

## 1.1.2 Fokus auf Kristalle

### Kristall = Ordnung

Materialien umfassen zunächst alles außer Vakuum. In der Regel konzentrieren wir uns auf halbwegs homogene Materialien, aber auch für viele Kombinationen halbwegs homogener Materialien. Die Hauptgruppen sind:

- **Gase und Plasma** (ionisiertes Gas) Ohne Plasmatechnik keine Mikroelektronik - trotzdem lassen wir das hier weg.
- **Flüssigkeiten**. Können im Zentrum der MaWi stehen (z.B. die "**Flüssigkristalle**"), lassen wir hier aber weitestgehend weg. Materialwissenschaftler, die bevorzugt mit Flüssigkeiten und Gasen arbeiten, kennt man auch unter dem Begriff "**Chemiker**".
- **Feststoffe** oder Festkörper.

Spannend sind auch Zwischenformen:

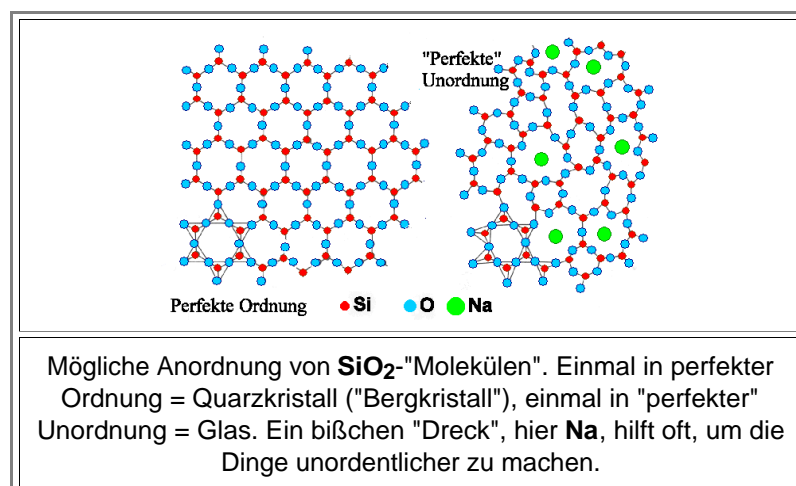
- Schleim = Biologie
- "Flüssigkristalle", Festkörper"elektrolyte", ..
- Schmelzen von Metallen und Halbleitern wie Si

**Festkörper** = primäres Thema dieser Vorlesung

Festkörper gibt's in zwei Extremen:

1. Anordnung der beteiligten Atome / Moleküle ist in perfekter Ordnung = **perfekter Kristall**. In der Nähe dieses Extrems kommen manche Edelsteine, z. B. der Diamant, und das für die Mikroelektronik benötigte Silizium.
2. Anordnung der beteiligten Atome / Moleküle in perfekter Unordnung. Diesem Extrem kommen manche amorphe Gläser und viele Kunststoffe = Polymere nahe.

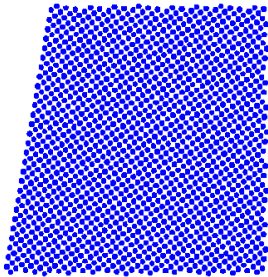
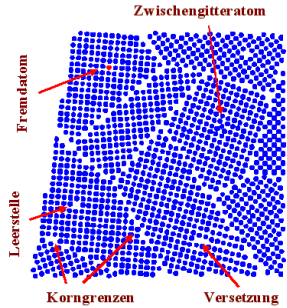
Der typische Festkörper liegt irgendwo zwischen den Extremen, ist aber eher halbwegs ordentlich aufgebaut als vollständig unordentlich.



Die Bilder erlauben eine erste Definition von Ordnung vs. Unordnung:

- Wieviel Bits braucht man zur Beschreibung? Perfekte Ordnung = kleinstmögliche Anzahl. Beim perfekten Kristall reicht es z. B. zu konstatieren: setze Baublock (= **SiO<sub>2</sub>**-Molekül) auf Koordinate **(0, 0, 0)**. Wiederhole auf Koordinaten **a · (h, k, l)**, **a** = Abstand, **h,k,l** = Integers. Für perfekte Unordnung: müssten wir dagegen einen Satz von **N** Vektoren (**N** = Zahl der Atome) angeben.

Das Thema hier in der Vorlesung werden überwiegend die nicht so ganz perfekten Kristalle sein:

	
<p align="center"><b>Einkristall</b></p> <p>Perfekter Kristall (vorausgesetzt, man extrapoliert das Bild ins Unendliche). Oberfläche = Imperfektion. Halbwegs typisch für bestes <b>Si</b>.</p>	<p align="center"><b>Polykristall</b></p> <p><i>Poly</i>-Kristall, aus kristallinen <b>Körnern</b> mit diversen Defekten oder Kristallbaufehlern. Halbwegs typisch für alle Gebrauchsmetalle etc.</p>

Wichtig ist jetzt der folgende Merkspruch:

## Merke

- Die meisten bekannten Materialien außerhalb der Welt der Biologie und der "Kunststoffe" sind Kristalle mit diversen Defekten, auch Kristallbaufehler genannt.
- Kristallbaufehler bestimmen viele Eigenschaften der Materialien.
- Kristallbaufehler ermöglichen "Materials Engineering" und machen deshalb Materialien interessant.

Der 2. Punkt erklärt nebenbei das Rätsel aus [Modul 1.1.1](#): Warum können Eigenschaften bei gleicher Chemie verschieden sein? Antwort: Die **Art und Zahl der Defekte** ist verschieden!

Besonders spannend (für Materialwissenschaftler) sind natürlich die Absonderlichkeiten, die nicht ins Schema passen, wie z.B. die amorphen Metalle oder Dinge wie "[Quasikristalle](#)", die wir hier aber ignorieren.

Hier mal einige wichtige Kristalle für die Elektrotechnik:

Wichtige Kristalle in der Elektrotechnik		
Halbleiter	Metalle / Leiter	Sonstige
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Si, GaAs, InP, GaP, GaN, Ge, ...</b></li> <li>– "CIS" (<b>CuInSe<sub>2</sub></b>), <b>CdTe</b>, ...</li> <li>– <b>SnO<sub>2</sub>, ZnO, ...</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Cu, Al, Ag</b> (Legierungen) für "Drähte"</li> <li>– <b>Au, W, Ta, ...</b> für spezielle Bauelemente</li> <li>– <b>Fe, Ni, Co</b> (und Legierungen davon) sowie <b>Co<sub>5</sub> Sm, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B, ...</b> für "magnetische" Anwendungen</li> <li>– <b>TaSi<sub>2</sub>, NiSi<sub>2</sub>, ..</b> für Chips</li> <li>– <b>ITO</b> ("Indium Tin Oxide"), ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dielektrika</li> <li>– Ferroelektrika</li> <li>– Piezomaterialien</li> <li>– "Schwingquarze"</li> <li>– Materialien für Widerstände, Heizer (z.B. <b>MoSi<sub>2</sub></b> oder Graphit)</li> <li>– Glimmer (?)</li> <li>– Supraleiter, insbesondere die Abkömmlinge von <b>YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub></b> (<b>Yttrium-Barium-Kupfer-Oxid</b>; ein paradigmatisches Material!)</li> </ul>

Wichtige amorphe Materialien in der Elektrotechnik		
Halbleiter	Kunststoffe	Sonstige
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amorphes <b>Si</b> (Solarzellen)</li> <li>– Organische Halbleiter ("<b>OLED</b>")</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>PVC</b>, Teflon, ...</li> <li>– Isolation und "low <math>\epsilon</math>"</li> <li>– Leitende Polymere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Photolacke ("Resists") für Chip- und Platinenherstellung.</li> <li>– Glas ("Bildröhre")</li> </ul>