

Leicht beieinander wohnen die Gedanken, doch hart im Raume stoßen sich die Sachen.

Friedrich Schiller

1. Einleitung

1.1 Was ist Materialwissenschaft?

1.1.1 Einige grundsätzliche Anmerkungen

- Was ist *Materialwissenschaft*? Manchmal ist man geneigt zu sagen, Materialwissenschaft ist, wenn die Physik oder die Chemie konkret und dann schwierig wird.
 - Denn zwei *reale* Kugeln, die sich hart im Raume stoßen, kümmern sich fast nie um die Stoßgesetze für *ideale* Massenpunkte, denn sie sind nicht aus idealem, sondern aus realem Material gemacht. Man denke zum Beispiel nicht nur an relativ ideale Stahlkugeln, sondern auch an Bleikugeln, Plastillinkugeln, Seifenblasen oder Glaskugeln - hohl oder solide.
 - Was beim Stoß dann passiert hängt von den *Materialeigenschaften* ab. Manchmal gehen die Kugeln einfach kaputt und zurück bleibt ein Scherbenhaufen - dies ist in der "reinen" Physik nicht vorgesehen.
 - Falls die Objekte etwas komplizierter sind als einfache Kugeln, wird auch der Stoß ganz schön kompliziert - was nach dem Stoß "herauskommt" kann ganz anders aussehen als das was "hineinging".
 - Leicht* - mit Newtonschen Grundgesetzen - ist es also, ideale Massenpunkte gedanklich zu stoßen; *schwer* ist es, dies für reale Materialien zu tun.
- Leicht*, im Fluge der Gedanken, ist es aber auch, die *Maxwell Gleichungen* so abzuändern, daß sie nicht nur im Vakuum sondern auch im *Material* gelten.
 - Dazu muß man nur pauschal die Dielektrizitätskonstante ϵ_r und die magnetischen Suszeptibilität μ_r einführen - einfach eine Zahl. *Schwer* ist es dagegen zu wissen, oder gar auszurechnen, warum ein Stück Quarz $\epsilon_r = 3,7$ hat.
- Um keinen Irrtum aufkommen zu lassen: Natürlich hat sich die Physik auch um diese Fragen gekümmert. Wo immer wir Materialwissenschaft betreiben, ist im Hintergrund immer die Physik zu finden - so wie auch bei der Elektrotechnik, dem Maschinenbau und in nahezu allen anderen technischen Disziplinen.
 - Es geht hier um die relative Bedeutung der Materialien, um die Anwendung, um Ergebnisse auch dann, wenn die "üblichen" physikalischen Methoden nicht mehr greifen.
- Wir bleiben mal bei den Glaskugeln, die, wenn sie sich hart im Raume stoßen, einfach kaputtgehen und zerbrechen. Wir fragen uns:
 - Warum* brechen sie?
 - Warum brechen zwei Stahlkugeln (oder Holzkugeln, oder Wachskugeln, oder ...) bei ähnlichen Bedingungen *nicht*?
 - Wir verallgemeinern diese Frage etwas zu der *Grundfrage*, die uns als Leitpfad für den ersten Teil dieser Vorlesung dienen soll:

Was passiert, wenn Materialien mechanisch belastet werden?

- Wir nehmen gedanklich mal ein beliebiges Material, und *hauen mit dem Hammer drauf*.
 - Interessanterweise wissen wir fast immer so ungefähr was passieren wird. Wir denken an alle Arten von Materialien - an *Metalle* (vom weichen Blei bis zum gehärteten Stahl), an *Steine*, an *Camembert*, an *Glas*, an *Silizium*, an *Gummi*, an *Holz*, an
 - Nach sehr kurzem Nachdenken weiß man so ungefähr was passieren wird - allerdings wird das Ergebnis auch davon abhängen, wie und von wem draufgehauen wird.
- Ein Hammerschlag gefolgt von einer Prosabeschreibung dessen was geschah, ist allerdings *unwissenschaftlich* - da schlecht reproduzierbar, im Detail schwer beobachtbar, kaum meßbar und überhaupt halt sehr *subjektiv*.
- Wir* machen deshalb selbst unsere Gedankenexperimente wie folgt: Intellektuell sauber (d.h. nicht im Konflikt mit bekannten Gesetzen des Wissenschaft), reproduzierbar, zeitlich leicht verfolgbar und in allen Details quantitativ meßbar - in anderen Worten: *wissenschaftlich* und *objektiv*.
 - Wir nehmen eine *genormte* Probe, z.B. einen Zylinder homogenen Materials.

- Wir drücken (oder ziehen) mit einer genau eingestellten *meßbaren Kraft*.
 - Wir *messen quantitativ* was passiert; z.B. ob die Probe länger, kürzer, dicker oder dünner wird; ob das nach Anlegen der Kraft schnell passiert, oder so allmählich, oder ob die Probe vielleicht sogar zerreißt.
- ▶ Damit haben wir (in Gedanken) schon fast einen *paradigmatischen Grundversuch* der Materialwissenschaft gemacht, den **Zugversuch**. Wir schauen uns das *später ein bißchen genauer an*, jetzt denken wir aber erst mal nur nach.

Übung 1.1-1

Der Hammerschlag

▶ Wir haben jetzt zumindest mal gesehen, daß Materialeigenschaften, die zwar jedermann geläufig sind, gar nicht so ganz selbstverständlich sind. Offenbar ist wichtig

- Was für *Atome* beteiligt sind (das "*Material*").
- Wie sind sie untereinander verbunden (die Natur der *chemischen Bindung*).
- Wie das Material atomar aufgebaut ist (das *Gefüge*).
- Welche *Temperatur* vorliegt.
- Welche weiteren *Parameter*, die wir noch gar nicht beachtet haben (z. Bsp. der Druck), auch noch Einfluß haben könnten.

▶ Wir machen jetzt noch einen anderen Gedankenversuch: Wir nehmen unsere Materialien von vorhin; nehmen auch gerne noch einige neue Materialien dazu - zum Beispiel Silizium (**Si**) und Galliumarsenid (**GaAs**), und legen jetzt keine *mechanische* Kraft, oder präziser gesagt, *mechanische Spannung* (= Kraft pro Fläche) an, sondern eine *elektrische Spannung*.

- Die Frage ist dann: Fließt elektrischer *Strom*? Wieviel? Steigt der Strom linear mit der Spannung? Ändert sich was beim Umpolen der Spannung? Was passiert, wenn wir die Probe erhitzen oder kühlen? Auch dazu wollen wir ein wenig nachdenken

Übung 1.1-2

Elektrische Spannung anlegen

▶ So allmählich wird klar, worauf das ganze hinausläuft: Ein Teil der Definition von Materialwissenschaft ist die Frage nach den **Eigenschaften** von Materialien: Mechanische, elektrische, magnetische, thermische, usw. Eigenschaften; erklärt und verstanden aus dem **atomaren Aufbau**. Daraus folgt das erste Ziel des Materialwissenschaftlers:

Sage mir den exakten atomaren Aufbau eines Materials, und ich sage dir was für Eigenschaften es haben wird.

▶ Kein leichtes Ziel, nicht mal für *simple einatomige Materialien* mit dem *einfachst möglichen* Aufbau - das sind *perfekte Kristalle*. Wer's nicht glaubt beantwortet (ohne Messung oder Auswendigwissen) folgende Fragen:

- *Es ist Eis (H₂O)*: Bei welcher Temperatur schmilzt es?
- Es ist ein *perfekter Kobalt-Kristall*: Was für einen Kristallgittertyp hat er bei Raumtemperatur? Bei **700 °C**?
- Es ist ein *perfekter Kobalt-Kristall*: Ist er "magnetisch" Warum? Auch bei **700 °C**?

▶ Diese simplen Fragen kann niemand *quantitativ* beantworten, d.h. ausrechnen (daß man es vom Hörensagen weiß, gilt natürlich nicht!).

- Natürlich gehören diese Fragen zum großen Bereich der Physik (oder Chemie?), aber es wäre falsch, jetzt zu glauben, daß Materialwissenschaft nur ein Seitenzweig der Physik (oder Chemie) ist. Denn Materialwissenschaft geht auch da noch weiter, wo die (reine) Physik (oder Chemie) aufhört.

▶ Zu den Eigenschaften der Materialien, die für Materialwissenschaftler wichtig sind, gehören eben *auch* noch:

- Die *zeitlichen Änderungen der Eigenschaften* (Materialermüdung, Korrosion, Auflösung von Materialverbänden,...)
- *Ästhetische Eigenschaften* (die "*Anmutung*"). Wie fühlt sich ein Material an? Wie sieht es aus?
- *Ökonomischen Eigenschaften*: Kosten der Gewinnung, Verarbeitung, Entsorgung,..
- *Ökologischen Eigenschaften*: Gefahrkategorien, Abbaubarkeit, Recyclingfähigkeit,..

▶ Häufig dominieren diese "*auch noch*" *Eigenschaften* die Arbeit in der Praxis.

- Ein Beispiel dafür ist die **Solarenergie**. Die Funktion von **Solarzellen** ist - von der Physik her betrachtet - extrem gut verstanden.
 - Das "einzige" Problem ist es seit Jahren, Solarzellen *billig* zu machen; daran arbeiten ganze (Material)forscher-Heerscharen seit vielen Jahren. Ähnliches gilt für große Teile der **Mikroelektronik**, denn das *Machen* eines **Chips** ist ein Thema der Materialwissenschaft.
- ▶ Wenn wir das Stichwort [Materialeigenschaften](#) derart geräumig auffassen, dann wird die damit befaßte Wissenschaft sich von der Physik/Chemie genauso unterscheiden, wie beispielsweise die Elektrotechnik oder der Maschinenbau von der Physik.
- ▶ Auf dieser Basis soll nun eine erste Definition von Materialwissenschaft versucht werden.

Materialwissenschaft
 ist die Wissenschaft von den
Eigenschaften der Materialien, den
 (physikalischen, chemischen, wirtschaftlichen
 oder sonstigen)
Ursachen dieser Eigenschaften, und damit der
 wissenschaftlich begründeten
Materialauswahl,
Materialherstellung und
Materialanalyse für technische Anwendungen.

- ▶ Es folgen einige Beispiele dazu aus der laufenden Forschung - in Form einer Stichwortliste. Es handelt sich immer um "Dinge", die wir gerne hätten, und die *ausschließlich* Objekt der Materialwissenschaft sind:
- *Korrosionsbeständige* Magnesium (**Mg**) - Legierungen.
 - Geeignete Materialien für *Brennstoffzellen*.
 - Dielektrika mit *kleinen* Dielektrizitätskonstanten (und vielen anderen Eigenschaften) für die nächste Chipgeneration.
 - Dielektrika mit *großen* Dielektrizitätskonstanten (und vielen anderen Eigenschaften) für die nächste Chipgeneration.
 - Materialien und Technologien für *billige* Solarzellen.
 - *Hochtemperaturfeste* Turbinenschaufeln.
 - *Duktile* keramische Supraleiter.
 - Bessere *Batterien und Akkus*.
- ▶ Wer es nun ein bißchen genauer wissen will (oder noch mehr Sprüche ertragen kann), sollte mal ein paar Links probieren:
- [Studieninformationsblatt der CAU zur Materialwissenschaft](#)
Sachlich, ausführlich und (fast) immer leicht veraltet.
 - [Was heißt und zu welchem Ende studiert man Materialwissenschaft?](#)
Polemisch und hinterfotzig.
 - [Ist der Stein der Weisen aus Silizium?](#)
Bekanntes und weniger Bekanntes zum Leitmaterial unserer Zeit
- ▶ Außerdem sind die in der ersten Vorlesungswoche verwendeten Powerpoint Präsentationen zugänglich:
- [Teil 1](#): Hephaistos, Aphrodite, und ein verlorenener Kopf.
 - [Teil 2](#): Ist Silizium der Stein der Weisen?