

Der Politiker ist ein Akrobat. Er hält das Gleichgewicht dadurch, daß er das Gegenteil von dem sagt, was er tut.

Maurice Barrès

5. Thermodynamisches Gleichgewicht

5.1 Mechanisches, thermisches, chemisches und thermodynamisches Gleichgewicht

5.1.1 Allgemeine Bemerkungen

- Reale kristalline Materialien, die in der Natur vorkommen, sind *nie* perfekte Kristalle, *nie* ganz rein und *nie* ganz homogen. Für nichtkristalline Materialien ist es ähnlich - nur schwieriger zu formulieren.
 - Aber auch *künstlich* hergestellte Kristalle sind *nie* ganz perfekt - woran liegt das? Welches Prinzip verbietet **Perfektion** nicht nur bei komplizierten lokalen Häufungen kohlenstoffbasierter Schleimbeutel, sondern auch bei simplen Kristallen?
- Man könnte sich die Antwort einfach machen: Wenn Ausgangsmaterialien nicht ganz rein sind, wird ein Kristall der sich beim Abkühlen einer Schmelze bildet, eben auch nicht ganz rein sein können.
 - Schon wahr - aber zumindest für die Bereiche, die als *erste* kristallisieren, müßte das nicht so sein. Hier besteht ja noch die Option, die "falschen" Atome einfach nicht in den Kristall einzubauen, sondern in der Schmelze zu lassen. Der ganz zum Schluß kristallisierende Teil muß dann den ganzen Dreck konzentriert enthalten, das ist klar.
 - So ähnlich läuft es auch beim Kristallisieren: Die in der Schmelze in irgendeiner Konzentration c_0 vorhandenen Fremdatome werden zunächst *nicht* mit dieser Konzentration in den sich bildenden Kristall eingebaut, sondern mit einer anderen, oft viel kleineren. Perfektion wäre also möglich - aber *nie* ist die Konzentration im Kristall = Null!
- Ein wachsender Kristall hat ganz eindeutig am Anfang des Kristallisationsprozesses die Möglichkeit, sich seine Fremdatomkonzentration auszusuchen, aber *nie* wählt er die Konzentration Null, sondern immer eine ganz bestimmte, für ihn besonders "vorteilhafte" Konzentration. Welches Prinzip liegt dem offenbarem Hang zur gezielten Imperfektion, zu einem definierten Grad an Unordentlichkeit zugrunde?
 - Die Antwort steckt in der Verknüpfung des Bestrebens nach minimaler Energie - und das ist oft nur ein anderes Wort für das Bestreben nach maximaler *Perfektion* oder *Ordnung* - mit dem offenbar ebenfalls vorhandenen *Trend zur Unordnung*. Führt man diesen Gedanken weiter aus, erhält man folgende Verknüpfungen:
 - Minimale Energie = maximale **Perfektion** = *Maximale* Ordnung = *unwahrscheinlich*.
- Ein gewisses Maß an Unordnung in einem System ist einfach wahrscheinlicher; es gibt dann viel mehr Möglichkeiten die "Dinge", die das System bilden, irgendwie anzuordnen.
 - Als Beispiel für ein **System** kann man sich 10^{22} **Si** Atome vorstellen und über ihre Anordnung in einem gegebenen Raum nachdenken - als Gas, als Flüssigkeit, als Kristall. Aber man kann sich genau so gut sein Zimmer oder seinen Schreibtisch vorstellen, mit all den Dingen - von Pullover über die einzelne Socke bis zur Büroklammer - die im gegebenen Raum irgendwie angeordnet sind.
 - Bei maximaler **Ordnung** gibt es jedenfalls immer nur die *eine* Möglichkeit der Anordnung: *Jedes Ding an seinem Platz*. Aber das Prinzip maximaler Ordnung greift offenbar nicht - es ist so gut wie nie verwirklicht!
- Wir lernen damit ein *fundamentales Naturgesetz* kennen (auch bekannt als **2. Hauptsatz der Thermodynamik**): Ein gewisses Maß an Unordnung ist "besser" für ein System, als vollständige Perfektion.
 - Wie kann man das quantifizieren? Wie mißt man den Grad an Ordnung? Und welche Zusammenhänge gibt es zwischen dem Grad an Ordnung und anderen Systemparametern; bei dem System "**Si** Atome" z.B. die leicht *meßbaren* Parameter Temperatur und Druck?
 - Im *Zimmer - Socken etc.* System" sind die *physikalische* Temperatur und der *Luft*druck natürlich nicht die wichtigen Parameter, sie werden den Ordnungsgrad nicht beeinflussen. Der von der Mutter ausgeübte *Ordnungs*druck und die *Beziehung*temperatur wären dann bessere Parameter. Aber das ist da kein physikalisches System mehr und nicht mehr durch simple Gleichungen eindeutig zu beschreiben.
- Aber die beiden guten alten Systemparameter Temperatur und Druck reichen nicht mehr aus, um die jetzt gestellten Fragen quantifizieren zu können.
 - Um hier weiter zu kommen, müssen wir erst einige neue Begriffe einführen, insbesondere den Zentralbegriff der **Entropie**, und darauf aufbauende Begriffe wie die **freie Energie** bzw. **freie Enthalpie**, und insbesondere den Begriff des **thermodynamischen Gleichgewichts**.

Wir beginnen mit einer Präzisierung des altbekannten **Zustands des Gleichgewichts**. Jeder kennt das Wort; die meisten denken sofort an eine Schaukel (Wippe), einen Seiltänzer, eben ans "*Gleichgewicht halten*" - und damit nur an das sogenannte *mechanische* Gleichgewicht.

- In anderen Worten: Wir denken zuerst an einen *mechanischen* Vorgang. **Mechanisches Gleichgewicht** ist offenbar dann gegeben, wenn sich nichts mehr im Raum ändert, sich nichts mehr *bewegt*.
- Der Seiltänzer, der vom Seil fällt, ist sicher nicht im Gleichgewicht, ebensowenig die Wippe, die noch auf und ab geht.
- Wir werden den Begriff des Gleichgewichts im nächsten Unterkapitel näher anschauen und erweitern.

Fragebogen

Multiple Choice Fragen zu 5.1.1