarbonat, Fenster-Glas und Saphir zur Verfügung. Ordne die Materialien nach ihrer Wärmeleitfähigkeit und bestimme danach das Material der Werkstücke.

*Abb. 12: Wärmeleit-Versuch*

Beschreibe die Materialproben. Mögliche Beschreibungen könnten sein:
*leicht, schwer, durchsichtig, matt, kühl, glänzend, milchig, hart, etc.*

| Probe | Beschreibung des Werkstückes |
|---|---|
| **1** | |
| **2** | |
| **3** | |
| **4** | |
| **5** | |
| **6** | |
| **7** | |

1. Schliesse die Heizplatte an das Powersupply an.
2. Wähle die Versorgungsspannung mit +15V
3. Warte 5 Minuten bis die Heizplatte homogen warm ist.
4. Lege nun alle Materialien auf die Heizplatte
5. Warte 2 Minuten und messe die Temperatur an den Werkstücken mit dem Daumen.
6. Notiere deine „Messdaten“
7. Warte 5 Minuten und messe noch einmal.
8. Notieren deine „Messdaten“
9. Erstelle die Reihenfolge und bestimme das Material.
10. Nimm mit der Wärmebildkamera ein Bild auf
11. Nimm alle Proben von der Heizplatte weg und warte bis sie wieder Raumtemperatur haben.
12. Lege nun wieder alle Proben auf die Heizplatte und warte 5 Minuten
13. Miss nun mit dem Thermoelement die Temperatur der Heizplatte und die Temperatur der Proben-Endflächen.

| **Material** | **Reihenfolge (wärmste-kälteste)** | **Temperatur (gemessen TC)** | **Wärmleitung (Literaturwert)** |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

## 4.3 Einführung in die Wärmestrahlung

Es gibt ein weiteres Phänomen im Zusammenhang mit der Wärme. Die Wärmestrahlung. Wenn du dich neben ein Feuer stellst kannst du die Wärme sehr gut spüren. Diese Art der Übertragung nennt man Strahlung.

Die Wärmestrahlung ist, genauso wie Licht, eine elektromagnetische Strahlung. Allerdings im sogenannten Infrarotbereich wo sie nicht sichtbar ist. Um Infrarotstrahlung sehen zu können benötigt es eine Wärmebildkamera.

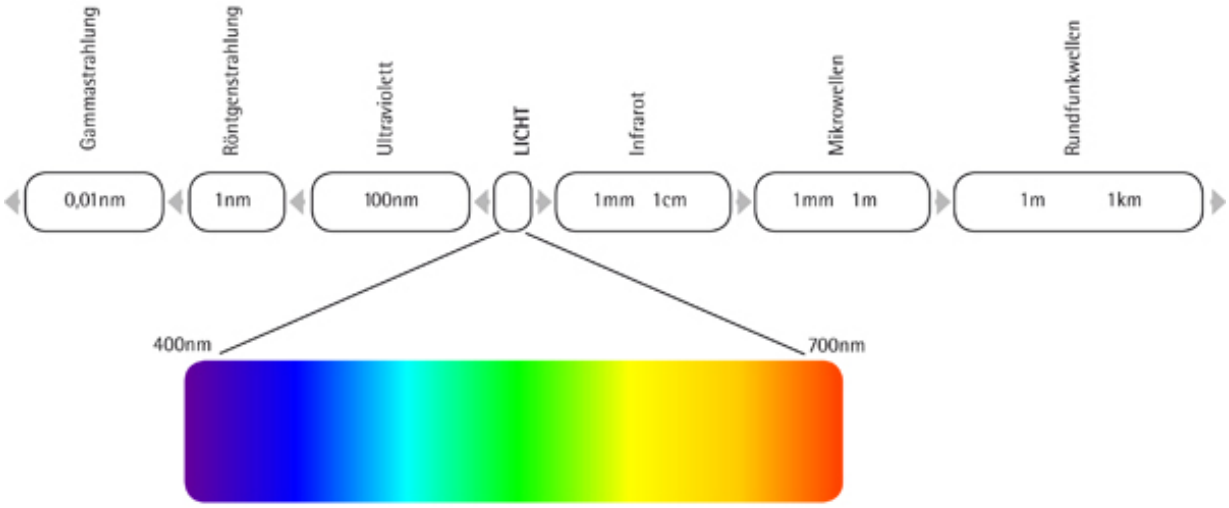



*Abb. 13: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung*

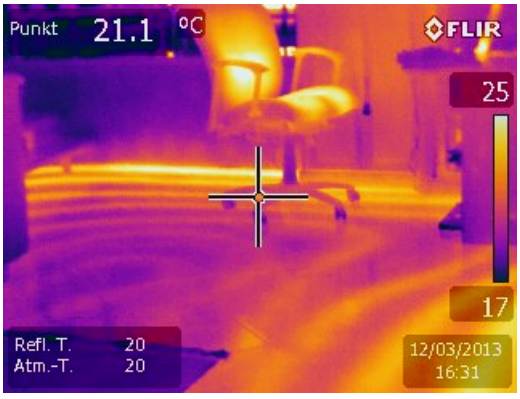



*Abb. 14: Wärmestrahlung mit einer Wärmebildkamera*

Im Vakuum ist übrigens die Wärmestrahlung die einzige Möglichkeit Wärmeenergie zu transportieren. Wärmeleitung und Konvektion fallen weg da kein Gas als Übertragungsmedium vorhanden ist.

### *Aufgabe: Wärmestrahlung*

Wie gut ein Körper Wärme abstrahlen kann hängt von der Form und der Farbe des Körpers ab. Dies werden wir in diesem Versuch ausprobieren.

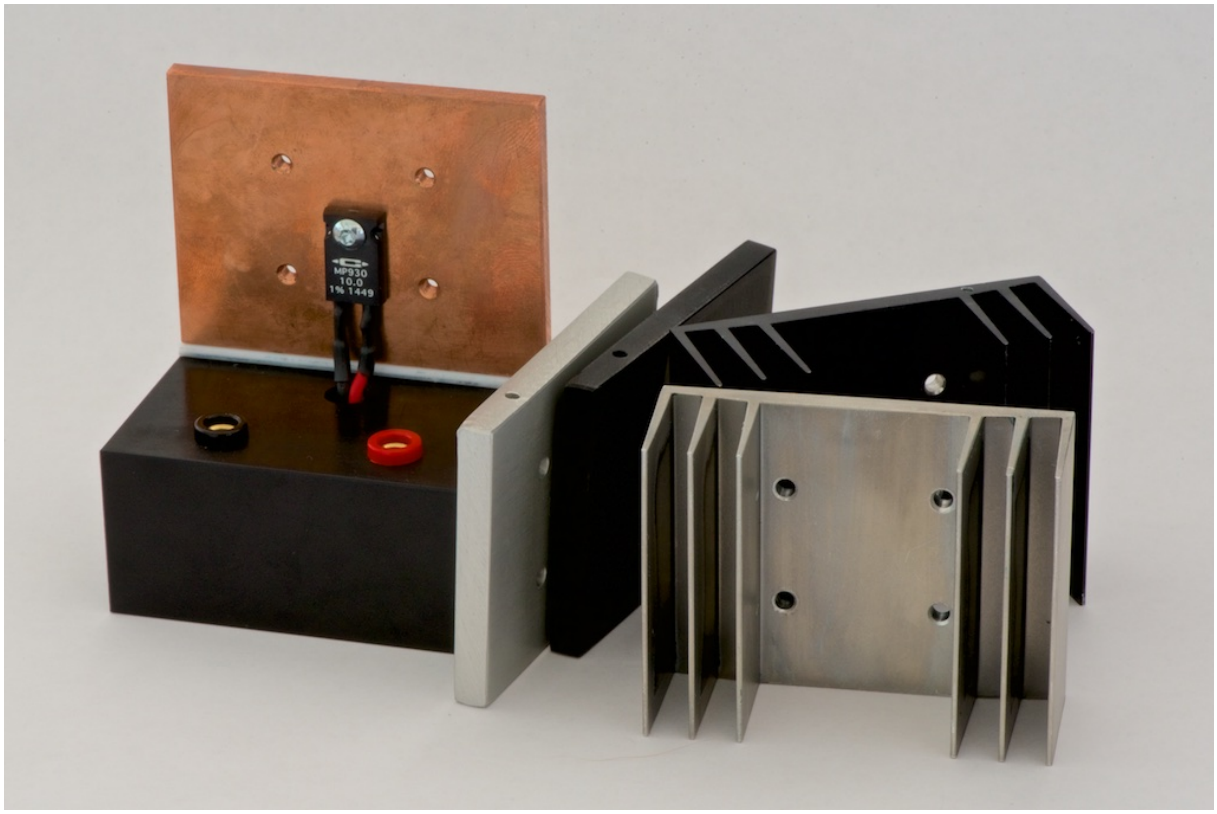



*Abb. 15: Wärmestrahlungs-Versuch mit unterschiedlichen Probenkörpern*

1. Schliesse die Heizung an das Powersupply an.
2. Wähle die Spannungsversorgung mit 10V
3. Heize die Kupferplatte ungefähr 30 Minuten vor
4. Wäge die verschiedenen Kühlkörper
5. Berechne die Oberflächen der Kühlkörper
6. Schraube nacheinander alle 4 Körper an der Kupferplatte fest
7. Montiere das Thermoelement in das dafür vorgesehene Loch
8. Schreibe jede Minute die Temperatur auf bis sie stabil wird. Du hast jetzt ein thermisches Gleichgewicht erreicht. Die Wärmeabstrahlung entspricht also der eingebrachten Wärme.
9. Zeichne die jeweiligen Aufheizkurven auf. Was stellst du fest?
10. Welchen Körper würdest du als Kühlkörper verwenden?

Die Wärmeabstrahlung ist **proportional** zur Oberfläche!

# 5 Elektrische Eigenschaften von Werkstoffen

## 5.1 Einführung

Alle Werkstoffe können in Leiter, Halbleiter und Isolatoren eingeteilt werden. In diesem Kapitel geht es um die Metalle und ihre elektrische Leitfähigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit ist von der Temperatur abhängig. Die Metalle sind sogenannte Kaltleiter, das bedeutet, dass sie bei einer Temperaturzunahme weniger gut leiten.

## 5.2 Der elektrische Widerstand eines Drahtes

Der elektrische Widerstand ist abhängig von der Länge, der Fläche und einer materialabhängigen Konstanten, dem spezifische Widerstand ρ (Rho).

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

- "R" ist der ohm'sche Widerstand [Ω]
- "ρ" ist der spezifische Widerstand [Ω*mm²/m]
- "l" ist die Drahtlänge in Meter [m]
- "A" ist die Querschnittsfläche [mm²]

***Aufgabe: Ergänze die Tabelle mit dem spezifischen Widerstand***

| **Material** | [ρ]=Ω*mm²/m |
|---|---|
| **Aluminium** | |
| **Edelstahl** | |
| **Eisen** | |
| **Gold** | |
| **Konstantan** | |
| **Kupfer** | |
| **Messing** | |
| **Nickel** | |
| **Platin** | |
| **Silber** | |
| **Titan** | |
| **Wolfram** | |
| **Kanthal** | |

Je **kleiner** der spezifische Widerstand, desto besser leitet das Material!

Nenne die 4 besten elektrischen Leiter:

..... .....

..... .....

Für Überland-Hochspannungsleitungen werden Aluminium-Drähte verwendet.
Weshalb? .....

***Aufgabe: Widerstandsmessung am Draht***

1. schneide 2 verschiedene Drahtstücke mit der Länge von 2 m ab
2. spanne deinen Draht in der Länge und messe den Durchmesser
3. messe alle 100 mm den Widerstand mit dem Ω-Meter
4. Erstelle in Excel die Grafik R=f(l)
5. Rechne den Widerstand (Länge = 1500 mm) aus und überprüfe ihn mit deiner Messung.
6. Tausche mit einem Kollegen die beiden Drahtstücke aus und messe noch einmal.
7. Behalte die Drähte für die nächste Aufgabe.

| Draht | Durchmesser [mm] | Länge [mm] | Widerstand [Ω] |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

***Aufgabe: Was kannst du über deine Messung aussagen?***

.....

.....

.....

Der Widerstand eines Drahtes ist **proportional** zur Drahtlänge

## 5.3 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Der elektrische Widerstand ist von der Temperatur abhängig. Nimmt der Widerstand mit der Temperatur zu, dann spricht man von einem Kaltleiter bzw. einem **p**ositiven **T**emperatur-**c**oeffizient (PTC). Typischerweise sind alle Metalle **Kaltleiter**. Nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab, dann spricht man von einem **Heissleiter** bzw. einem negativen Temperaturcoeffizient (NTC). Die Widerstandsänderung ist ein Mass für die Temperatur und wird zur Temperaturmessung verwendet. (siehe üK 1“Messmethoden“)

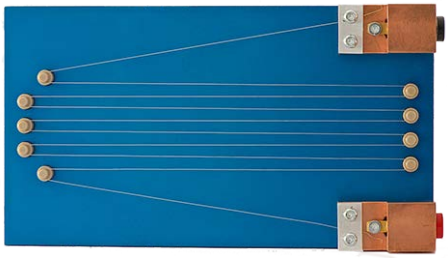


*Abb. 16: R=f(T)-Versuch*

$$R_T = R_{20} * (1 + \alpha * \Delta T)$$

Einige typische Temperaturkoeffizienten.

| Material | [ $\alpha$]=1/K |
|---|---|
| **Aluminium** | $4.3*10^{-3}$ |
| **Eisen** | $6.57*10^{-3}$ |
| **Gold** | $3.7*10^{-3}$ |
| **Graphit** | $-0.2*10^{-3}$ |
| **Konstantan** | $\pm 0.01*10^{-3}$ |
| **Kupfer** | $3.93*10^{-3}$ |
| **Nickel** | $6.0*10^{-3}$ |
| **Platin** | $3.92*10^{-3}$ |
| **Silber** | $3.8*10^{-3}$ |
| **Silizium** | $-75*10^{-3}$ |
| **Wolfram** | $4.4*10^{-3}$ |
| **Kanthal A** | $3.8*10^{-3}$ |

**Konstantan** hat einen möglichst **kleinen** Temperaturkoeffizienten

Silizium hat einen **negativen** Temperaturkoeffizienten

***Aufgabe: Was bedeutet dies?***

.....

.....

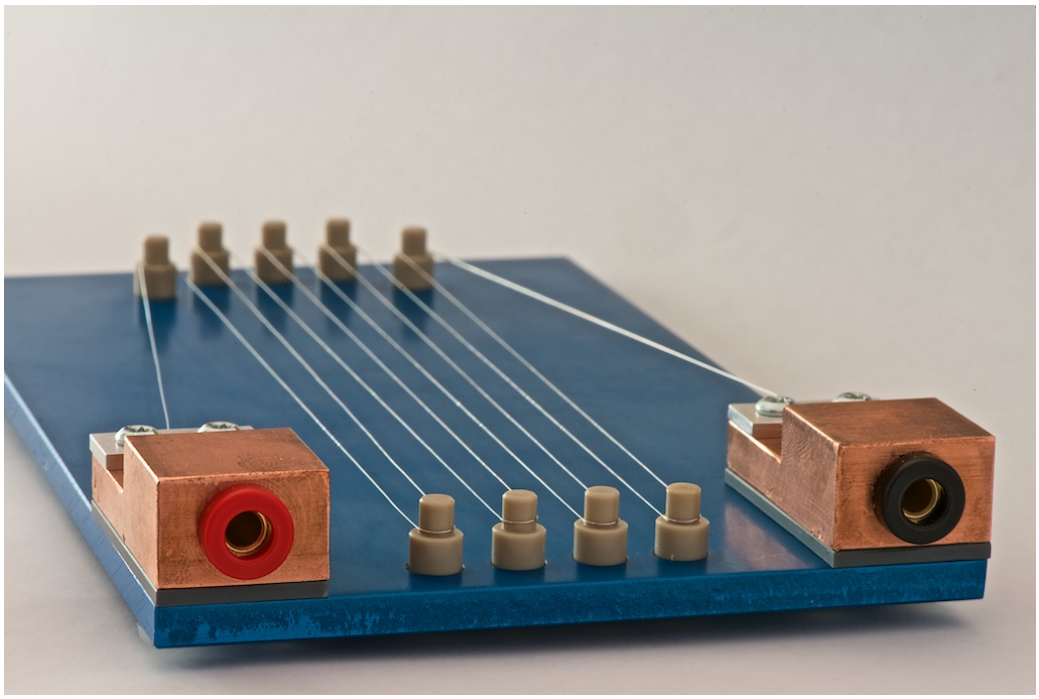


*Abb. 17: Widerstandsänderungs-Versuch*

### *Aufgabe: Messung der Widerstandsänderung in Abhängigkeit der Temperatur*

Messe im 2'er Team R=f(T). Überlegt euch eine Messstrategie und bespricht diese in der Teilgruppe mit dem Ausbilder.

1. Verwende die beiden Drahtstück von der vorhergehenden Aufgabe.
2. Passe die Länge so an, dass der Widerstand nicht grösser als 10 Ω ist.
3. Montiere nun das Drahtstück auf dem Versuchsaufbau und befestige ein Thermoelement für die Temperaturmessung.
4. Messe zuerst den Widerstand möglichst genau bei Raumtemperatur.
5. Der Widerstand kannst du über einen konstanten Strom vom Powersupply erhitzen. Wähle für die 4 verschiedenen Temperaturen 4 verschiedene Ströme.
6. Stelle einen konstanten Strom ein, warte bis die Messwerte stabil sind und messe:
   a. Strom [A]
   b. Spannung [V] über dem Widerstand
   c. Temperatur [°C]
7. Wiederhole die Messungen von Punkt 6 mit 4 verschiedenen Stromstärken
8. Tausche mit einem Kollegen deine beiden Drahtstücke und messe noch einmal
9. Erstelle in Excel die Grafik R(T)=f(T) aller 4 Drähte
10. Bestimme den Temperaturkoeffizient α der vier Drähte
11. Schreibe ein Protokoll.

# 6 Festigkeit von Materialien

## 6.1 Einführung in die Festigkeit

Die Festigkeit eines Werkstoffes gibt seine maximale Belastbarkeit an. Also die maximale Spannung unter welcher er technisch noch eingesetzt werden kann. Die Spannung bezieht sich dabei auf eine Kräftebelastung bei einer bestimmten Querschnittsfläche.

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}}$$

- " $\boldsymbol{\sigma}$ " ist die mechanische Spannung [Pa]
- "F" ist die Belastungskraft (Zug oder Druck) [N]
- "A" ist die Querschnittsfläche des Probenkörpers zu Beginn der Messung (also vor einer Formveränderung durch den Zugversuch) [$m^2$]

Festigkeiten können auf verschiedene Arten unterschieden werden:

- Nach der Art der mechanischen Belastung
  - Zugfestigkeit
  - Druckfestigkeit
  - Kompressionsfestigkeit
  - Biegefestigkeit
  - Torsionsfestigkeit
  - Scherfestigkeit
- Nach der Ein- oder Mehrachsigkeit der Belastung
- Nach statisch oder dynamischer Belastung
  - Festigkeit unter ruhender Belastung
  - Schnell aufgebrachte Belastung
  - Dauerfestigkeit bzw. Ermüdungsfestigkeit

Wie gross die maximale Festigkeit ausfällt, hängt dabei auch davon ab wie gross die Verformung eines Bauteiles unter Last sein darf.

Die Bestimmung der Festigkeit eines Materials erfolgt im Labor unter definierten Bedingungen. Also lediglich unter einachsiger Belastung. In der Praxis ist daher Vorsicht angebracht mit den angegebenen Festigkeitswerten da die meisten Lastfälle streng genommen nicht einachsig sind. Zudem besteht bei der Dehnung eines Probenkörpers eine ständige Änderung des Querschnittes (sog. Einschnürung) womit die errechnete Spannung an der besagten Stelle stark zunimmt.

Für die technische Anwendung wird in der Regel mit dem Spannungs-/Dehnungsdiagramm gearbeitet um die Festigkeit des Materials festzulegen. Zu unterscheiden sind dabei Materialien mit ausgeprägter Streckgrenze und solche mit nicht ausgeprägter Streckgrenze.

Im Spannungs-/Dehnungsdiagramm sind drei Bereiche von technischer Wichtigkeit:

- Der **linear-elastische Bereich** welcher der Hook'schen Geraden entspricht. Hier sind Dehnung und Spannung proportional. Es hat also noch keine plastische Verformung des Werkstoffes stattgefunden.
- Der **nichtlinear-elastische Bereich**: Hier erfolgt bereits eine Verformung des Werkstoffes. Dehnung und Spannung sind also nicht mehr linear. Die Verformung ist aber noch elastisch (also reversibel) und verschwindet bei Entlastung des Werkstoffes wieder.
- Der **plastische Bereich**. Hier verformt sich der Werkstoff teilweise plastisch (also irreversibel). Nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze erfolgen im Material Versetzungen welche den Werkstoff dauerhaft schädigen.

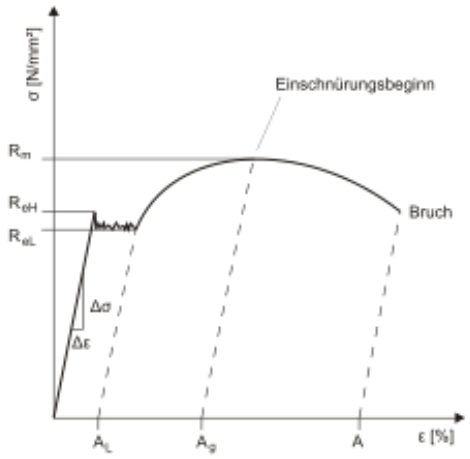



*Abb. 23: Spannungs-/Dehnungsdiagramm mit ausgeprägter Streckgrenze*

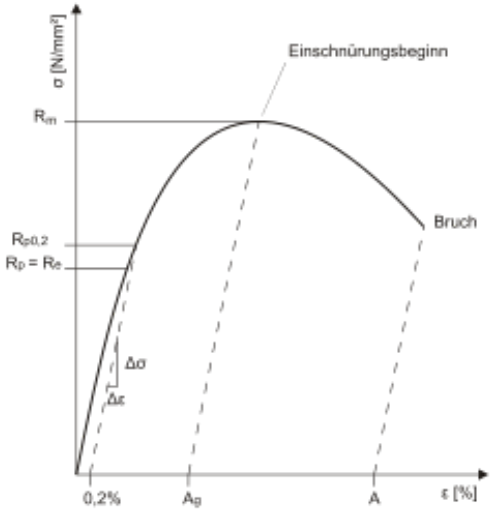



*Abb. 24: Spannungs- /Dehnungsdiagramm mit kontinuerlichem Fliessbeginn*

In den Diagrammen sind folgende Abkürzungen verwendet worden:

- $R_m$: Zugfestigkeit
- $R_{eH}$: Obere Streckgrenze
- $R_{eL}$: Untere Streckgrenze
- $R_{p0,2}$: Dehngrenze mit 0.2% plastischer Verformung
- E: Elastizitätsmodul
- A: Bruchdehnung
- $A_g$: Gleichmassdehnung
- $A_L$: Lüdersdehnung

Eine wichtige Materialkonstante in diesem Zusammenhang bildet der E-Modul.

## 6.2 Das Hook‘sche Gesetz

Mit dem Hook’schen Gesetz wird die elastische Verformung von Festkörpern beschrieben solange sich diese im linear-elastischen Bereich befinden. Im Spannungs-/Dehnungsdiagramm also auf der ansteigenden Geraden. Diese wird daher auch als Hook’sche Gerade bezeichnet. Bei harten und spröden Materialien gilt das Gesetz häufig sogar bis zum Bruch (Glas, Keramik etc.).

Wir betrachten hier den einfachen, eindimensionalen Fall. Man muss sich immer bewusst sein, dass mit dem Hook’schen Gesetz nur ein Spezialfall beschrieben werden kann.

Ein Balken der Länge $l_0$ wird in Längsrichtung mit einer Kraft belastet. Es kann sich dabei um eine Zug- oder Druckkraft handeln. Im Balken entsteht dadurch eine Spannung:

$$\sigma_X = \frac{F_X}{A}$$

Durch die Belastung entsteht eine Verformung in X-Richtung:

$$\epsilon_X = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Die Dehnung des Balkens hängt dabei von der Kraft bzw. der Spannung im Balken ab. Die Proportionalitätskonstante E steht dabei für den Elastizitätsmodul des Materials:

$$\sigma_X = E * \varepsilon_X$$

Nun lassen sich die beiden Formeln zusammensetzen:

$$\frac{F_X}{A} = E * \frac{\Delta l}{l_0}$$

Und in die gebräuchliche Form umstellen:

$$F_X = E * A * \frac{\Delta l}{l_0}$$

### *Aufgabe: Qualitative Messung der Festigkeit unterschiedlicher Materialien*

Mit einem einfachen Messaufbau möchten wir die Festigkeit unterschiedlicher Materialien qualitativ bestimmen. Als Probenmaterial hast du folgende Werkstoffe zur Verfügung:

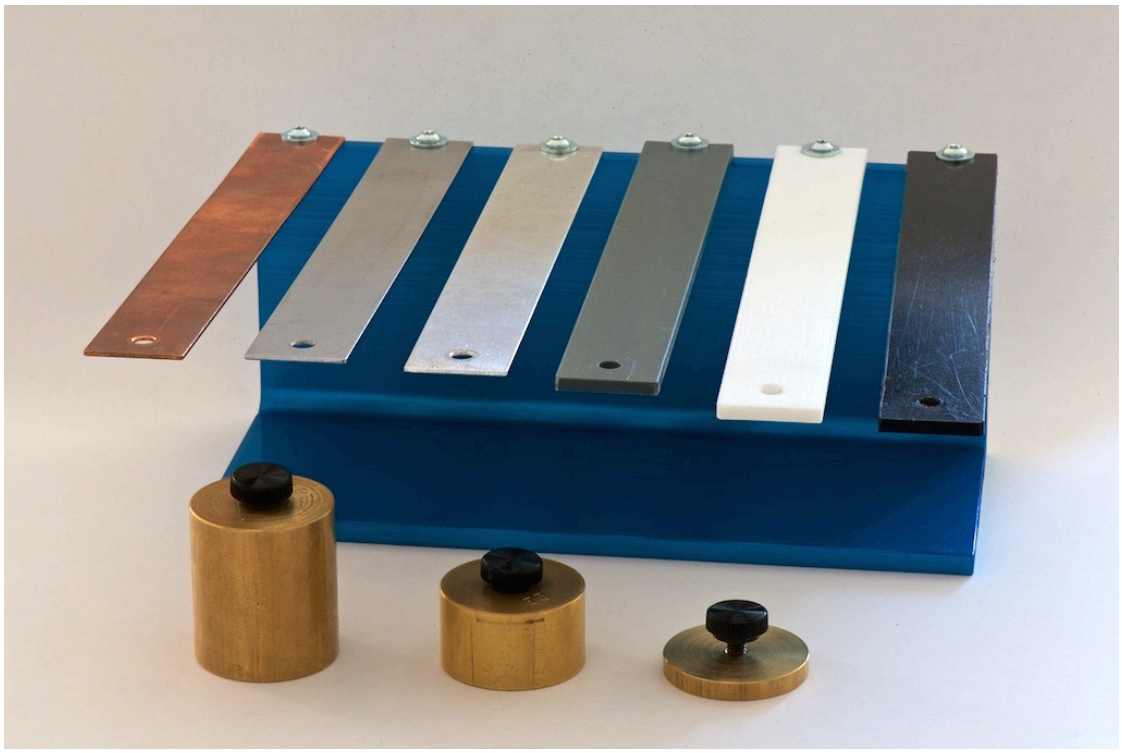


*Abb. 25: Festigkeits-Versuch mit Proben*

| Probe | Aussehen / Beschreibung | Werkstoff |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |

**Aufgabe**:
Messe jede Probe mit 3 verschiedenen Massen. Verwende folgende Massen:

- **Metallproben**: 100g, 200g und 300g
- **Kunststoffproben**: 25g, 50g und 100g.

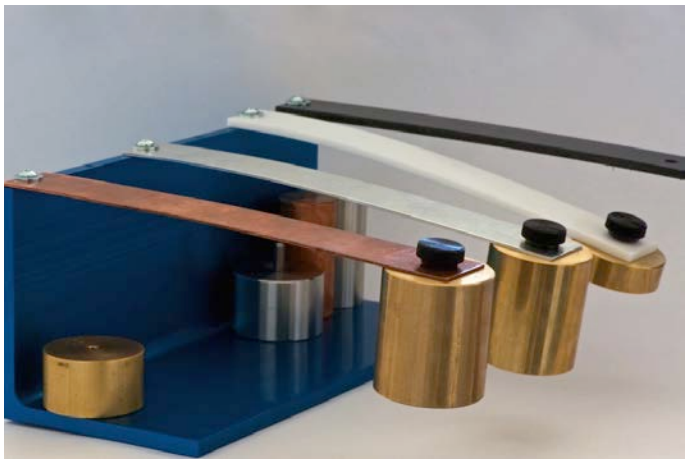


*Abb. 26: Festigkeits-Versuch*

Vor der Messung müssen die Probenplättchen **möglichst horizontal** sein!

1. Lese mit dem Metallmassstab die Höhe der Probe möglichst genau ab.
2. Montiere das Gewicht an die Probe
3. Warte 1 Minute
4. Lese nun die Höhe der Probe mit dem Metallmassstab ab.
5. Wiederhole den Versuch mit 3 unterschiedlichen Massen an allen Proben.
6. Erstelle in Excel die Grafik Δh=f(m) für jede Probe
7. Schreibe ein vollständiges Protokoll

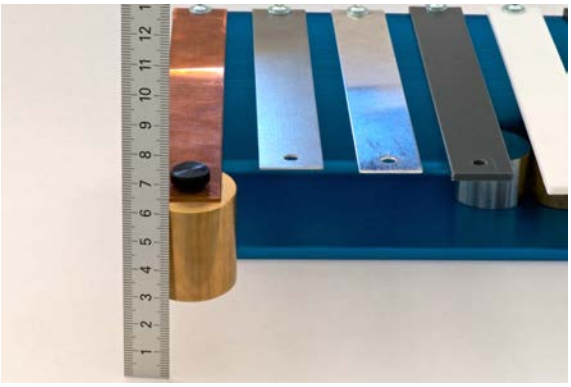


*Abb. 27: Messung Festigkeits-Versuch*

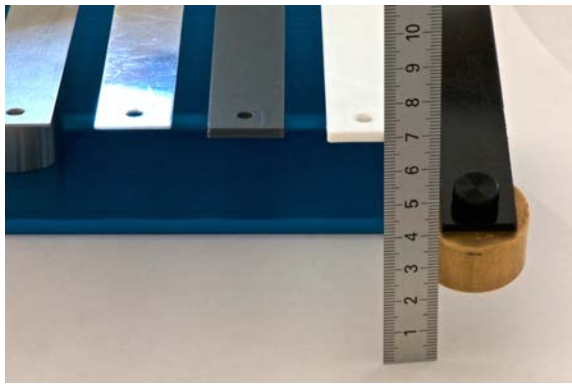


*Abb. 28: Messung Festigkeit von Kunststoff*

### *Aufgabe: Bestimmung des E-Moduls*

Wird ein einseitig eingespannter Federstahl-Biegebalken durch eine Kraft ausgelenkt und dann losgelassen, schwingt er in einer bestimmten Frequenz. Diese Eigen-Schwing-Frequenz ist von den Materialdaten und der Geometrie abhängig. Wird an diesem Balken eine Masse befestigt, schwingt diese mit und die Frequenz ändert sich. (Geometrie wurde verändert). Bei diesem Versuch soll der Einfluss verschiedener Massen auf die Schwing-Frequenz ermittelt werden.

*Abb. 29: Bestimmung des E-Moduls*

1. Messe die Geometrie des Biegebalkens mit geeigneten Messmitteln. Messe jeden Wert 3 – 5 Mal, erstelle eine Messwert-Tabelle und bilde den Mittelwert.
2. Justiere vor jeder Messung mit einer neuen Masse die Ausgangsspannung auf null Volt. (Potentiometer Offset)
3. Miss mit dem Digitalspeicheroszilloskop (DSO) die Frequenz der Schwingung.
4. Stelle die gemessenen Daten mit EXCEL grafisch dar und ermittle aus den Grafiken die Schwingungsfrequenzen.
5. Messe die genaue Masse der Gewichte mit der Waage.
6. Erstelle die Grafik **Frequenz f=f(m).**
7. Berechne aus deinen Daten der **E-Modul E** des Biegebalkens.
8. Nenne mögliche Messfehler.
9. Ziel ist ein vollständiges Protokoll deiner Arbeit

Herleitung der Formel zur Berechnung der Schwingfrequenz in Abhängigkeit der Masse (Annahme: Punktmasse)

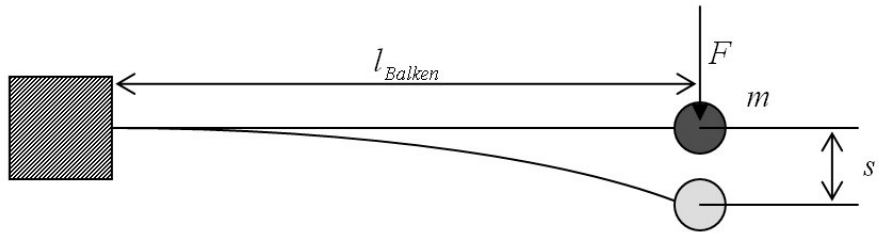



*Abb. 30: Biegebalken schematisch*

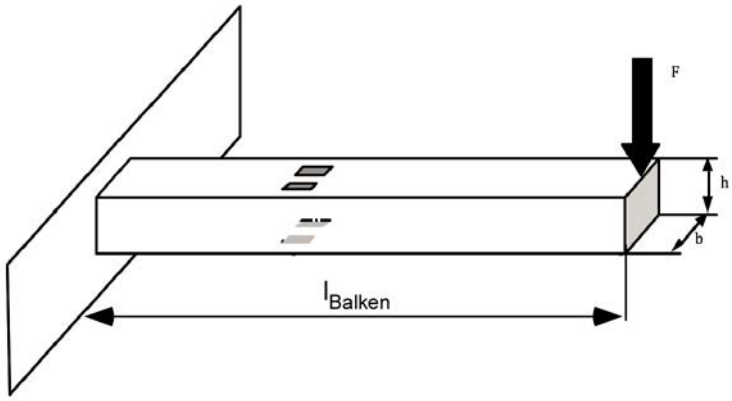



*Abb. 31: Biegebalken schematisch*

**Flächenmoment des Balkens $I_y$:**

$$I_y = \frac{b*h^3}{12} \qquad [\mathrm{m}^4]$$

**Federkonstante c:**

$$c = \frac{3*E*I_y}{{l_{balken}}^3} \qquad [\frac{N}{m}]$$

**Schwingfrequenz des Balkens f:**

$$f = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{c}{m}} \qquad [\mathrm{Hz}]$$

**Anwendung der Formeln für die Berechnung des E-Moduls:**

1. **Umstellen der Federkonstanten nach E:**

$$E = \frac{c * l_b^3}{3 * I_y}$$

2. **Einsetzen von $I_y$ und kürzen:**

$$E = \frac{c * l_b^3}{3 * \frac{b * h^3}{12}} = \frac{12 * c * l_b^3}{3 * b * h^3} = 4 * \frac{c * l_b^3}{b * h^3}$$

3. **Umstellen der Schwingfrequenz nach c:**

$$f * 2 * \pi = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

$$(f * 2 * \pi)^2 * m = c$$

4. **Zusammenfügen der Formeln:**

$$E = 4 * \frac{(f * 2 * \pi)^2 * m * l_b^3}{b * h^3}$$

# 7 Härte von Materialien

## 7.1 Einführung

Die Härte eines Materials beschreibt seinen Widerstand gegen das Eindringen eines Körpers. Je nach dem um welche Art Körper es sich handelt gibt es unterschiedliche Härten. Nicht nur der Widerstand gegenüber härteren, sondern auch der Widerstand gegenüber weicheren oder gleich harten Körpern.

*Abb. 33: Härte-Versuch*

Die Härte ist ein wichtiges Mass im Zusammenhang mit dem Verschleiss verhalten eines Werkstoffes bzw. eines Bauteiles. Ein Zahnrad, welches gehärtet ist hält länger als ein nicht gehärtetes. Brillengläser mit einer harten Beschichtung sind dauerhafter als solche mit einer weichen Oberfläche. Werkzeugschneiden von Fräsern, Bohrern oder Drehstählen sind länger scharf, wenn sie gehärtet sind. Im Gegenzug brechen sie dafür schneller, vertragen also weniger Schläge.

Je **härter** ein Werkstoff, desto **spröder** ist er!

Im technischen Einsatz sind verschiedene Arten von genormten Härteprüfungen bekannt. Es werden unterschiedliche Eindringkörper verwendet. Abhängig vom Material sind teilweise auch verschiedene Skalen bekannt. Der folgende Versuch ist keine genormte Messung und soll lediglich ein Gefühl für die Härte der Materialien vermitteln!

### *Aufgabe: Qualitative Härtemessung*

Bestimme mit einfachen Mitteln die Härte der Probeplättchen. Wie würdest du dies machen? Ordne die Proben nach der Härte.

| Probeplättchen | Reihenfolge der Härte |
|---|---|
| **Aluminium** | |
| **Kupfer** | |
| **Stahl** | |
| **Polyethylen (PE)** | |
| **Polyvinylchlorid (PVC)** | |

### *Aufgabe: Härtemessung*

Bei diesem Versuch bestimmen wir die Härte der Werkstoffe etwas genauer. Es ist immer noch eine **qualitative** Messung. Im überbetrieblichen Kurs 4 lernst du Möglichkeiten der **quantitativen** Härtemessung kennen.

1. Lege das zu prüfende Probeplättchen auf die Grundplatte
2. Stelle den Körner und das Plexi-Rohr auf das Probeplättchen
3. Messe folgendes mit jedem Probenplättchen (Cu, Al, 18/10, PVC, PE):
4. rostarmes Stahlgewicht (m1), 3 Messungen je Material
5. m1 und Ms-Gewicht (m2), 3 Messungen je Material
6. m1+m2 und weiteres Ms-Gewicht (m3), 3 Messungen je Material
7. Lasse die jeweilige Masse aus einer Höhe von 500 mm auf den Körner fallen
8. Messe mit der Messlupe den Durchmesser d der Einschlaglöcher möglichst genau aus. Bilde den Mittelwert deiner 3 Messungen für jedes Material.
9. Messe mit der Waage die einzelnen Massen (m1, m2, m3)
10. Erstelle mit Excel eine Messwert-Tabelle und den Plot d=f(m) für jedes Material
11. Erstelle ein Protokoll

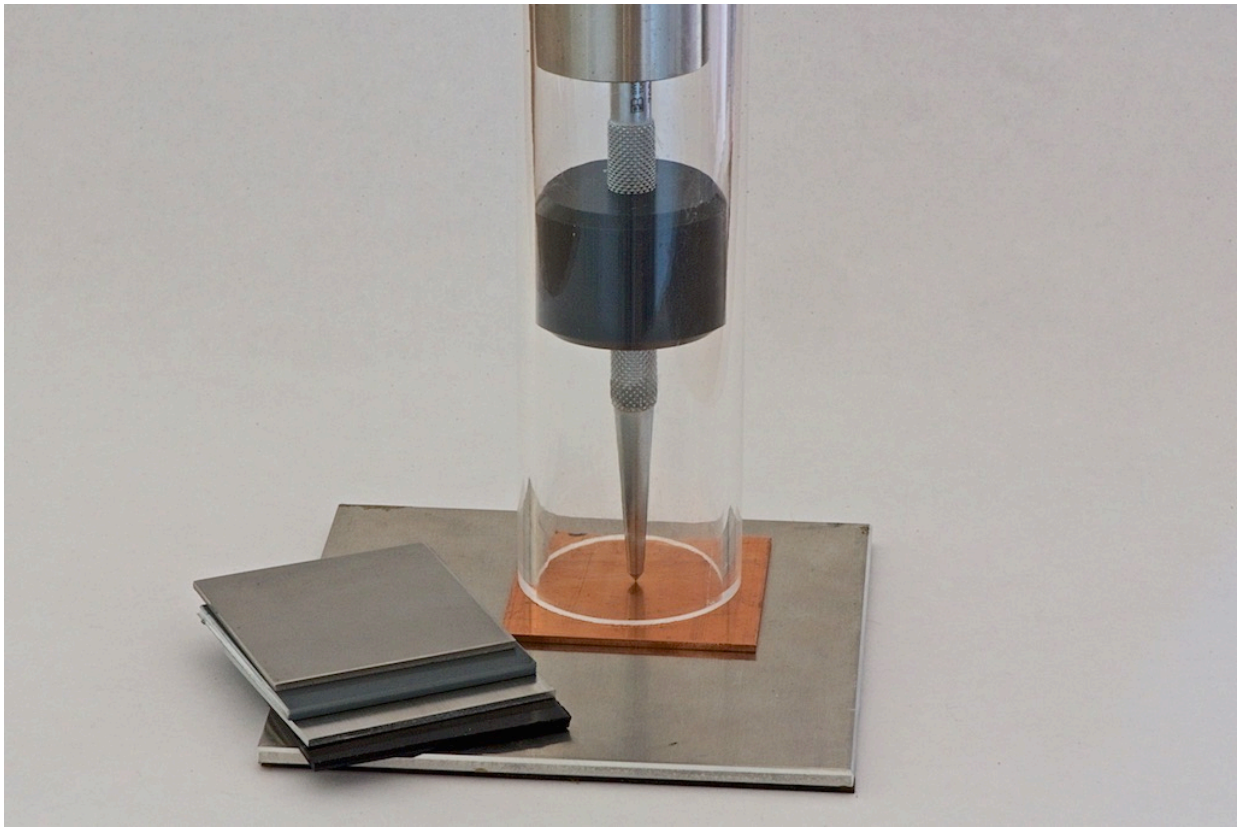


*Abb. 34: Härte-Versuch mit unterschiedlichen Proben*

# 8 Reibungseigenschaften

## 8.1 Einführung in die Reibungseigenschaften von Werkstoffen

Überlässt man einen auf horizontaler Unterlage in Bewegung gesetzten Körper sich selbst, so kommt er nach einer gewissen Zeit zur Ruhe. Die Ursache dieser Geschwindigkeitsabnahme ist eine Kraft, die entgegen der Bewegungsrichtung wirkt. Diese Kraft entsteht beim „Reiben“ von Körper mit der Unterlage und sie wird als Reibungskraft bezeichnet.

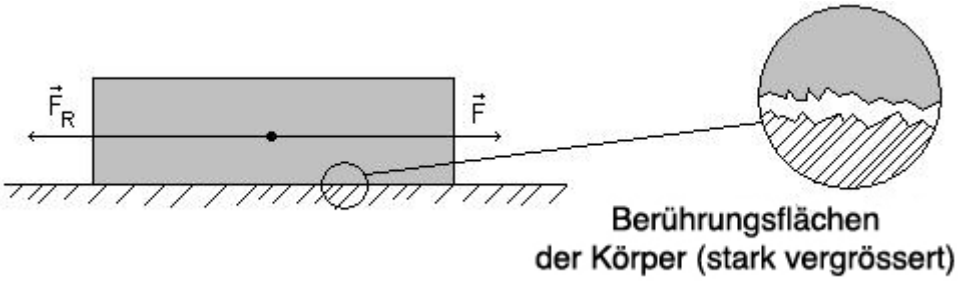



*Abb. 35: Prinzip der Reibung*

Der Körper bewegt sich erst in Richtung der Kraft F, sofern die Kraft F grösser als die Reibungskraft $F_R$ ist.

Die Reibung $F_R$

$$F_R = \mu * F_N$$

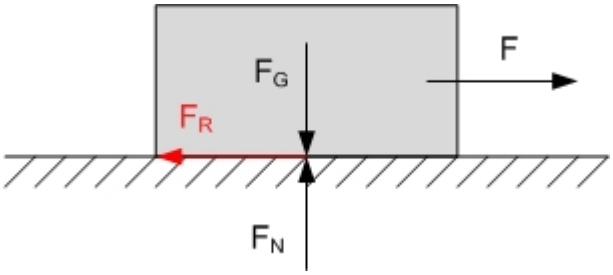



*Abb. 36: Kräfte an einem Körper*

- $\mu$ : Reibungskoeffizient
- $\mathbf{F_R}$ : Reibungskraft [N]
- $\mathbf{F_N}$ : Normalkraft [N]

Die Normalkraft $F_N$ ist die Kraft, welche senkrecht auf der Reibungsfläche steht. Bei einer horizontalen Reibungsfläche ist die Normalkraft $F_N$ gleich der Gewichtskraft $F_G$.

Die Reibungskraft $F_R$ ist **proportional** zur Normalkraft $F_N$

## 8.2 Haftreibung

Es wird an einem Gegenstand mit einer zunehmenden Kraft gezogen. Solange der Gegenstand sich nicht bewegt spricht man von der **Haftreibung**.

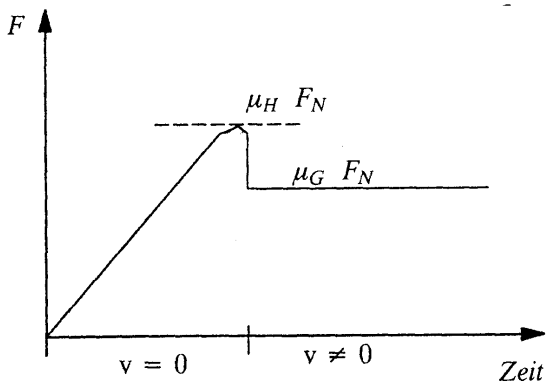



*Abb. 37: Haft-und Gleitreibung*

## 8.3 Gleitreibung

Sobald die Kraft so gross ist, dass sich der Gegenstand bewegt dann wird von der **Gleitreibung** gesprochen. Die Gleitreibung ist immer kleiner als die Haftreibung! Im Maschinenbau werden Gleitlager verwendet. Bei diesem Lager erfolgt eine Anpassung der Materialien damit eine möglichst kleine Gleitreibung entsteht. Durch Schmieren des Lagers kann die Gleitreibung verkleinert werden.

## 8.4 Rollreibung

Die Reibung lässt sich wesentlich vermindern, wenn man die eine Fläche nicht über die andere Fläche hinweggleiten lässt, sondern mit Walzen oder Rädern darüber rollen lässt. Bei den Wälz- und Kugellagern wird die Rollreibung technisch umgesetzt.

*Abb. 38: Kugellager*

*Abb. 39: Diverse Kugellager*

## 8.5 Schmiermittel

Bei der Anwendung von Schmiermittel wird die Reibungskraft wesentlich vermindert. Das Schmiermittel bildet einen dünnen Film über den beiden Oberflächen. Die Bewegung erfolgt nun nicht mehr auf den beiden Festkörpern, sondern auf dem Schmiermittelfilm. Nun spricht man von einer Flüssigkeitsreibung. Die Flüssigkeitsreibung wächst mit der Geschwindigkeit. Der Schmiermittelfilm darf nie abreissen. Bei Metallflächen werden oft Öle, Fette oder Graphit verwendet.

Die Haftreibung $\mu_H$ ist **grösser** als die Gleitreibung $\mu_G$

Wo ist obige Aussage relevant?

.....

.....

.....

### *Aufgabe: Reibung qualitativ bestimmen*

Bestimme qualitativ die Reibung der verschiedenen Materialien. Führe sie mit dem Finger über den Tisch und ordne die Materialien nach der Reibung. Wiederhole deine Bestimmung einige Male. Du hast folgende Materialien zur Verfügung:
Kupfer, Aluminium, PVC, PMMA, PE, Teflon, Neopren und Pavatex.

*Abb. 40: Qualitativer Reibungs-Versuch*

| Material | 1. Durchgang | 2. Durchgang | 3. Durchgang | 4. Durchgang |
|---|---|---|---|---|
| **Kupfer** | | | | |
| **Alu** | | | | |
| **PVC** | | | | |
| **Plexiglas** | | | | |
| **Polyethylen** | | | | |
| **Teflon** | | | | |
| **Neopren** | | | | |
| **Pavatex** | | | | |
| **Resocell** | | | | |

### *Aufgabe: wo ist in deinem Arbeitsalltag das Wissen über die Reibung wichtig?*

.....

.....

.....

### *Aufgabe: Bestimmen der Haft- und Gleitreibung*

Bestimme die Haft- und Gleitreibung als 2'er Teamarbeit. Überlegt euch was ihr messen müsst und wie ihr Vorgehen möchtet (IPERKA). Bespricht euer Vorgehen in der Teilgruppe mit dem Ausbilder.
Zur Verfügung habt ihr den Versuchsaufbau, DMS-Kraftsensor, DMS-Verstärker, LabJack zur Datenaufnahme und Massen zur Kalibration.

**Versuchsaufbau**:

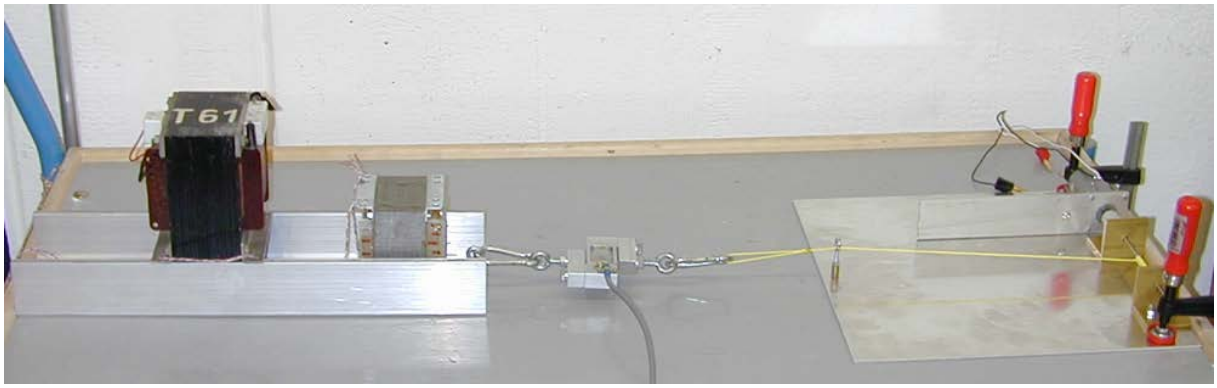



*Abb. 41: Haft- und Gleitreibungsversuch*

Um die Haft- und Gleitreibung zu bestimmen müssen wir folgendes messen:

.....

.....

Wir wählen folgendes Vorgehen:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# 9 Werkstoff Kunststoff

*Abb. 42: Kunststoff-Granulat*

## 9.1 Einführung in die Kunststoffe

Kunststoffe haben in der Technik eine sehr wichtige Bedeutung erhalten. Seit längerem ist der Kunststoff in der Verpackungsindustrie nicht mehr weg zu denken. Moderne Kunststoffe sind heute in der Technik nicht mehr wegzudenken und haben in vielen Anwendungen die klassischen Werkstoffe wie Metalle ersetzt.

***Aufgabe: Vor- und Nachteile von Kunststoffen***

Diskutiere in der 4'er Gruppe und notiere:

| Vorteil | Nachteil |
|---|---|
| ..... | ..... |
| ..... | ..... |
| ..... | ..... |
| ..... | ..... |
| ..... | ..... |
| ..... | ..... |

## 9.2 Daten zu Kunststoffen

Einige Daten zum Thema Kunststoffe von PlasticEurope

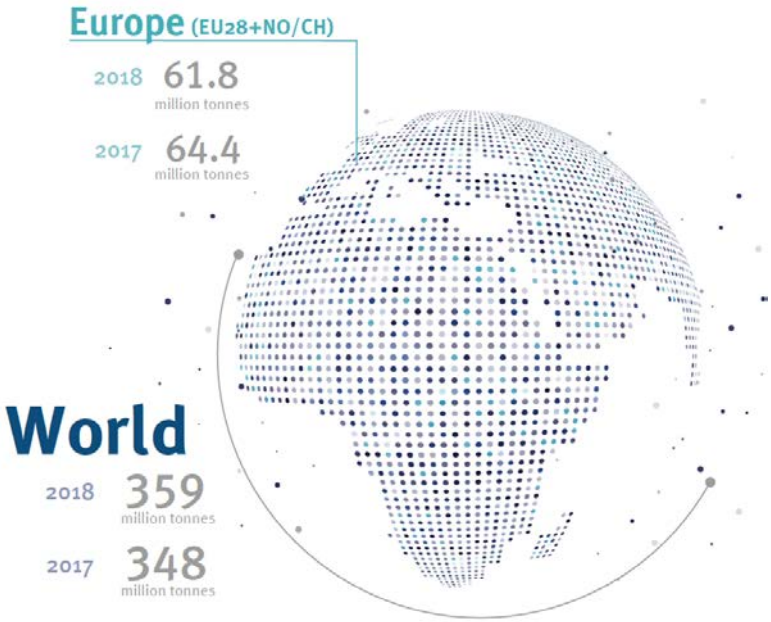



*Abb. 43: Kunststoff-Produktion*

Gemäss PlasticEurope werden 39.9% der Kunststoffe in der Verpackung und 19.8% im Immobilienbereich eingesetzt. Für den Bereich Elektronik und Elektrotechnik entfallen lediglich 6.2%.

*Abb. 44: Kunststoff Anwendung*

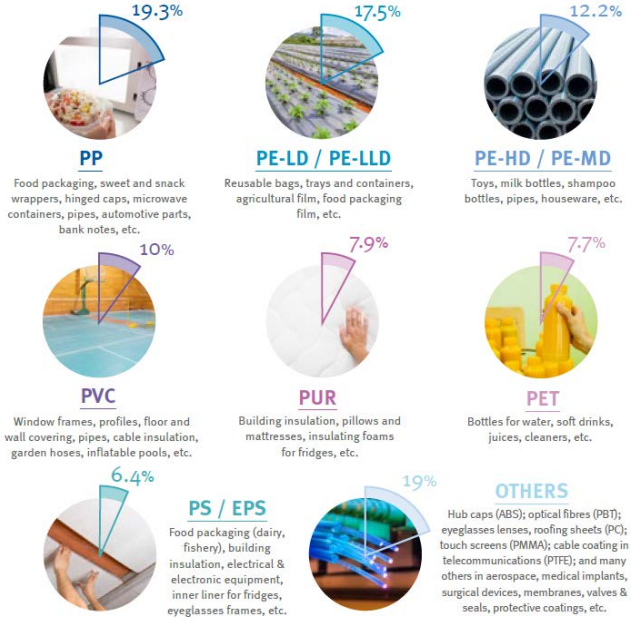



*Abb. 45 Kunststoff Arten*

19.3% der Kunststoffe sind aus Polypropylen. Aus Polyethylen sind 29.7% (17.5% und 12.2%) aller verwendeter Kunststoffe.

Das Recycling ist ein wichtiges Thema beim Verwenden von Kunststoffen. Leider werden noch immer zu viele der Kunststoff-Artikel auf Müllhalden entsorgt.

*Abb. 46 Kunststoff-Recycling*

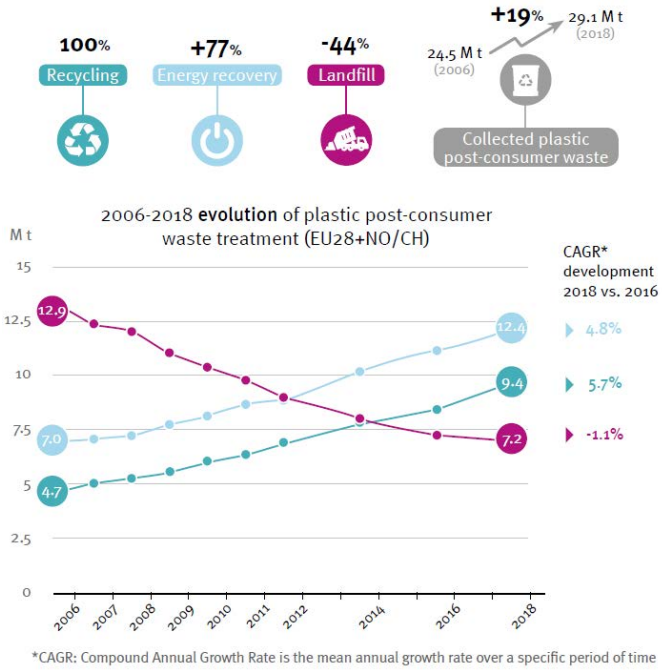



*Abb. 47: Kunststoff-Recycling*

Weitere Informationen zu Kunststoff: [http://www.plasticseurope.de](http://www.plasticseurope.de)

## 9.3 Geschichte der Kunststoffe

Ein kurzer, nicht vollständiger Abriss über die Kunststoffe.

| | |
|---|---|
| 1530 | Benediktinermönch Wolfgang Seidel stellt ein durchsichtiges Kunsthorn aus Ziegenkäse (Kasein) her. |
| 17./18. Jh. | Naturforscher in Brasilien und Malaysia entdecken milchigen Baumsaft (Kautschuk) |
| 1839 | Charles Goodyear stellt mit Kautschuk, Schwefel und Wärme zum ersten Mal Gummi her. |
| 1850 | Charles Goodyear stellt Hartgummi her. |
| 1909 | Technische Produktion von Bakelit, der erste synthetische Duroplast. |
| 1910 | Erst Richard Escales erwähnt zum ersten Mal den Namen „Kunststoff“ |
| 1912 | Fritz Klatte erhält das Patent für Polyvinylchlorid (PVC) |
| 1928 | Otto Röhm erhält das Patent für Polymethylmethacrylat (PMMA) |
| 1931 | Wallace Human Carothers erhält das Patent für Polyamid. (DuPont) |
| 1933 | Imperial Chemical Industries (ICI) stellt erstmals Polyethylen (PE) her. |
| 1934 | Herstellung von Epoxidharzen |
| 1937 | Perlon™ IG-Farbenindustrie, Polyamid) wird produziert |
| 1938 | Grossindustrielle Herstellung von Nylon™ (DuPont, Polyamid) |
| 1938 | Polytetrafluorethylen (Teflon™) |
| 1950 | starke Zunahme der Kunststoffe in Art und Produktionsmengen |

*Abb. 48: Kautschuk*

*Abb. 49: Bakelit*

*Abb. 50: PVC*

*Abb. 51: Nylon*

*Abb. 52: PET-Rohlinge*

*Abb. 53: Spritzguss-Teile*

*Abb. 5s4: Spritzguss-Teile*

## 9.4 Einteilung der Kunststoffe

Kunststoffe können wie folgt eingeteilt werden:

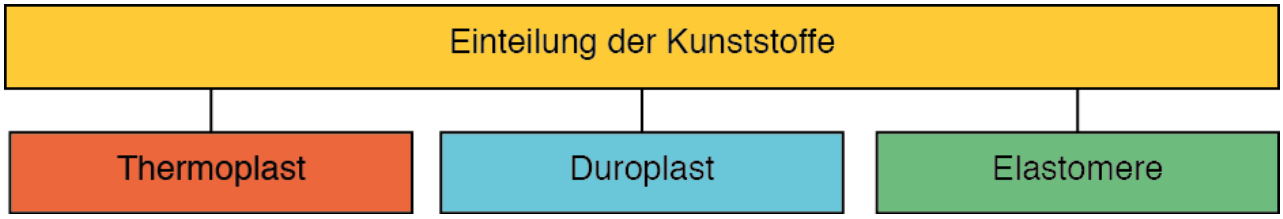



*Abb. 55: Einteilung der Kunststoffe*

Je nach Kunststoff-Art sind die Polymere unterschiedlich stark vernetzt. Bei den Duroplasten sind die Polymere am stärksten vernetzt und bei den Elastomeren am wenigsten stark.

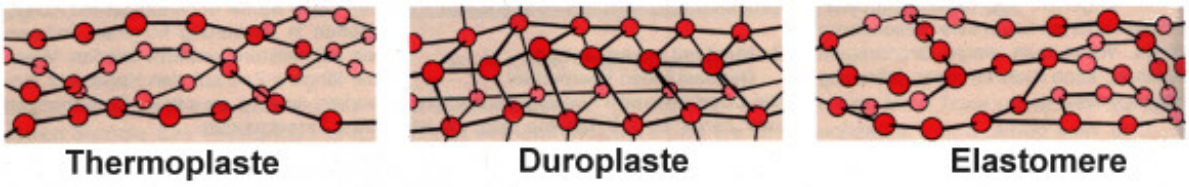



*Abb. 56: Vernetzung der Kunststoffe*

### 9.4.1 Grundlegende Eigenschaften der Thermo- & Duroplaste und Elastomere

| Thermoplast | Duroplast | Elastomer |
|---|---|---|
| Lineare, verzweigte Kettenmoleküle (Polymere) | Stark vernetzte Kettenmoleküle (Polymere) | schwach vernetzte Kettenmoleküle (Polymere) |
| Schmelzbar | Nicht schmelzbar | Nicht schmelzbar |
| Löslich | Unlöslich | Unlöslich |
| Weich bis hart zäh bei Raumtemperatur | Hart bei Raumtemperatur | Elastisch weich, gummig bei Raumtemperatur |

Zusätze können die **Eigenschaften** von Kunststoffen sehr stark beeinflussen.

## 9.5 Eigenschaften von Kunststoffen

Kunststoffe haben spezielle Eigenschaften, welche für sehr viele Anwendungen interessant sind und Eigenschaften, welche eher nachteilig für eine technische Lösung sind. Der Werkstoff „Kunststoff“ ist in einer sehr grossen Bandbreite erhältlich, so dass ich nur die wichtigsten Eigenschaften aufzählen kann. Hier eine grobe Auflistung von Eigenschaften der wichtigsten Kunststoffe.

### 9.5.1 Physikalische Eigenschaften

Die gegenüber anderen Werkstoffen geringe Dichte der Kunststoffe führt dazu, dass Formteile aus Kunststoff bei gleichem Volumen wesentlich leichter sind als solche aus Metall. Je nach Füllstoff der Kunststoffe kann sich die Dichte leicht ändern.

Die Dichte einiger Kunststoff im Vergleich bekannter Metalle und Hölzer

| Material | Dichte [kg/m³] |
|---|---|
| **Polyethylen (PE)** | 920...970 |
| **Polyvinylchlorid (PVC)** | 1200...1550 |
| **Polymethylmethacrylat (PMMA)** | 1190 |
| **Polyamid (PA)** | 1140 |
| **Aluminium** | 2700 |
| **Kupfer** | 8960 |
| **Fichte** | 470 |
| **Buche** | 690 |

### 9.5.2 Elektrische Eigenschaften

Zu den elektrischen und dielektrischen Eigenschaften von Kunststoffen gehören das elektrische Isolationsverhalten, das elektrische Festigkeitsverhalten und das dielektrische Verhalten. Sie sind abhängig vom verwendeten Werkstoff, der Teilegestaltung, der Temperatur und der Frequenz. Um Kunststoffe antistatisch auszurüsten und somit elektrostatische Aufladungen zu vermeiden, mischt man dem Kunststoff-Granulat leitfähige Stoffe (z.B. Ruß, Kohle- oder Stahlfasern) bei oder verwendet hygroskopische (Wasser anziehende), niedermolekulare Füllstoffe. Diese entziehen der Umgebungsluft Wasser und bilden so an der Oberfläche des Kunststoffes eine leitfähige Schicht.

| Material | Durchschlagsfestigkeit [kV/mm] | Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_r$ [1] |
|---|---|---|
| **Polyethylen (PE-LD / PE-HD)** | 30...45 / 80...100 | 2.4...2.3 |
| **Polyvinylchlorid (PVC)** | 40 | 3.5 |
| **Polymethylmethacrylat (PMMA)** | 20...30 | 2..2.7 |

### 9.5.3 Thermische Eigenschaften

Kunststoffe haben viel tiefere Einsatztemperaturen als Metalle. Einer der höchste Schmelzpunkt von Kunststoff (PEEK) beträgt 350°C. Kunststoffe weisen aufgrund ihres chemischen Aufbaus meist erheblich höhere thermische Ausdehnungskoeffizienten als metallische Konstruktionswerkstoffe auf. Beide Eigenschaften muss man bei einer möglichen Konstruktion berücksichtigen.

| Material | Einsatztemp. [°C] | Ausdehnungskoeff. [ppm/K] |
|---|---|---|
| **Polyethylen (PE)** | -50...80 | 220...280 |
| **Polyvinylchlorid (PVC)** | -15...60 | 70...80 |
| **Polymethylmethacrylat (PMMA)** | -40...75 | 70...90 |
| **Polyamid (PA)** | -40...100 | 70 |
| **Aluminium** | 660 | 23.1 |
| **Kupfer** | 1083 | 16.5 |
| **Wolfram** | 3380 | 4.5 |

### 9.5.4 Mechanische Eigenschaften

Grundsätzlich lassen sich Kunststoffe aufgrund ihrer unterschiedlichen Belastbarkeit in die Kategorien hart/spröde und zähelastisch unterteilen. Die mechanische Deformierung von Kunststoffen durch Spannung und Dehnung ist abhängig von Geschwindigkeit, Belastungsdauer, Art und Höhe sowie der Temperatur der Einwirkung.

| Material | E-Modul [N/mm²] | Zugfestigkeit [N/mm²] |
|---|---|---|
| **Polyethylen (PE-LD / PE-HD)** | 150 / 1000 | 10 / 29 |
| **Polyvinylchlorid (PVC-hart)** | 1000...3500 | 50...75 |
| **Polymethylmethacrylat (PMMA)** | 2940 | 20...80 |
| **Polyamid (PA)** | 3000 | 78 |
| **Aluminium** | 70000 | 69...78 |
| **V2A-Stahl** | 180000 | 492...690 |
| **Titan** | 110000 | 295...540 |

### 9.5.5 Chemische Eigenschaften

Abhängig von verschiedenen materialspezifischen Faktoren weisen Kunststoffe eine hohe chemische Beständigkeit gegen Mineralsäuren, Laugen und wässrige Salzlösungen auf. Teflon (PTFE) ist ein Kunststoff, welcher äusserst gute chemische Beständigkeit aufweist.

## 9.6 Herstellung von Kunststoffen

Kunststoffe werden mit drei Verfahren hergestellt. Über das genaue Herstellungsverfahren lernst du in der Berufsfachschule mehr. Hier eine kurze Übersicht als Einführung.

### 9.6.1 Polymerisation

Bei der Polymerisation ist die Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen entscheidend. Diese Doppelbindung wird aufgebrochen und die einzelnen Monomere können untereinander reagieren. Es entstehen lange Makromoleküle. Für die Eigenschaften des Kunststoffes ist die Länge dieser Kette von grosser Bedeutung.

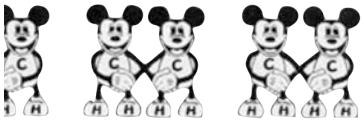


*Abb. 57: Monomere*

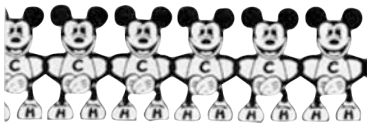


*Abb. 58: Polymere*

Typische Kunststoffe sind: Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)

### 9.6.2 Polykondensation

Bei der Polykondensation wird meistens Wasser abgespalten. Es werden zwei oder mehrere „funktionelle“ Gruppen gebraucht. Durch die Reaktion gibt es eine fortlaufende, lange Kette.

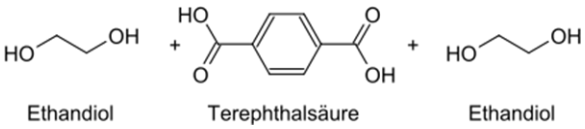



*Abb. 59: Edukte bei der Polykondensation*

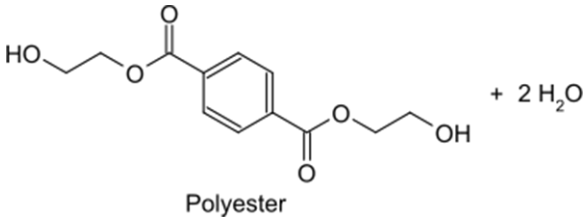



*Abb. 60: Produkt Polykondensation*

Typische Kunststoffe sind: Polyamid (PA) und Polycarbonat (PC)

### 9.6.3 Polyaddition

Die Polyaddition ist eine ähnliche Reaktion wie die Polykondensation, es wird jedoch kein Wasser abgeschieden. Auch bei der Polyaddition werden zwei oder mehrere „funktionelle“ Gruppen benötigt, welche durch die Reaktion fortlaufende, lange Ketten bilden.

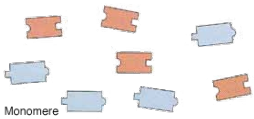



*Abb. 61: Monomere*

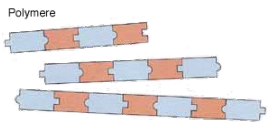



*Abb. 62: Polymere*

Typische Kunststoffe sind: Epoxiharz (EP) und Polyurethan (PUR)

### *Aufgabe: Kunststoffe und deren Eigenschaften*

Was für Kunststoffe kennst du? Wie sind die Eigenschaften und wozu werden sie verwendet? Diskutiere in einer 3'er Gruppe.

| Kunststoff | Eigenschaften | Anwendung |
|---|---|---|
| **Polyvinylchlorid (PVC)** | | |
| **Polyethylen (PE)** | | |
| **Polypropylen (PP)** | | |
| **Polycarbonat (PC)** | | |
| **Polyamid (PA, Nylon)** | | |
| **Polymethylmethacrylat (PMMA, Plexiglas)** | | |
| **Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon)** | | |
| **Polyethylenterephthalat (PET)** | | |
| **Polyetheretherketon (PEEK)** | | |
| **Polyoxymethylen (POM)** | | |

### *Aufgabe: Kunststoffe und deren Eigenschaften*

Erstelle ein Arbeitsblatt mit den abgegebenen Kunststoff-Mustern. Erwähne die wichtigsten Eigenschaften des Kunststoffes und mögliche Anwendungen.

## 9.7 Kaltfliessen der Kunststoffe

Ein grosses Problem für den Einsatz von Kunststoffen kann deren negative Eigenschaft des Kaltfliessens sein. Alle Kunststoffe fliessen unter Belastung.

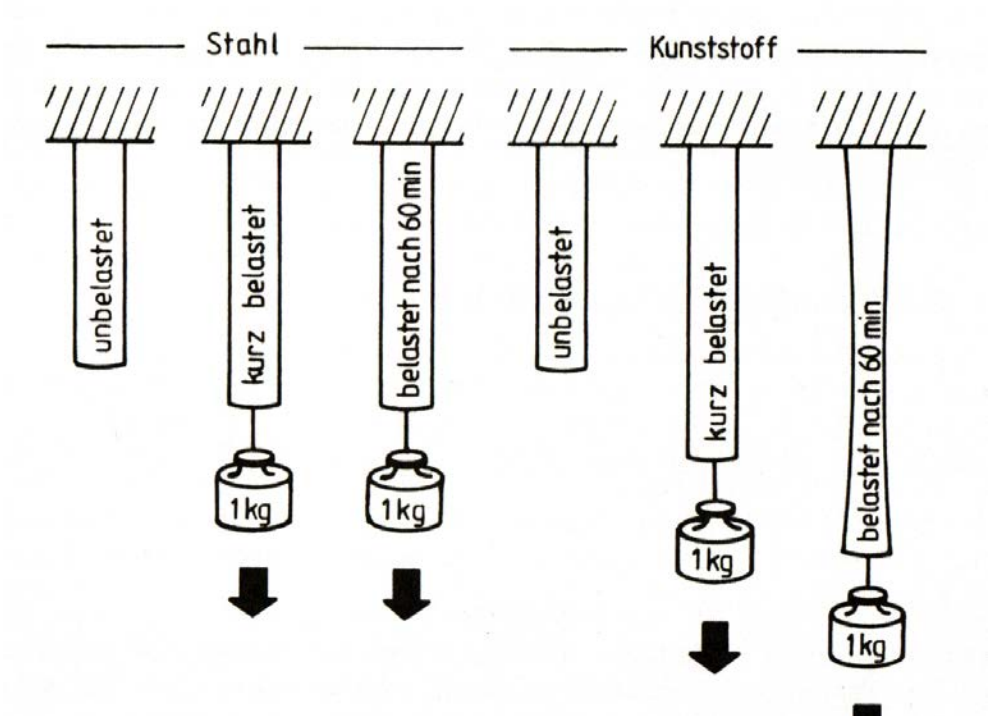



*Abb. 63: Charakteristik Kaltfliessen*

Im Gegensatz zu den Metallen gehen die Kunststoffe nicht in ihre Ausgangsposition zurück. Sehr ausgeprägt tritt das Kaltfliessen bei PTFE (Teflon) auf.

### *Aufgabe: Kaltfliessen von Teflon*

Spanne ein Stück Teflon zwischen 2 Unterlagscheiben und ziehe Schraube bzw. Mutter gut an. Was fällt dir auf?

.....

.....

.....

Teflon zeigt ein starkes **Kaltfliessen**!

## 9.8 Verarbeitung von Kunststoffen

Kunststoffe lassen sich sehr gut verarbeiten. Aufwendige Formen und grosse Stückzahlen sind überhaupt kein Problem. In diesem Script soll jedoch nur eine kurze Übersicht der wichtigsten Verarbeitungsverfahren aufgelistet werden.

### 9.8.1 Extrudieren

Im Extruder wird der Kunststoff erwärmt bis er teigig ist.
Über eine rotierende Schnecke wird nun der Kunststoff durch eine Form gedrückt und anschliessend gekühlt. Mit diesem Verfahren können Rohre, Stäbe, Platten und Profile hergestellt werden.

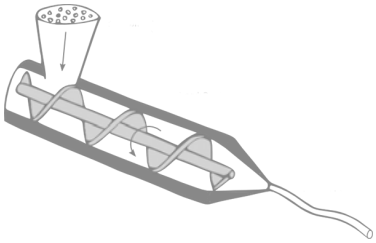


*Abb. 64: Extrudieren*

### 9.8.2 Extrusionsblasen

Ein warmes, plastisch formbares Kunststoff-Schlauchstück wird in eine Hohlform eingeführt. Sobald der Kunststoff-Schlauch in der Form ist, wird sie geschlossen und mittels Druckluft wird der Schlauch in die Form gedrückt. Die Form wird gekühlt und sobald der Kunststoff fest ist wird die Form wieder geöffnet. Dieses Verfahren eignet sich besonders gut zur Fabrikation von Hohlkörpern (Fässer, Kanister, ect.)

### 9.8.3 Spritzgiessen

Das Spritzgiess-Verfahren ähnelt dem Extrudieren. Bei diesem Verfahren wird die teigige Kunststoffmasse in eine gekühlte Form gespritzt. Sobald der Kunststoff fest ist, wird die Form geöffnet und das Spritzguss-Teil wird ausgeworfen. Durch Spritzgiessen können in grosser Geschwindigkeit vielfältige Kunststoffteile produziert werden.

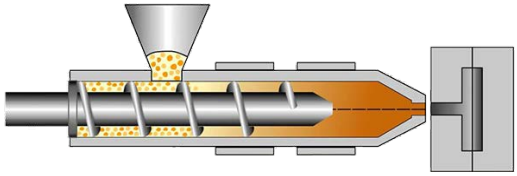


*Abb. 65: Spritzgiessen*

### 9.8.4 Formpressen

Eine definierte Menge von Kunststoff (Duroplast / Elastomer) wird in das erwärmte Form-Werkzeug eingebracht. Über einen Stempel wird der Kunststoff in die Form gedrückt. Der Kunststoff härtet an der warmen Form aus und wird über einen Auswerfer ausgeworfen. Das Formpressen eignet sich vor allem für Duroplaste oder Elastomere.

### 9.8.5 Kalandrieren

Die erwärmte Kunststoffmasse wird in den Kalandrierer (Walzwerk) gegeben und auf die gewünschte Dicke kalandriert. Nun wird der Kunststoff gekühlt und geschnitten bzw. aufgerollt. Dieses Verfahren eignet sich sehr gut für Folien und Platten. Mit diesem Verfahren können auch Folien mit mehr als einem Kunststoff oder mit mehreren Farben hergestellt werden.

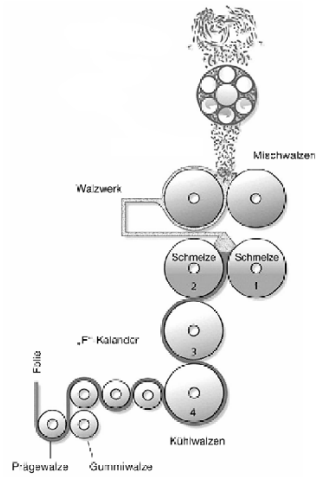
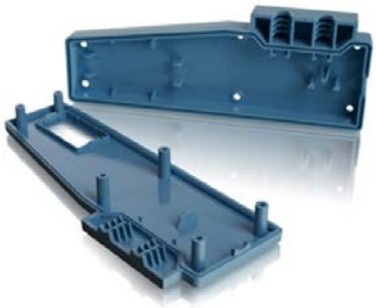


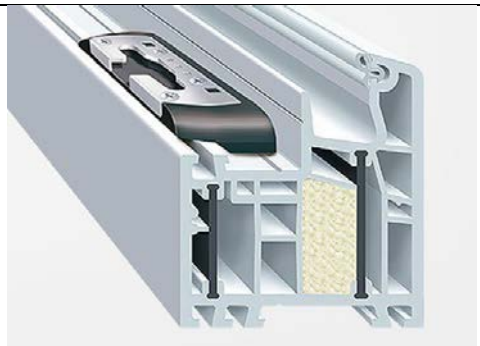

*Abb. 66: Kalandrieren*

### *Aufgabe: Herstellungsverfahren Kunststoff-Artikel*

Bespreche in einer 2'er Gruppe mit welchem Kunststoffverfahren folgende Artikel hergestellt wurden.







## 9.9 Kunststofferkennung

Es gibt sehr viele unterschiedliche Kunststoffe. Für die Verarbeitung, der Einsatz oder das Recycling ist es sehr wichtig, dass man die Art des Kunststoffes kennt. In diesem überbetrieblichen Kurs lernst du, wie man mit einfachen Mitteln einen unbekannten Kunststoff bestimmen kann. Je nach Füllmittel, Zusatzstoffe oder Weichmacher ist die Erkennung des Kunststoffes nicht sehr eindeutig.

***Aufgabe: Verfahren um Kunststoffe erkennen zu können?***

Diskutiere in 4'er Gruppen wie du Kunststoffe mit einfachen Methoden erkennen könntest.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

***Aufgabe: Bestimme die Kunststoff-Art der Musterproben?***

Bestimme in einer 2'er Gruppe die Art der Proben. Überlegt euch ein sinnvolles Vorgehen. Für die Bestimmung steht euch die Bestimmungstabelle zur Verfügung.

*Abb. 67: Kunststoff-Bestimmungsproben*

Atme den **Rauch** nicht direkt ein!

## 9.10 Weitere Informationen

| | | |
|---|---|---|
| - Erkennen von Kunststoffen | Dietrich Braun | 9 783446 432949 |
| - Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit | Arbeitsgem. Deutsche Kunststoffindustrie | |
| - Technologie der Kunststoffe | Christian Hopmann | 978-3-446-44233-7 |
| - Menges Werkstoffkunde Kunststoffe | Georg Menges | 978-3-446-42762-4 |
| - Experimente rund um die Kunststoffe | Georg Schwedt | 978-3-527-33503-9 |

http://www.plasticseurope.de
http://www.maagtechnic.ch/de_CH.html
http://www.centroplast.de/de/index.php

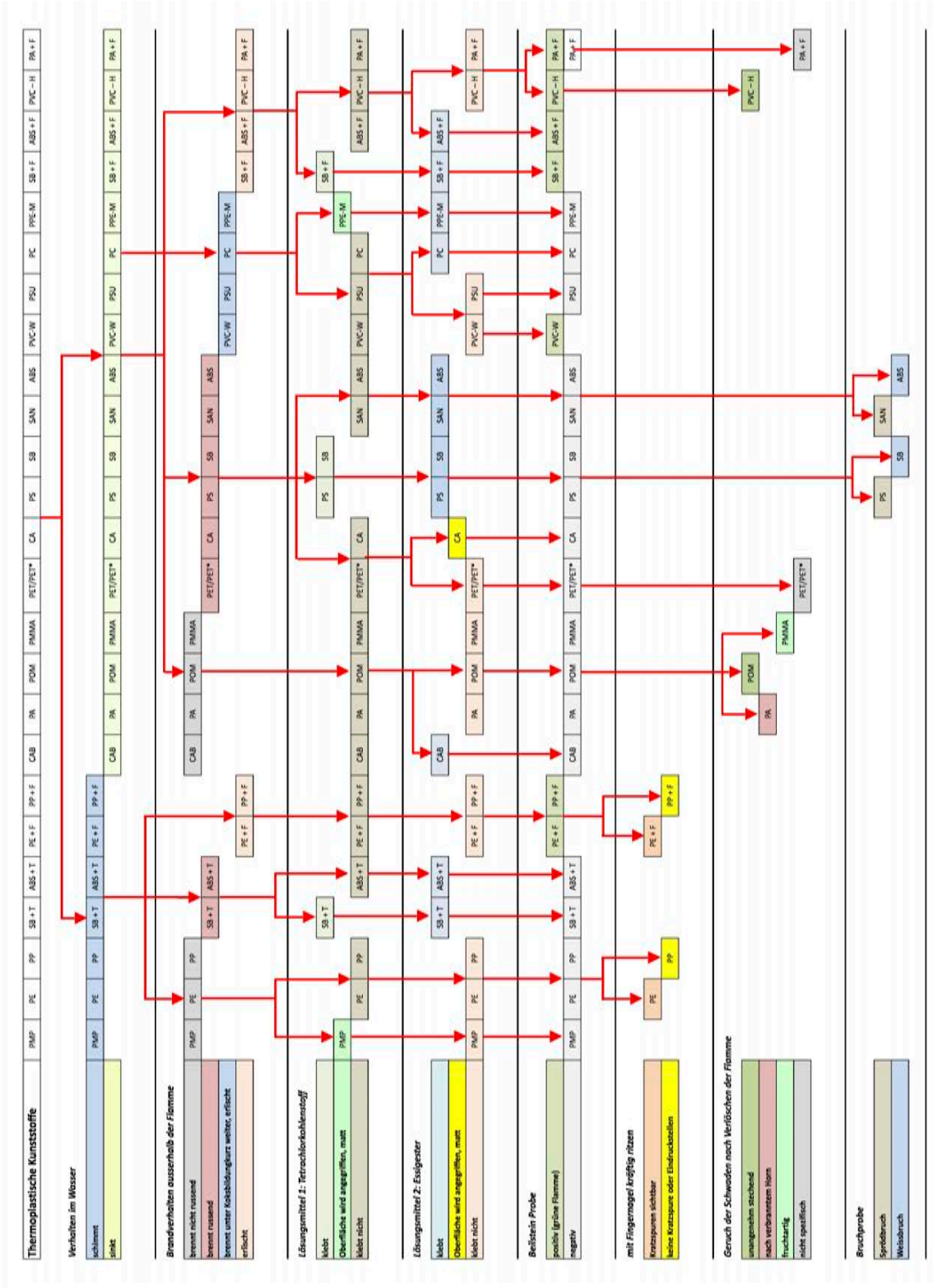



*Abb. 68: Kunststoff-Bestimmungstabelle*

# 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rost am Schiff, Dez.2015,
https://www.greenprophet.com/2012/11/energy-solar-rust-israel/
Abbildung 2: Martin Klöckner, Januar 2016
Abbildung 3: Chemische Korrosion, Dez. 2015,
https://www.hausjournal.net/ist-korrosion
Abbildung 4: Elektrochemische Korrosion, Dez. 2015,
https://www.rohrbruch-wenzel.de/faqs.html
Abbildung 5: Elektrochemische Spannungsreihe, Dez. 2015, https://www.feuerverzinken.com/wissen/arbeitshilfen/arbeitsblaetter/e-weiterverarbeitung/e5-kontaktkorrosion/Notizen und Fragen
Abbildung 6: Opferanode am Schiff, Dez. 2015,
https://www.das-modellbauforum.de/fm/index.php/Thread/3826-SAR-Fritz-Behres-Anna-malanders/?pageNo=2
Abbildung 7: Brückenlager, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 8: Gleisverwerfung, Dez. 2015,
http://www.kusieog.com/home/services/rail-projects
Abbildung 13: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung, Dez. 2015
Abbildung 14: Wärmestrahlung, Dez. 2015,
https://de.wikipedia.org/wiki/Wärmestrahlung
Abbildung 23: Spannungs-/Dehnungsdiagramm, Dez. 2015
https://de.wikipedia.org/wiki/Spannungs-Dehnungs-Diagramm
Abbildung 24: Spannungs-/Dehnungsdiagramm, Dez. 2015
https://de.wikipedia.org/wiki/Spannungs-Dehnungs-Diagramm
Abbildung 35: Prinzip der Reibung, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 36: Kräfte am Körper, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 37: Haft- und Gleitreibung, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 38: Kugellager, Dez. 2015,
http://kauppa.teollisuustasanto.fi/tuoteluettelo/2
Abbildung 39: Diverse Kugellager, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 42: Kunststoff-Granulat, „Kunststoff- Werkstoff unserer Zeit“
Abbildung 43...47: Nov,2020 https://www.plasticseurope.org/de
Abbildung 48: Kautschuk Baum, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 49: Bakelit Radio, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 50: PVC-Rohre, Dez. 2015,
https://www.battenfeld-cincinnati.com/de-de/anwendungen/rohr.html
Abbildung 51: Nylon, Dez. 2015,
https://www.pinterest.ch/pin/462674561695461578/
Abbildung 52: PET Rohling, Dez. 2015,
https://www.petrecycling.ch/de/wissen/pet-kreislauf
Abbildung 53: Spritzguss-Teile, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 54: Spritzguss-Teile, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 56...63: Dez. 2015 „Kunststoff- Werkstoff unserer Zeit“
Abbildung 64: Extrudieren, keine Angaben, Dez. 2015
Abbildung 65: Spritzgiessen, Dez. 2015,
https://www.youtube.com/watch?v=ABWJrh1OvBo
Abbildung 66: Kalandrieren, Dez.2015,
https://www.chemie-am-auto.de/kunststoffe/

Alle anderen Bilder und Grafiken: Cornel Andreoli 2015

# 11 Notizen und Fragen