

Kapitel 3:

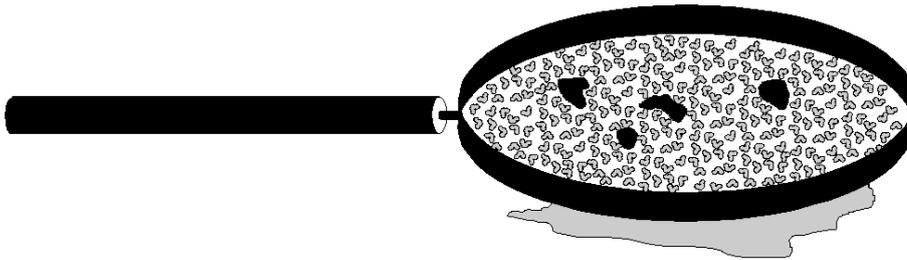
Die Bewegung der Stoffteilchen

In den bisherigen beiden Kapiteln ging es allein um die Charakterisierung der Bausteine der Materie. Zuerst wurden die Teilchen beschrieben, aus welchen die Atome bestehen, anschließend wurde gezeigt, wie Atome die Stoffteilchen bilden, welche in ihrer Vielzahl die Stoffe aufbauen.

Wären die Stoffteilchen ähnlich unbeweglich wie die Ziegel eines Hauses, wären viele Effekte in der Natur nicht beobachtbar: Flüssigkeiten, Feststoffe, Gase, Luftdruck, ja sogar jegliche Umwandlung eines Stoffes in einen andern wäre nicht möglich, wenn nicht die Stoffteilchen in ständiger Bewegung wären. Diese Bewegung wurde zuerst vom Physiker Brown beobachtet und wird deshalb auch Brownsche Bewegung genannt. Diese Entdeckung war damals eine Sensation und die Aristokratie riss sich darum, sich dieses Phänomen von Brown vorführen zu lassen.

Zu sehen war unter dem Mikroskop das Zittern von Rußteilchen in Wasser. Dieses Zittern erklärt man sich damit, dass noch kleinere, nicht sichtbare Teilchen (Wassermoleküle) in ungeordneter Bewegung an die größeren Rußteilchen stoßen, welche von allen Seiten gestoßen eine Zitterbewegung ausführen.

In diesem Kapitel geht es nun darum, diese für die Chemie wichtige Eigenschaft der Stoffteilchen und einige mit diesem Phänomen gekoppelten Eigenschaften der Stoffe näher zu erläutern



⇒ Wärmeübertragung,
Wärmeausdehnung, Flüssigkristalle,
Zusammensetzung der Luft

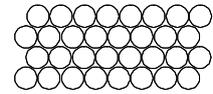
Die Aggregatzustände

Kapitel 3: Die Bewegung der Stoffteilchen

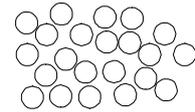
Wasser ist flüssig, Kochsalz ist fest, Luft (78% N₂, 21% O₂, wenig Edelgase, CO₂ und weitere Stoffe) ist ein Gasgemisch. Diese Einteilung nehmen wir oft etwas allzu leichtfertig vor. Es gibt auch Wassergas, besser Wasserdampf oder festes Wasser (Eis). Wie Wasser können viele Stoffe sowohl im festen als auch im flüssigen und gasförmigen Zustand vorkommen. Weil es sich in allen Zuständen chemisch um den gleichen Stoff handelt, müssen auch die Stoffteilchen dieselben sein. Offenbar unterscheiden sich die drei möglichen Zustände der Stoffe in der Art und Weise, wie sich die Stoffteilchen zum Stoff "versammeln". Einen bestimmten Zustand der Materie nennt man Aggregatzustand (ital. aggregare = ansammeln).

Die Ansammlungen der Stoffteilchen in den drei Aggregatzuständen (Phasen) fest, flüssig und gasförmig sehen wie nebenstehend abgebildet aus. (Die Kügelchen sind je nach Stoffart entweder Atome in Metallen, Atome in Edelgasen, ganze Moleküle in molekularen Stoffen oder Ionen/mehratomige Ionen in Ionenverbindungen).

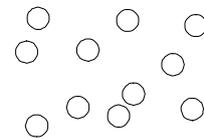
Viele Reinstoffe (Stoffe, welche nur die in der Stoffformel vorkommenden Teilchen enthalten) sind im festen Zustand kristallin. Da die Stoffteilchen in Feststoffen ihre Positionen nicht wechseln, müssen anziehende Kräfte zwischen den Stoffteilchen, sog. Kohäsionskräfte, dafür sorgen, dass die Teilchen auf ihren Gitterplätzen bleiben. Im Fall der Salzkristalle sind diese Kräfte bereits bekannt: Es handelt sich um die anziehenden elektrostatischen Kräfte zwischen positiven und negativen Ionen. Bei Metallkristallen handelt es sich um die anziehenden Kräfte, hervorgerufen durch das frei bewegliche Elektronengas. Die Kräfte, welche zwischen Molekülen und Edelgasatomen wirken, werden im nächsten Kapitel behandelt. In einer Flüssigkeit können die Stoffteilchen ihre Positionen wechseln und voneinander abgleiten, was die Beweglichkeit von Flüssigkeiten erklärt. Trotzdem müssen immer noch (geringere) Kräfte zwischen den Stoffteilchen wirken, weil auch Flüssigkeitstropfen einen inneren Zusammenhalt haben. Erst in Gasen scheint es keinen inneren Zusammenhalt mehr zu geben. Gase sind leicht beweglich und müssen in allseits abgeschlossen Gefäßen aufbewahrt werden.



fest : engl. solid (s)



flüssig : engl. liquid (l)



gasförmig : engl. gaseous (g)

L 22

Fragen zu L 22

1. Warum lassen sich feste und flüssige Stoffe kaum zusammendrücken?
2. In welchem Aggregatzustand ist der Stoff in der Regel am dichtesten?
3. Als Dampf bezeichnet man ein (absolut durchsichtiges) Gas, welches bei Raumtemperatur zu einer Flüssigkeit kondensieren kann. Nebel hingegen sind feinstverteilte Wassertröpfchen in der Luft, an denen das Licht gestreut wird. Ist das, was wir in der Regel als Dampf bezeichnen (z.B. über einer dampfenden Suppe) wirklich Dampf?

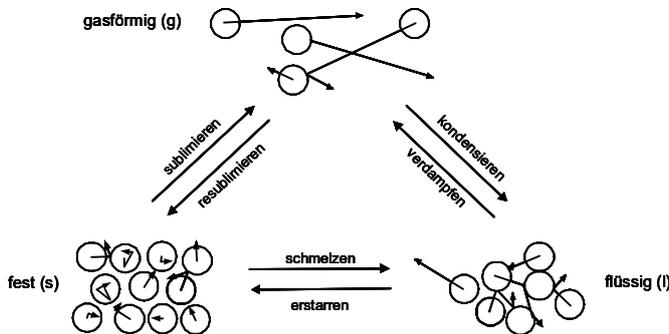
Die Wärmebewegung

Bei Atmosphärendruck ist Wasser bis 0°C fest, von $0 - 100^{\circ}\text{C}$ flüssig und oberhalb von 100°C gasförmig. Definierte Positionen an Gitterplätzen nehmen Stoffteilchen nur bei niedrigen Temperaturen, bei wenig Wärme, ein. Die Aggregatzustände sind also temperaturabhängig (und druckabhängig). Wird die Temperatur erhöht, vermögen die herrschenden anziehenden Kräfte die Teilchen nicht mehr auf ihren Positionen zu halten, der Stoff wird flüssig, er schmilzt. (Die Bezeichnungen für die anderen Phasenübergänge können der untenstehenden Abbildung entnommen werden).

Aggregatzustandsänderungen bei Änderung der Temperatur sind nur ein Indiz dafür, dass Wärme etwas mit der Bewegung der Teilchen zu tun hat. Weitere Experimente können belegen, dass die Bewegung der Stoffteilchen das ist, was wir als Wärme empfinden und dass die Temperatur ein Maß für die Stärke der Bewegung der Stoffteilchen ist. Je wärmer ein Stoff ist, desto stärker sind die Bewegungen der darin enthaltenen Teilchen. Bewegen sich Stoffteilchen praktisch nicht, so hat der Stoff die kälteste mögliche Temperatur. Sie beträgt -273.15°C und wird als absoluter Nullpunkt bezeichnet. Absolute Temperaturen werden in Kelvin [K] gemessen, wobei das Temperaturintervall von 1 K einem Temperaturintervall von 1°C entspricht. Die Kelvin-Skala kennt keine Minustemperaturen. Was wir als 0°C bezeichnen, ist in der Kelvin-Skala bereits $+273.15\text{ K}$ (gerundet $+273\text{ K}$).

Natürlich bewegen sich bei einer bestimmten Temperatur nicht alle Teilchen gleich schnell. Sie stoßen fortwährend aneinander, werden gebremst und beschleunigt. Maßgebend für die Temperatur ist deshalb die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen. Bei einem bestimmten Stoff sieht die Bewegung der Teilchen in den drei Aggregatzuständen wie unten abgebildet aus: (Die Geschwindigkeit ist proportional zu der Länge der Pfeile).

In jedem Aggregatzustand hat es ganz langsame, aber auch ganz schnelle Stoffteilchen. Im festen Aggregatzustand sind die langsamen häufiger, im gasförmigen die ganz schnellen.



L 23

Fragen zu L 23

1. Welche absolute Temperaturen haben zwei Körper von -20°C und 25°C ?
2. Beim Verdampfen von Wasser ($\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$) erfolgt eine sprunghafte Volumenzunahme um einen Faktor von mehr als 1000. Um welchen Faktor vergrößert sich die mittlere Distanz zwischen zwei Wassermolekülen beim Phasenübergang in jeder Raumdimension ungefähr?
3. Kann man mit den in diesem Lernschritt gemachten Angaben erklären, warum Wasser auch bei Raumtemperatur verdampft (Wäsche trocknen!), obwohl der Phasenübergang flüssig-gasförmig erst beim Kochen bei 100°C in großem Maße erfolgt?

Schmelz- und Siedepunkte

Kapitel 3: Die Bewegung der Stoffteilchen

Bei Reinstoffen (die Stoffe enthalten nur die in der Stoffformel vorkommenden Stoffteilchen) erfolgen die Phasenübergänge beim Schmelzen und Verdampfen in einem engen Temperaturbereich. Man spricht von scharfen Schmelz- und Siedepunkten. Bei der Schmelztemperatur (Schmelzpunkt) verliert ein fester Stoff seine definierte Gestalt und wird zur Flüssigkeit. Bei der Siedetemperatur entstehen an vielen Orten in der Flüssigkeit Dampfblasen, welche aufsteigen, die Oberfläche durchstoßen und das charakteristische Brodeln verursachen. Weil die Phasenübergänge bei kleinen Stoffmengen fast schlagartig erfolgen, können sie auf Bruchteile eines Grades genau gemessen werden. Schmelz- und Siedepunkt eines Stoffes sind in der Chemie von großer Bedeutung, weil sie einerseits Informationen über die Kohäsionskräfte im Stoff liefern, andererseits Aufschluss geben über die Reinheit des Stoffes oder sogar die Identifizierung eines Stoffes ermöglichen.

Beim Phasenübergang werden ein Teil der herrschenden Kohäsionskräfte überwunden. Wir kennen die Ursache der Kohäsionskräfte bis jetzt nur bei Ionenverbindungen und Metallen (Anziehung zwischen positiven und negativen Ionen, bzw. Anziehung zwischen den positiven Atomrümpfen und dem negativen Elektronengas). Es dürfte einleuchten, dass die anziehenden Kräfte zwischen den Ionen z.B. nicht bei allen Salzen gleich groß sind. Stärker geladene Ionen führen zu stärkeren Kohäsionskräften. Die Größe der Ionen wird eine Rolle spielen, weil die Größe den Abstand zwischen den Ladungen mitbestimmt. Bei Komplex-Ionen (Molekül-Ionen) spielt zudem die Gestalt eine Rolle, weil "sperrige" Ionen schlecht stapelbar sind und damit vergrößert sich der Abstand der Ladungen ebenfalls. Kurz: Die Kohäsionskräfte sind von Stoff zu Stoff verschieden und hiermit oft auch die Schmelz- und Siedepunkte. In der nebenstehenden Tabelle sind die wichtigsten die Schmelz- und Siedepunkte beeinflussenden Faktoren und ihre Auswirkungen auf die Schmelz- und Siedepunkte zusammengefasst.

Vor allem die Siedepunkte der Stoffe werden uns in den nächsten Lernschritten wertvolle Informationen über die Ladungen in den Stoffteilchen und die damit verbundenen Kohäsionskräfte liefern.

Schmelzpunkt

Ursache	Wirkung
Kohäsionskräfte groß	hoher Schmelzpunkt
Luftdruck hoch	wenig Auswirkung
Verunreinigungen im Stoff	Schmelzpunktniedrigung, weil das Gitter gestört wird.
Gestalt der Stoffteilchen	Je symmetrischer desto höher der Schmelzpunkt

Siedepunkt

Ursache	Wirkung
Kohäsionskräfte groß	hoher Siedepunkt
Luftdruck hoch	Siedepunkterhöhung
Verunreinigungen im Stoff	Siedepunkt verändert sich während dem Siedevorgang
Gestalt der Stoffteilchen	wenig Auswirkung

L 24

Fragen zu L 24

1. Warum lassen Siedepunkte von Reinstoffen bei gleichen atmosphärischen Bedingungen bessere Rückschlüsse auf die Ladung von Stoffteilchen zu als die Schmelzpunkte. Hinweis: Arbeiten Sie dazu mit der obigen Tabelle.
2. Welche der nachstehend aufgeführten Teilchen verdampfen aus siedendem Wasser, die Moleküle H_2 und O_2 , einzelne Atome O und H oder Moleküle H_2O ?
3. Vergleichen Sie die Kohäsionskräfte in Eis und Kochsalz.

Erfolgskontrolle zu Kapitel 3

1. Welcher Vorgang ist mit (l) → (s) gemeint? Geben Sie zwei übliche Namen dafür an.
2. Wie nennt man die Kräfte, die zwischen den Stoffteilchen in NaCl(s) und NaCl(l) wirken? Worauf beruhen diese Kräfte?
3. Der gewöhnliche „Äther“, der Diethylether (früher als Narkosemittel verwendet) siedet bei 35,5 °C (Normaldruck), der gewöhnliche Alkohol bei 78 °C. Welcher der beiden Stoffe ist somit leichter verdampfbar („flüchtiger“)?
4. Wo verläuft die sog. Diffusion (Durchmischung der Stoffteilchen auf Grund der Wärmebewegung) rascher, in Gasen oder in Flüssigkeiten? Begründen Sie Ihre Angaben.
5. Kochsalz NaCl schmilzt bei 801 °C, Kaliumchlorid KCl bei 776 °C. Welches der beiden Kristallgitter hat somit die größere Stabilität?
6. Betrachten Sie die Größe der Ionen der Salze von der vorangehenden Frage in der Tabelle mit den Atom- und Ionenradien und versuchen Sie, damit die unterschiedliche Gitterstabilität zu erklären.
7. Woran erkennt man, dass ein Stoff rein ist? (Bedingung: Stoffteilchen sind in allen drei Aggregatzuständen beständig.)
8. Woran erkennt man, dass eine Flüssigkeit siedet?
9. Wovon hängt der Siedepunkt einer reinen Flüssigkeit ab?
10. Warum wird die verbleibende Flüssigkeit kälter, wenn Teilchen aus ihr verdunsten?
11. In welchem Aggregatzustand ist das Volumen (Raumerfüllung des Stoffs) bestimmt, die Gestalt (Form) jedoch leicht veränderbar?
12. Wie sind die Stoffteilchen aufgebaut, welche aus siedendem Wasser verdampfen?

Antworten Erfolgskontrolle Kapitel 3

1. Der Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand (Erstarren, Gefrieren).
2. Es sind in beiden Fällen Kohäsionskräfte, wobei man sie bei einem kristallinen Feststoff in der Regel als Gitterkräfte bezeichnet. Sie beruhen in beiden Fällen auf der elektrostatischen Anziehung zwischen den Ionen (sog. Ionenbindung).
3. Leichter verdampfbar (flüchtig) ist der Stoff mit dem niedrigeren Siedepunkt, also der Diethylether.
4. Die Diffusion erfolgt in Gasen viel rascher. Sofern es sich um gleiche Stoffteilchen bei gleichem herrschendem Druck handelt, sind diese im Gaszustand schneller und können sich zudem ungehinderter bewegen.
5. Das Kristallgitter des Kochsalzes, da der Schmelzpunkt höher ist.
6. Die beiden Salze bestehen aus einfach geladenen Ionen. Die negativen Ionen (Cl^-) sind in beiden Fällen dieselben. Also kann der Unterschied nur auf den positiven Ionen beruhen. Da K^+ größer als Na^+ ist, verteilt sich beim K^+ die positive Ladung auf eine größere Oberfläche, womit hier die Ladung pro Flächeneinheit kleiner ist als beim Na^+ und damit die Kräfte zwischen K^+ und Cl^- etwas kleiner sind als zwischen Na^+ und Cl^- .
7. Reine Stoffe (die sich beim Erwärmen nicht zersetzen!) erkennt man daran, dass sie scharfe Schmelztemperaturen (daher Schmelzpunkte genannt) und konstant bleibende Siedetemperaturen (-punkte) haben (reines Wasser wird trotz fortwährendem Heizen beim Sieden nicht wärmer).
8. Eine siedende Flüssigkeit brodelte, weil fortwährend Dampfkuugeln des betreffenden Stoffs durch die Oberfläche austreten.
9. Von den Kohäsionskräften (je größer die sind, umso höher ist auch der Siedepunkt und umso kleiner die Flüchtigkeit oder Verdampfbarkeit) und vom Außendruck (der Siedepunkt sinkt mit abnehmendem Außendruck).
10. Weil dadurch die energiereichen Teilchen weggehen, so dass die mittlere Bewegungsenergie (Temperatur) der zurückbleibenden Teilchen kleiner wird.
11. Im flüssigen; ein Liter Wasser nimmt „von selbst“, d. h. bereits unter dem Einfluss der Schwerkraft, die Form des jeweiligen Gefäßes an. Demgegenüber sind im festen Aggregatzustand sowohl Volumen (bei konstanter Temperatur, sonst Wärmeausdehnung) als auch die Form bestimmt. Beim Gas endlich sind sowohl Volumen als auch Form unbestimmt; sie werden durch das Gefäß festgelegt.
12. Es sind die Stoffteilchen des Wassers, also die Moleküle H_2O und nicht etwa einzelne H-Atome oder O-Atome!