

Seilnacht Chemie

Basistexte: Stoffe, Stoffgemische



Seilnacht

Inhaltsverzeichnis

Thema	Seite
Der Stoffbegriff in der Chemie	3
Stoffgemische	5
Aggregatzustände	8

Der Stoffbegriff in der Chemie 1

Reinstoff, Stoffportion, elementarer Stoff, Verbindung. Betrachtet man verschiedene Gegenstände des Alltags, dann sind sie oft aus unterschiedlichen Stoffen aufgebaut. Es kann aber auch sein, dass verschiedene Gegenstände mit unterschiedlicher Form aus gleichen Stoffen aufgebaut sind. Die Form ist also kein sicheres Merkmal, aus welchem Stoff ein Gegenstand besteht. Oft wird die Form mit der Stoffbezeichnung verbunden, zum Beispiel bei der Eisen-Wolle oder beim Gold-Ring. Ein Stoff, der keine Verunreinigungen enthält, wird als Reinstoff bezeichnet. Stoffgemische bestehen dagegen aus mehr als einem Reinstoff. Reinstoffe kann man auch in elementare Stoffe („Elemente“) und Verbindungen unterteilen. Letztere lassen sich aus den elementaren Stoffen herstellen, die ja die Grundbausteine des Universums darstellen. Eine bestimmte Stoffportion wird in Masse oder Volumen angegeben. Sie enthält auch Energie. Stoffportionen sind mit Waage und Messzylinder messbar. Der Begriff Stoffportion darf nicht verwechselt werden mit dem Begriff Stoffmenge: Dies ist eine relative Größe, die vom Kohlenstoff abgeleitet wird. Sie gibt die Zahl der aufbauenden Komponenten wie Atome, Moleküle oder Ionen in einer Stoffportion an.

Physikalische Eigenschaften bezeichnen Stoffeigenschaften, die durch Messung eine physikalische Größe ergeben, ohne dass bei der Untersuchung eine Veränderung des Reinstoffes auftritt. Dazu zählen zum Beispiel:

- Farbe, Glanz, Schallgeschwindigkeit
- Verformbarkeit, Dehnbarkeit, Härte, Spaltbarkeit
- Geruch, Geschmack
- Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit
- Wärmekapazität
- Magnetisierbarkeit, magnetische Leitfähigkeit
- Schmelzpunkt, Siedepunkt
- Dichte
- Löslichkeit, Viskosität, Oberflächenspannung
- Optische Aktivität, Brechungsindex

Chemische Eigenschaften kennzeichnen einen Reinstoff, wie er sich bei einer Untersuchung chemisch verändert. Dazu zählen zum Beispiel:

- Brennbarkeit, Reaktionsfähigkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- Säurestärke, Basenstärke (Säure- oder Base-Konstante)

Physiologische Eigenschaften lassen sich aufgrund der Wahrnehmung und der Änderung auf die Umgebung festlegen, zum Beispiel:

- Geruch
- Geschmack
- Auswirkungen auf den Stoffwechsel
- Toxizität

Oft nicht ganz einfach zu beantworten, ist die Frage, wann zwei unterschiedliche Stoffe vorliegen. Vom Kohlenstoff existieren verschiedene Modifikationen. Diamant und Graphit sind beide aus Kohlenstoff-Atomen aufgebaut. Trotzdem haben beide unterschiedliche physikalische Eigenschaften: Der Diamant ist zum Beispiel wesentlich härter als der Graphit, auch die Farbe, die Dichte oder die Wärmeleitfähigkeit unterscheiden sich teilweise erheblich.

Der Stoffbegriff in der Chemie 2

Der traditionelle Stoffbegriff der Chemie. Nach der früheren DIN-Norm 32629 vom November 1988 (im Jahr 2004 aufgelöst) sind zwei Stoffportionen einander gleich, wenn sie in allen stofflichen Eigenschaften übereinstimmen. Nach dem aktuellen Verständnis der IUPAC ist der Begriff *chemical substance* charakterisiert durch seine Entität („*entities*“), also dem atomaren und molekularen Aufbau, und durch seine physikalischen Eigenschaften „...such as *density, refractive index, electric conductivity, melting point, etc.*“ (IUPAC, Golden Book 2014). Nach beiden Definitionen wären der Diamant und der Graphit also zwei verschiedene Stoffe. IUPAC orientiert sich mit dem Stoffbegriff an der Laborpraxis. Laborchemikalien sind meistens hoch rein, es sind „präparierte Stoffe“ oder Reinstoffe. Sie lassen sich mit einer präzisen Formel angeben und sind von hoher Homogenität.

Der phänomenologische Stoffbegriff. Stoffe kommen in der Natur praktisch nie in ihrer reinen Form vor. Im Gegensatz zu den reinen Chemikalien im Chemielabor sind die meisten Stoffe der Natur untereinander verunreinigt. Diese Verunreinigungen sind es auch, die beim Mineral Calcit die faszinierende Vielfalt der Farben und der Kristalle ausbilden. Sie machen die Eigenarten des Calcits aus und bestimmen das Kristallwachstum.

Das Mineral Calcit ist ein Gebilde mit einer festen Eigenform, zu dem der Calcit aufgrund der vorherrschenden Bedingungen geworden ist. Dabei spielt vor allem auch der Zufall eine Rolle. Die besonderen Umstände des Wachstums führen zu besonderen und einmaligen Varietäten. Aus systemischer Sicht stellen die präparierten Stoffe nichts anderes als das Kompositionsmaterial für die natürlichen Stoffe dar. Zur entstandenen Komposition sagen wir zum Beispiel Calcit oder Aragonit. Tritt noch die Kristalltracht einer Kristallstufe hinzu, und dies in einer Weise, dass Gefühle von Schönheit, Perfektion, Einmaligkeit oder Assoziationen bei uns erzeugt werden, erleben wir die Materie in einer kosmischen Harmonie, in die wir selbst eingebunden sind. Wir kennen dies aus der musikalischen Welt: Während die Harmonielehre ein Ordnungsprinzip für die Welt der Noten darstellt, bildet die Natur aus der zur Verfügung stehenden Materie eine „Symphonie der Stoffe“.

Stoffgemische 1

Stoffgemische und Reinstoffe. In der Natur kommen Stoffe nur selten als Reinstoffe vor. Meistens handelt es sich um Stoffgemische, die sich aus mindestens zwei Reinstoffen zusammensetzen. Selbst eine hochreine Laborchemikalie ist niemals zu einhundert Prozent rein, sie enthält immer einige Verunreinigungen, wenn auch nur in geringem Maße.

Gemenge. Stoffgemische findet man überall. Betrachtet man ein Stück rötlichen Granit, sieht man verschiedene Bestandteile: Transparenter Quarz, roter und weißer Feldspat, sowie schwarzer Glimmer. Wenn man das Granitstück mit einem Hammer zerkleinert, kann man es in die einzelnen Bestandteile auftrennen. Beim Granit sind die einzelnen Bestandteile deutlich erkennbar. Die Bestandteile liegen alle im festen Zustand vor, ein solches Gemisch nennt man auch Gemenge.

Emulsion, Suspension. Vermischt man Salatöl und Wasser, schwimmt das Öl aufgrund seiner geringeren Dichte zunächst auf dem Wasser. Durch kräftiges Schütteln vermischen sich die beiden Flüssigkeiten teilweise. Dieses Gemisch von zwei Flüssigkeiten bezeichnet man als Emulsion. Auch Milch ist eine Emulsion von Fett-Tröpfchen in Wasser. Dass bei der Milch ein Stoffgemisch vorliegt, kann man erst unter dem Mikroskop erkennen: Die kleinen Punkte zeigen die Fett-Tröpfchen in der Milch bei tausendfacher Vergrößerung.

Heterogene Stoffgemische. Vermischt man einen festen Stoff mit einer Flüssigkeit, erhält man eine Suspension. Beim Verrühren von Gartenerde in Wasser sind die festen Bestandteile der Erde auch ohne Mikroskop zu erkennen. Sie setzen sich nach einer Weile am Boden des Gefäßes ab. Sind die Bestandteile eines Stoffgemisches mit den Augen oder mit Hilfe eines Mikroskops noch zu erkennen, liegt ein heterogenes Stoffgemisch vor.

Legierungen und homogene Stoffgemische. Wenn man einen Goldbarren herstellt, versucht man möglichst reines Gold zu verwenden. Sehr reine Goldbarren haben eine Prägung mit der Aufschrift 999,9, das bedeutet sie enthalten mindestens 99,99% Anteile Gold. Bei der Prägung 585 ist ein Goldgehalt von 58,5% garantiert, der restliche Anteil setzt sich aus Silber, Kupfer oder Platin zusammen. Hier liegt ebenfalls ein Stoffgemisch in Form einer Legierung vor.

Als Legierung bezeichnet man ein Stoffgemisch, bei dem mindestens eine Komponente aus einem Metall besteht. Das goldgelbe Messing enthält beispielsweise kein Gold, sondern die Messing-Legierung setzt sich aus den Komponenten Kupfer und Zink zusammen. Bronze wäre eine Legierung aus Kupfer und Zinn. Die einzelnen Komponenten einer Legierung kann man selbst mit einem Mikroskop nicht mehr erkennen. Derartige Stoffgemische nennt man homogene Stoffgemische.

Lösungen. Nicht nur Legierungen bilden homogene Stoffgemische, sondern auch Lösungen und Gemische verschiedener Gase. Beim Streuen von Kochsalz in Wasser löst sich das Salz allmählich auf und ist nach einer Weile nicht mehr zu sehen. Dass es noch im Wasser gelöst ist, kann leicht mit der Geschmacksprobe feststellen.

Andere Salze wie das Kaliumpermanganat lösen sich unter Ausbildung einer farbigen Lösung. Schichtet man über das Kaliumpermanganat ganz vorsichtig Wasser, erhält man zunächst die getrennten Komponenten. Doch selbst wenn das Gefäß danach völlig ruhig steht, vermischen sich die beiden Komponenten allmählich. Man erklärt sich das Phänomen dadurch, dass die enthaltenen Atome ständig in Bewegung sind und dadurch die Komponenten vermischen. Diese Durchmischung, die durch die Eigenbewegung der Atome verursacht wird, nennt man Diffusion.

Stoffgemische 2

Manchmal findet beim Lösungsvorgang eine Erwärmung statt, beispielsweise beim Lösen von Kaliumnitrat in Wasser, in seltenen Fällen sogar eine Abkühlung. Lösungen findet man nicht nur bei Stoffgemischen von einer Flüssigkeiten mit einem Feststoff, sondern auch bei Mischungen von Gasen oder anderen Flüssigkeiten mit einer Flüssigkeit. Wein ist eine Lösung von Alkohol in Wasser, sowie anderen gelösten Bestandteilen, zum Beispiel Zucker oder Aromastoffe.

Gasgemische. Erhitzt man gewöhnliches Wasser in einem Glasgefäß, steigen zunächst kleine Gasbläschen auf: Durch das Erhitzen wird der gelöste Sauerstoff aus dem Wasser zuerst in kleinen Bläschen ausgetrieben, bevor die größeren Wasserdampfblasen aufsteigen. Ein Beispiel für ein homogenes Stoffgemisch zwischen mehreren Gasen, stellt die gewöhnliche Atemluft dar. Sie enthält als Hauptbestandteil 78% Volumenanteile Stickstoff, 21% Volumenanteile Sauerstoff und 1% Volumenanteil an anderen Gasen wie Argon oder Kohlenstoffdioxid.

Gegenüberstellung der Stoffgemische. Die Stoffgemische kann man nach dem Aggregatzustand der Komponenten in einer Tabelle zusammenfassen. Heterogene Stoffgemische sind in der Tabelle mit *het* gekennzeichnet, homogene Stoffgemische mit *ho*.

Gemisch	fest	flüssig	gasförmig
in fest	Legierung (Messing, <i>hom</i>) Gemeenge (Granit, <i>het</i>) Haufwerk (Kieshaufen, <i>het</i>)	Schwamm (<i>hom</i>)	Hartschaum (<i>het</i>)
in flüssig	Lösung (Salzlösung, <i>hom</i>) Suspension (Schlamm, <i>het</i>)	Lösung (Wein, <i>hom</i>) Emulsion (Milch, <i>het</i>)	Lösung (Mineralwasser, <i>hom</i>) Schaum (Seifenschaum, <i>het</i>)
in gasförmig	Rauch (Zigarettenrauch, <i>het</i>)	Nebel (<i>het</i>)	Gasgemisch (Luft, <i>hom</i>)

Stoffe im Labor vermischen. Das Vermischen von Stoffen im Labor oder in der Industrie erfolgt beispielsweise durch Schütteln, Vermengen, Walzen, Kneten, Emulgieren (Zugabe eines Emulgators bei der Herstellung einer Hautcreme), Suspendieren oder Lösen. Hierbei wird das Vermischen durch Zerkleinern, Rühren oder Heizen beschleunigt. Das Ablaufen einer unerwünschten chemischen Reaktion lässt sich mit Kühlen und mit einer exakten Temperaturmessung verhindern. Die Stoffportionen der einzusetzenden Komponenten können durch Wägen oder durch Volumenmessungen bestimmt werden.

Stoffe mischen und trennen. Nach der allgemeinen Definition findet bei der Vermischung der beteiligten Stoffe keine chemische Reaktion statt. Trotzdem lassen sich für die Gemische physikalische Eigenschaften - beispielsweise Dichte oder Siedepunkte - angeben. Die Stoffgemische lassen sich durch physikalische Trennverfahren in ihre Komponenten zerlegen. Bei der Trinkwasserreinigung werden zum Beispiel unerwünschte Komponenten durch die Stofftrennungen beseitigt.

Stoffgemische 3

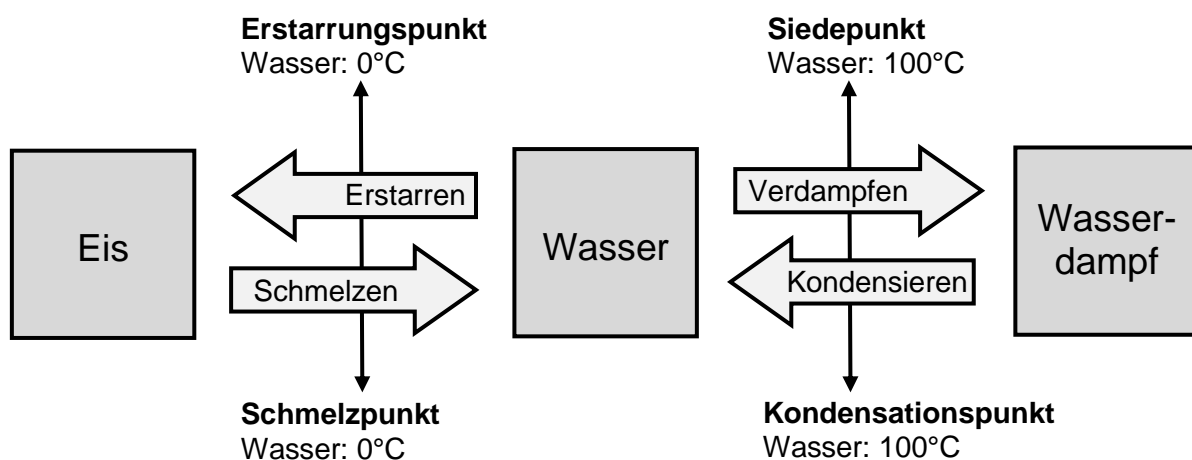
Trennverfahren. Im chemischen Labor gehören die verschiedenen Trennverfahren zu den wichtigsten chemischen Grundoperationen. Die Gemische werden aufgrund der unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der beteiligten Komponenten aufgetrennt:

- Nach Art der Zusammensetzung: Beim Sortieren lassen sich die Komponenten aufgrund ihrer verschiedenartigen Zusammensetzung trennen. Als Beispiel hierfür dient die Mülltrennung.
- Nach der Dichte: Beim Aufschlänmen, Sedimentieren, Dekantieren und Zentrifugieren werden die Komponenten aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte getrennt. Beispiel: Beim Abgießen des Kaffees vom Kaffeesatz im Haushalt nutzt man die Schwerkraft und die höhere Dichte des nach unten sich absetzenden Kaffeesatzes aus, um den darüber stehenden Kaffee abzugießen.
- Nach der Partikelgröße: Beim Sieben werden die Stoffteilchen der gröberen Komponente im Sieb zurückgehalten. Beim Filtrieren einer Suspension bleibt die Feststoffkomponente im Filterpapier zurück.
- Nach der Magnetisierbarkeit: Bei der Magnettrennung werden magnetisierbare Komponenten mit einem (Elektro-)Magnet herausgezogen.
- Nach dem Siedepunkt: Beim Destillieren werden Flüssigkeiten durch Erhitzen voneinander getrennt. Die Komponente mit dem niedrigeren Siedepunkt verdampft zuerst, sie kondensiert danach in einem Kühler.
- Nach dem Sublimationspunkt: Hat man ein Stoffgemisch, bei dem einer der Stoffe sublimiert, kann dieser Stoff durch Sublimieren abgetrennt werden.
- Nach der Wirksamkeit der Oberflächenkräfte: Bei der Adsorption wird eine gasförmige oder flüssige Komponente durch die Oberflächenkraft eines anderen Stoffes - zum Beispiel durch Aktivkohle - festgehalten.
- Nach dem Kristallisationsverhalten: Beim Umkristallisieren wird ein verunreinigter Stoff gelöst und wieder auskristallisiert. Die Verunreinigungen verbleiben in der überstehenden Lösung.
- Aufgrund des Lösungsverhalten der Komponenten in einer Flüssigkeit: Bei der Extraktion wird ein Stoff aus einer Flüssigkeit, aus einem Feststoffgemisch oder aus einem Gasgemisch mit einem flüssigen Lösungsmittel abgetrennt.
- Aufgrund des Lösungsverhaltens einer Gaskomponente: Bei der Absorption lösen sich gasförmige Verunreinigungen in einer Flüssigkeit (Waschmittel) oder in einem Feststoff.
- Aufgrund von Verunreinigungen durch Wasser: Beim thermischen Trocknen wird das Stoffgemisch erhitzt oder an der Luft stehen gelassen. Im ersten Fall verdampft das Wasser im zweiten Fall verdunstet es. Beim chemischen Trocknen reagiert ein zugegebener Stoff mit dem Wasser und entzieht dem Gemisch dadurch das Wasser.
- Auftrennung aufgrund unterschiedlicher Wechselwirkungen (Löslichkeit oder Adsorption) der Komponenten mit einer zugegebenen Phase: Chromatografie.

Aggregatzustände 1

Eis, Wasser und Wasserdampf. Das Wasser ist ein wesentlicher Stoff für das Leben auf der Erde. Es bedeckt zu mehr als zwei Drittel die Erdoberfläche. Auf der Erde kommen mehrere „Gestaltformen“ des Wassers vor: Die Sonne verdunstet das Wasser zu Wasserdampf, als Regen kommt es wieder auf die Erde zurück. Bei niedrigen Temperaturen im Winter gefriert das Wasser zu Eis. Die Gletscher erinnern noch an die Eiszeit, als ganz Mitteleuropa mit Gletschereis überzogen war. Bei heißen Quellen wird das Wasser durch die Erdwärme erhitzt. In einem Geysir entsteht am Fuß in einer trichterförmigen Erdhöhle gasförmiges Wasser, das durch seine plötzliche Ausdehnung beim Siedepunkt das darüber stehende heiße Wasser in die Höhe schleudert. Dadurch schießt heißer Wasserdampf in die Höhe. Wir kennen aus unserem Alltag drei Zustandsformen des Wassers. Eis ist der feste Zustand und das Wasser der flüssige. Den gasförmigen Zustand des Wassers sieht man an einem Teekessel als den unsichtbaren Teil zwischen der Austrittsstelle und dort wo der Dampf sichtbar wird.

Verdampfen, Erstarren. Die drei Zustandsformen nennt man auch Aggregatzustände. Wenn Wasser zu Sieden beginnt, verdampft Wasser zu Wasserdampf. Beim starken Abkühlen gefriert flüssiges Wasser zu festem Eis. Der Fachbegriff lautet hierzu erstarren. Den umgekehrten Vorgang, wenn sich Eis wieder verflüssigt, nennt man schmelzen. Kommt Wasserdampf mit einer kalten Glasscheibe in Berührung, kondensiert der Dampf wieder zu Wasser. Erhitzt man Wasser auf den Siedepunkt, beginnt es bei 100 °C zu sieden. Eis schmilzt am Schmelzpunkt bei 0 °C. Der Schmelzpunkt bei einem Stoff entspricht dem Erstarrungspunkt. Der Siedepunkt entspricht dem Kondensationspunkt.



Im Haushalt begegnet uns das Phänomen der Aggregatzustände überall. Beim Kochen lässt man Fett oder Butter schmelzen. Schokolade schmilzt bereits bei Sonneneinstrahlung. Beim Lötten schmilzt man mit einem LötKolben das elektrisch leitfähige Lötzinn und verbindet so elektrische Kontakte. Beim Zinngießen an Silvester muss das Zinn auf seinen Schmelzpunkt von +232 °C erhitzt werden. Ein nicht ganz alltägliches Beispiel soll ebenfalls genannt werden: Man könnte sogar Luft verflüssigen, wenn man sie unter den Kondensationspunkt von -194,35 °C abkühlen würde. In der Praxis erfolgt dies mit dem Lindeverfahren.

Verdunsten. Hängt man nasse Wäsche an eine Leine, dann trocknet die Wäsche allmählich. Dieses Phänomen nennt man Verdunsten. Hierbei geht das flüssige Wasser in den gasförmigen Zustand über, ohne dass es auf seinen Siedepunkt erhitzt wird. Eine große Menge an Wasser verdunstet auch über feuchten Böden, über Flüssen, Seen und den Ozeanen.

Aggregatzustände 2

Sublimieren. Eine weitere Besonderheit zeigen Stoffe, die beim Erhitzen des festen Zustandes direkt in den gasförmigen Zustand übergehen. Das Phänomen wird als Sublimation bezeichnet. Gefrorenes Kohlenstoffdioxid oder Trockeneis sublimiert beispielsweise bei $-78,5\text{ °C}$ zu gasförmigem Kohlenstoffdioxid. Kohlenstoffdioxid bildet unter Normaldruck keine Flüssigkeit, daher erhielt das tiefkalte Kohlenstoffdioxid den Namen „Trockeneis“. Beim Abkühlen unter den Sublimationspunkt von $-78,5\text{ °C}$ resublimiert das Kohlenstoffdioxidgas wieder zu Trockeneis. Festes Iod geht beim Erhitzen direkt in gasförmigen Iod-Dampf über. Beim Abkühlen von Iod-Dampf bilden sich durch Resublimation wieder Iodkristalle.

Probleme bei der Alltagssprache. Die Alltagssprache ist oft nicht exakt oder sie verwendet Begriffe als Synonyme, die so eigentlich gar nicht verwendet werden dürften. Betrachtet man kochendes Wasser von oben, ist der eigentliche Dampf unsichtbar. So wird umgangssprachlich sehr heißer Wasserdampf und gasförmiges Wasser gleichgesetzt, beides wird dann unter Umständen „Wasserdampf“ genannt. Man spricht in der chemischen Fachsprache beim Erhitzen von Wasser im Teekessel von Dampf. So nennt der Chemiker ein Gas, das immer noch mit der Flüssigkeit in Kontakt steht. Das, was man aber beim Teekessel am Dampfaustritt sieht, ist genaugenommen kein Dampf, sondern der Nebel, der durch das Abkühlen des Dampfes an der Luft entsteht. Der eigentliche Wasserdampf ist unsichtbar. Wir spüren vor allem die Hitze, wenn wir uns am Dampf verbrühen.

Nebel. Werden Wasser-Tröpfchen in der Luft ganz fein verteilt, dann erhält man Nebel. In der Natur entsteht Nebel, wenn sich feuchte Luft abkühlt. Durch die Abkühlung kann die Luft nicht mehr so viel Feuchtigkeit aufnehmen, so dass das überschüssige Wasser in winzigen Tröpfchen kondensiert. Nebel entsteht vorzugsweise im Winter an Gewässern. Die Sonne verdampft tagsüber Wasser, am Abend kühlt es so stark ab, dass das Wasser auskondensiert.

Reif. Die Bildung von Nebel wird noch beschleunigt, wenn Kondensationskerne wie Rußpartikel vorhanden sind. Wenn unterkühlter Wasserdampf bei Temperaturen unterhalb von 0 °C an Pflanzen oder am Boden direkt aus dem gasförmigen Zustand in den festen Zustand übergeht, bildet sich Reif. Daraus können bizarre Formen und Figuren an den Pflanzen und den Gegenständen im Freien entstehen.

Formänderungen bei den Aggregatzuständen. Im Chemieunterricht gelten die drei Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig als die drei klassischen Aggregatzustände. Der feste Zustand eines Stoffes ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Stoffportion ihre Form behält. Eine Goldmünze bleibt im Gravitationsfeld der Erde und im Bereich der Schwerelosigkeit in ihrer Form. Im flüssigen Zustand füllen die flüssigen Stoffportionen auf der Erde die Form eines Behälters aus und bilden oben eine ebene Oberfläche, solange sie ruhen. Beim Herunterfallen wird eine Tropfenform gebildet. Im Bereich der Schwerelosigkeit bilden Flüssigkeiten tendenziell Kugeln aus. Gase haben in der Schwerelosigkeit hingegen die Tendenz, sich in alle Richtungen auszubreiten. Im Schwerfeld der Erde können Gase Schichtungen bilden. Ihre Tendenz, sich auszubreiten, ist auch im Schwerfeld gegeben.

Auf Druckerhöhung reagieren Flüssigkeiten und feste Stoffe kaum mit Volumenminderung, solange sie in ihrem Aggregatzustand verbleiben. Ändern sie ihren Aggregatzustand, können sie auch ihre Volumina sprunghaft ändern. Gase dehnen sich bei Druckminderung aus, bei Druckerhöhung sind verschiedene Möglichkeiten gegeben. Welche davon eintritt, kann man am Zustandsdiagramm ablesen.

Aggregatzustände 3

Anomalie des Wassers. Beim Wasser besteht eine sogenannte "Anomalie": Bei +4° C besitzt Wasser die höchste Dichte. Beim Abkühlen unter diesen Temperaturwert dehnt sich das Wasser aus. Eis hat eine geringere Dichte als Wasser und schwimmt daher auf dem Wasser. Im Winter gefrieren aufgrund der Anomalie des Wassers die Gewässer nicht vollständig zu. Das dichtere, 4° C warme Wasser sinkt auf den Boden. Wenn das Wasser an der Wasseroberfläche 0° C erreicht, wird es fest und schwimmt auf dem Wasser. An einer Zirkulation kann dieses Wasser nicht mehr teilnehmen. Es isoliert sogar die unteren Wasserschichten gegen zu schnelle Abkühlung. Aus diesem Grunde können Wasserorganismen wie Fische im Winter im zugefrorenen See überleben. Das Phänomen der Ausdehnung von Flüssigkeiten beim Erstarren kommt nur bei wenigen anderen Stoffen vor.

Temperatur	Dichte
0 °C (Eis)	0,9168 g/ml
0 °C (Wasser)	0,999818 g/ml
+4 °C (Wasser)	1,000000 g/ml
+10 °C (Wasser)	0,999727 g/ml
+20 °C (Wasser)	0,998231 g/ml

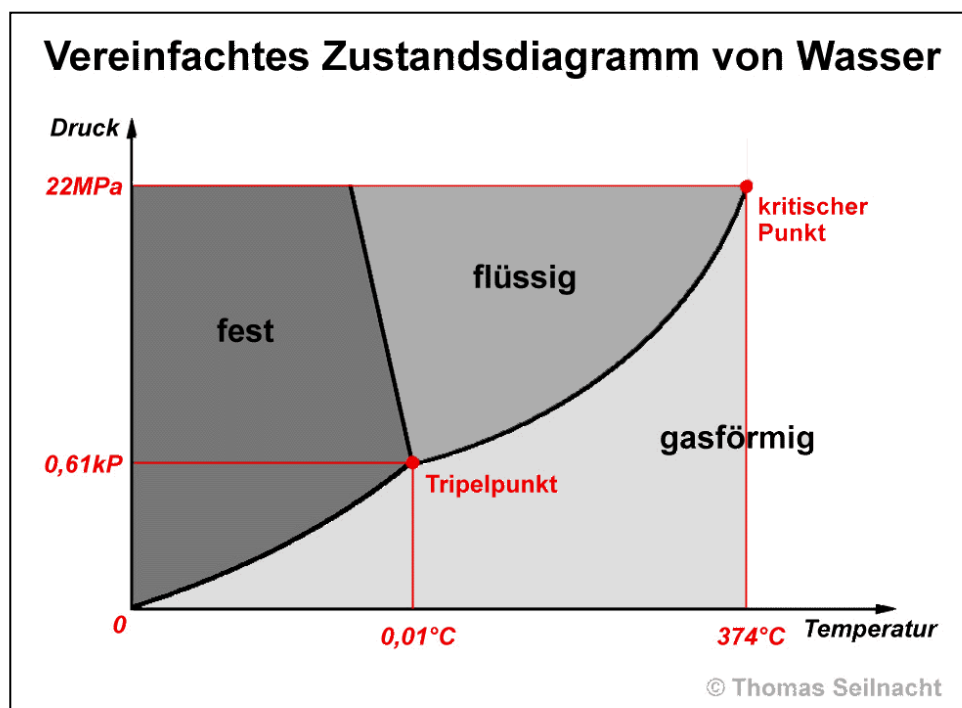
Der Effekt, dass mit Wasser gefüllte Spalten im Gebirge im Winter ganze Felswände "sprengen" können und das Phänomen der Frostschäden im Straßenbau beruhen auf einem anderen Effekt: Kleine Kristalle sublimieren leichter als größere Kristalle, und umgekehrt resublimieren Gase an großen Kristallen besser als an kleinen. Bei längeren Frostperioden werden daher die kleinen Kristalle immer kleiner und die größeren Kristalle immer größer. Die größeren Kristalle entwickeln bei ihrem Wachstum sehr beachtliche Kräfte, so dass große Felsen abgesprengt oder faustgroße Beulen auf dem Straßenbelag entstehen können.

Abhängigkeit des Siedepunkts vom Außendruck. Beim Siedepunkt geht eine Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand über, die flüssige und die gasförmige Phase stehen dann in einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand. Da der Siedepunkt vom Außendruck abhängig ist, gelten die tabellarischen Werte für den Siedepunkt eines Stoffes bei einem Normaldruck von 1013 Millibar. Beim Erreichen des Siedepunktes unter Normalbedingungen entspricht der Dampfdruck einer Flüssigkeit dem äußeren Druck von 1013 Millibar. Nach dieser Definition verdampft das Wasser nicht erst beim Siedepunkt von exakt +100 °C, sondern teilweise schon bei niedrigeren Temperaturen. Am Siedepunkt ist nur der beschriebene Gleichgewichtszustand erreicht.

Beim Erwärmen einer Flüssigkeit wird die zugeführte Wärme zunächst zum Aufheizen der Flüssigkeit verwendet. Je mehr sich die Temperatur der Flüssigkeit dem Siedepunkt nähert, umso mehr wird die Wärme zum Verdampfen der Flüssigkeit verbraucht. Beim Erreichen des Siedepunktes steigt die Temperatur für längere Zeit nicht mehr an, sie bleibt konstant. Die zugeführte Wärme dient dann nur noch dem Verdampfen der Flüssigkeit. An der konstant bleibenden Temperatur erkennt man das Erreichen des Siedepunktes. So lassen sich Stoffe an ihren Siedepunkten oder auch an ihrem Schmelzpunkt erkennen. Bei der Destillation nutzt man den Siedepunkt zum Trennen von Stoffgemischen.

Aggregatzustände 4

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit sinkt mit abnehmendem Druck und daher auch bei zunehmender Höhenlage. Pro 300 Höhenmeter sinkt der Siedepunkt um 1 °C. Wenn zum Beispiel auf dem Mount Everest bei fast 9000 Höhenmetern ein Druck von 312 Millibar vorherrscht, dann liegt der Siedepunkt von Wasser nur noch etwa bei +70 °C. Aufgrund der Druckabhängigkeit werden Destillationen auch unter Vakuum durchgeführt. Die Abnahme des Drucks erniedrigt die Siedetemperatur, so dass weniger Energie beim Heizen aufgewendet werden muss. Setzt man den Außendruck (p) und die Temperatur (T) in ein Diagramm, lässt sich für ein Stoff ein sogenanntes Zustandsdiagramm (oder pT -Phasendiagramm) darstellen. Anhand der Linien erkennt man, bei welchem Druck und bei welcher Temperatur der Stoff seinen Zustand verändert.



Auf den Linien selbst liegt der thermodynamische Gleichgewichtszustand vor. Am Tripelpunkt können alle drei Aggregatzustände gleichzeitig vorliegen. Unterhalb des Tripelpunktes tritt das Phänomen der Sublimation auf, die Trennlinie zwischen absolutem Nullpunkt und Tripelpunkt heißt Sublimationskurve. Die Trennlinie zwischen fester und flüssiger Phase nennt man Schmelzkurve, die Trennlinie zwischen flüssiger und gasförmiger Phase Siedekurve. Beim kritischen Punkt können Gas und Flüssigkeit aufgrund ihrer identischen Dichte nicht mehr unterschieden werden. Man könnte sagen: Der Stoff ist sowohl gasförmig als auch flüssig. Techniker in einem Kraftwerk, die mit Wasser am kritischen Punkt arbeiten, sprechen von "überkritischem Wasser". Es lässt sich oberhalb des kritischen Punktes keine Phasengrenzlinie mehr angeben.

Ergänzende Hinweise: Die Schmelzkurve beim Wasser unterscheidet sich von anderen Stoffen. Beim Schmelzen von Eis beobachtet man bei steigendem Druck ein Absinken des Schmelzpunktes. Dieses Phänomen nennt man Schmelzanomalie des Wassers. Das obige Zustandsdiagramm ist aus didaktischen und anschaulichen Gründen vereinfacht, außerdem sind im Diagramm die Proportionen nicht korrekt dargestellt. Bei sehr hohem Druck (nicht im Diagramm dargestellt) bildet das Eis eine weitere Zustandsform, das sogenannte „Eis-II“. Eis-II zeigt „normales Verhalten“, sein Schmelzpunkt steigt mit zunehmendem Druck.

Aggregatzustände 5

Grenzen des Modells der klassischen Aggregatzustände. Nur einige Stoffe zeigen die klassischen Aggregatzustände mit den typischen Temperaturen bei den Umwandlungen. Manche Stoffe wie viele organische Stoffe zersetzen sich beim Erhitzen auch unter Luftabschluss. Es gibt Mineralien wie der Calcit, die sich gar nicht schmelzen lassen. Beim Quarz und bei vielen Gläsern ist der Übergang von fest nach flüssig fließend. Beim Erwärmen eines Glasröhrchens wird das Glas allmählich weich, beim weiteren Erhitzen zähflüssig, aber nie so flüssig wie das Wasser. Kristalliner Schwefel wird beim Erhitzen bei etwa +115 °C zunächst flüssig, dann tritt beim weiteren Erhitzen bei +159 °C eine zähflüssige Zustandsform, bevor er erneut flüssig wird und dann beim Siedepunkt bei +444 °C verdampft. All diese Phänomene lassen sich mit dem Modell der klassischen Aggregatzustände nicht mehr erklären.

Kritik am oft verwendeten Teilchenmodell. In einigen Schulbüchern wird das Teilchenmodell als „Erklärungsversuch“ für die klassischen Aggregatzustände hinzugezogen. Bei einem Feststoff sind die kleinsten Teilchen nach dieser Vorstellung nur wenig in Bewegung. Es wirken starke Anziehungskräfte, die Teilchen sind regelmäßig angeordnet und sie liegen relativ eng beieinander. Je höher die Temperatur ist, umso mehr nimmt die Eigenbewegung zu. Bei der Flüssigkeit ist die Bewegung der Teilchen so stark, dass die Teilchen nicht mehr ihren Platz halten können. Der Zusammenhalt der Teilchen ist jedoch weiter gewährleistet. Beim Gas sind die Teilchen so schnell in Bewegung, dass sie keine regelmäßige Anordnung mehr einnehmen können und auch nicht mehr zusammenhalten.

Kritik. Das Problem des Teilchenmodells ist, dass es mit Bildern aus der dem Menschen sichtbaren Welt arbeitet. Der Mikrokosmos ist aber eine abstrakte und andersartige Welt als die Welt, wie wir Menschen sie wahrnehmen und erkennen. Das Teilchenmodell legt den Schwerpunkt zu stark auf die bildhafte Darstellung der Teilchen, die als abgeschlossene Einheiten wie Pingpongbälle aufeinander „stoßen“ oder sich wie Magnete gegenseitig „anziehen“. Die komplizierten Wechselwirkungen der Systeme im atomaren Bereich werden nur unzureichend berücksichtigt.

Alternative. Die eingehende Beschäftigung mit den Phänomenen ist für ein einfaches Verstehen des Alltags aus didaktischer Sicht genügend präzise. Die komplizierteren Zusammenhänge werden durch die abstrakte Sprache der Mathematik treffend beschrieben, zum Beispiel durch eine Siedepunktkurve oder ein Zustandsdiagramm.

Weitere Aggregatzustände. Bei sehr hohen Temperaturen und sehr hohem Druck erreicht die Materie einen Zustand, der oft als vierter Aggregatzustand bezeichnet wird. Die Gase zerfallen dabei in ein Plasma, wobei die Elektronen der Atomhüllen in den Atomen ganz oder teilweise frei werden. Man erhält freie, negativ geladene Elektronen und positiv geladene Ionen. Materie im Plasmazustand besitzt völlig neue Eigenschaften. Sie ist in der Regel elektrisch sehr leitfähig und durch Magnetfelder leicht beeinflussbar.

Plasmazustände finden sich oft in unserer Umwelt, ohne dass wir sie direkt wahrnehmen. So bilden Kerzenflammen oder Gewitterblitze teilweise Plasmazustände aus. Im Universum sind sie sehr häufig anzutreffen. Plasmen finden sich in den Sternen, beispielsweise im Inneren unserer Sonne. Neuerdings vermutet man auch sogenannte „metallische Plasmen“ im Inneren der Planeten, die dort unter hohem Druck und bei relativ niedriger Temperatur vorhanden sind. Im Labor kann man Plasmazustände durch starke Stromentladungen, durch die Verwendung von Laserstrahlen oder durch den Beschuss von Materie mit Schwerionenstrahlungen künstlich erzeugen.

Aggregatzustände 6

Je mehr man bei einer Abkühlung der Materie dem absoluten Nullpunkt bei $-273,15\text{ °C}$ nahe kommt, umso mehr verlieren die Atome ihre Individualität und funktionieren synchron. Eine Wechselwirkung zwischen den Atomen findet kaum noch statt. Ein Quantenphysiker spricht von einem einzigen Quantenzustand bei den Atomen. Dieser fünfte Aggregatzustand wird als Bose-Einstein-Kondensat oder BEC bezeichnet. Die Atome in einem solchen Zustand sind auch nicht mehr räumlich zuzuordnen. Man könnte auch sagen, die Atome sind im Kondensat überall zugleich. Vorausgesagt wurde dieser fünfte Aggregatzustand von Satyendra Nath Bose und Albert Einstein bereits im Jahre 1925. Der experimentelle Nachweis erfolgte im Jahr 1995 durch Eric Cornell, Carl Wiemann und Wolfgang Ketterle, die im Jahr 2001 dafür den Nobelpreis erhielten.

Im Jahr 2003 stellte ein Wissenschaftlerteam der Universität Colorado ein weiteres Kondensat nahe dem absoluten Nullpunkt her. Das Kondensat aus Fermionen wurde gelegentlich schon als sechster Aggregatzustand bezeichnet. Ob das Fermionen-Kondensat einen sechsten Aggregatzustand oder nur eine Variante des fünften darstellt, ist noch nicht endgültig geklärt.

Ob ein Vakuum als Aggregatzustand bezeichnet werden kann, ist umstritten. Ein Vakuum ist entstanden, wenn die diversen Phänomene, die aus einem Gas bekannt sind, nicht mehr auftreten:

- Es treten keine Strömungsphänomene wie Verwirbelungen oder Sog mehr auf.
- Die Schalleitung ist vollständig unterbrochen.
- Ein Luftwiderstand tritt nicht mehr auf.
- Wärme wird nur durch Wärmestrahlung übertragen.

Im realen Vakuum sind also immer noch Atome enthalten, im Gegensatz zum rein theoretischen absoluten Vakuum. Im Weltall existiert ebenfalls ein Vakuum. Dieses enthält so wenige Atome auf einen Kubikmeter wie es auf der Erde bisher noch nicht technisch realisiert werden konnte.