

Was ist Anorganische Chemie?

In diesem Kapitel

- Anorganische Chemie im Alltag
 - Entwicklung der Anorganischen Chemie
 - Die Sprache der Chemiker
 - Das Periodensystem kennen lernen
-

Wenn Sie demnächst eine Prüfung in Anorganischer Chemie vor sich haben, kann es sein, dass Sie dieses Kapitel überspringen und stattdessen etwas zu dem Thema lesen, mit dem Sie gerade Schwierigkeiten haben. Wenn Sie etwas mehr über den Hintergrund der Anorganischen Chemie erfahren wollen und vielleicht die vielfältigen, ganz alltäglichen und auch großartigen Einsatzgebiete der Anorganischen Chemie kennen lernen wollen, dann fangen Sie am besten mit diesem Kapitel an! Chemische Prozesse umgeben uns in unserem täglichen Leben, häufig wenden wir im Alltag Stoffumwandlungen an oder nutzen die Produkte chemischer Synthesen. Sie erhalten in diesem Kapitel einen kleinen Einblick in die Vielfalt chemischer Prozesse.

Danach erkläre ich Ihnen etwas die Sprache und Formelwelt der Chemiker, und wir werfen einen Blick auf das »berüchtigte« Periodensystem der Elemente.

Anorganische Chemie im Alltag

Anorganische Verbindungen begegnen uns heute in allen Lebensbereichen. Nachfolgend habe ich für Sie einige Beispiele zusammengestellt. Damit möchte ich Ihnen etwas Appetit machen, Ihr Interesse wecken und Ihnen zeigen, dass dieses seltsame Fachgebiet durchaus spannend sein kann.

Anorganische Chemie in der Küche

Kochsalz ist aus unserer Küche nicht wegzudenken. Leicht gesalzene Speisen schmecken nicht nur besser als völlig ungesalzene Kost, sondern das Kochsalz (Natriumchlorid) hat auch wichtige physiologische Funktionen (physiologisch = die Lebensvorgänge im Organismus betreffend). Natriumchlorid ist essentieller (lebenswichtiger) Bestandteil des Blutplasmas und anderer Körperflüssigkeiten. Natrium (Na^+) und andere Kationen stabilisieren über elektrostatische Wechselwirkungen Zellmembranen und die Konformation von Enzymen und anderen Biomolekülen wie z. B. DNA oder RNA. Die Aufnahme von zu viel oder zu wenig Natriumchlorid mit der Nahrung hat drastische Folgen für die Gesundheit. Wenn man nur destilliertes Wasser trinken würde, so würde man daran sterben. Dasselbe Schicksal erleidet

det man, wenn man nur Salzwasser trinkt. Oder wie Paracelsus bereits im 16. Jahrhundert erkannte: »*All Ding' sind Gift und nichts ohn' Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.*«

Ohne **Backtriebmittel** würde man keinen lockeren Kuchen bekommen und es gäbe am Nachmittag zum Kaffee nur feste Teigfladen zu essen. Natriumhydrogencarbonat und Ammoniumhydrogencarbonat (»Hirschhornsalz«) sind in Backpulvern enthalten. Wenn der Teig erhitzt wird, zersetzen sich diese Verbindungen und setzen Kohlendioxid frei. Dieses Gas macht den Teig schön locker und fluffig.

Falls der Abfluss in der Küche mal verstopft sein sollte, greifen Sie bestimmt zum **Abflussreiniger**. Dabei handelt es sich meist um die gefährlichsten Chemikalien, die im Haushalt zu finden sind. Zur Beseitigung von Fetten, Proteinen und Essensresten im Abfluss braucht man schon ein aggressives Mittel. Deshalb enthalten viele Abflussreiniger starke Laugen (Kaliumhydroxid oder Natriumhydroxid) und häufig noch ein Oxidationsmittel (z. B. Natriumhypochlorit). Die Lauge soll die Fette und Proteine hydrolyseren und das Oxidationsmittel soll die Verunreinigungen oxidieren und damit zerstören. Aber Achtung: Wenn Sie es mit dem Reiniger zu gut meinen oder die falschen Mittel mischen, reagieren sie im Abfluss, werden sehr heiß, setzen Gase frei oder verbacken sich zu einer Art Zement.

Bauchemie und Geschirr

Auch beim Hausbau spielen grundlegende chemische Prozesse eine tragende Rolle. Mischungen von Gips mit Wasser müssen sehr schnell verarbeitet werden, da der Gips sonst aushärtet und nicht mehr zu gebrauchen ist. Eine Kalkbrühe darf man auf keinen Fall in die Augen bekommen – man könnte erblinden, da Kalklösungen starke Basen sind. Beton und Kalkmörtel haben unterschiedliche Aushärtezeiten, die auf unterschiedlichen chemischen Prozessen beruhen. Mehr dazu erfahren Sie im Kapitel 3.

Der größte Teil der Minerale auf der Erde besteht aus Silikaten, also aus Verbindungen, die Silicium, Sauerstoff und andere Elemente enthalten. Dem entsprechend werden bei jedem Hausbau Silikate verbaut. Jeder **Ziegel** enthält Silikate. Andererseits gibt es auch High-Tech-Werkstoffe, die Siliciumverbindungen enthalten. Die bekannteste Stoffklasse sind die Silikone. Viele Fugen im Badezimmer oder in anderen Feuchträumen werden heute mit Silikonen abgedichtet. Silikone dienen außerdem zur Hydrophobierung (also wasserabweisend machen) von Sandstein und anderen Natursteinmaterialien im Außenbereich. **Geschirr**, **Glas** und **Porzellan** bestehen ebenfalls zu einem großen Teil aus Siliciumdioxid. Mehr über Silikate, Silikone und andere Siliciumverbindungen werde ich Ihnen in Kapitel 4 erklären. Reduziert man die Silikate zu elementarem Silizium (dem reinen Halbmetall), so kann man sich daraus mit ein paar Tricks Solarzellen für sein Dach herstellen.

Dünger und Sprengstoffe

Anfang des 20. Jahrhunderts waren Nitrat e knapp und teuer. Die einzige nennenswerte Vorkommen fand man in Chile (Chilesalpeter = Natriumnitrat), und es war damals bereits abzusehen, dass die Vorkommen bald erschöpft sein würden. Zur Herstellung von Düngern

und Sprengstoffen brauchte man dringend ein technisches Verfahren. Haber und Bosch entwickelten gemeinsam ein Verfahren zur Herstellung von Ammoniak (NH_3) aus Luftstickstoff. Um den reaktionsträgen Stickstoff aus der Luft zu überreden, mit Wasserstoff zu reagieren, braucht man gewaltige Drücke, Temperaturen von 400–500 °C und einen geeigneten Katalysator. Die ersten Versuchsreaktoren explodierten meist nach wenigen Tagen, da der Wasserstoff aus dem Reaktor entwich. Wie diese Schwierigkeiten bewältigt wurden und wie man aus dem Ammoniak dann Dünger und Sprengstoffe herstellt, erzähle ich Ihnen im Kapitel 5.

Edelsteine und Zahnpaste

Die beiden Dinge haben auf den ersten Blick wenig gemeinsam, aber es gibt anorganische Verbindungen, die durchaus beides sein können: wertvoller Edelstein oder Mittel zum Zähne reinigen! Wichtig für die jeweilige Anwendung ist aber nicht nur die chemische Zusammensetzung, sondern auch in welcher Form die Verbindung vorliegt. So ist fein verteiltes amorphes Siliciumdioxid z. B. Bestandteil der meisten Zahnpasten. Die fein verteilten Siliciumdioxid-Partikel verdicken die flüssige Zahnpfutzmischung und verwandeln diese in eine schöne cremige Paste. Wenn das Siliciumdioxid jedoch schöne Kristalle bildet, die noch Spuren anderer Elemente enthalten können, so hat man Halbedelsteine und Edelsteine wie z. B. Achat, Amethyst, Citrin, Chrysopras, Rauchquarz und Onyx.

Pigmente und Farbstoffe

Ohne Pigmente und Farbstoffe wäre unser Alltag grau und langweilig. Zum Glück gibt es organische und anorganische Pigmente. Die letzteren zeichnen sich häufig durch sehr hohe Beständigkeit aus. Bereits vor mehr als 20 000 Jahren benutzten die Menschen der Eiszeit Naturfarbstoffe wie Ocker, Hämatit, Manganbraun und verschiedene Tone für Höhlenzeichnungen, deren Farben bis heute erhalten sind. Zinnober, Azurit, Malachit und Lapislazuli waren schon im 3. Jahrtausend vor Christus in China bzw. Ägypten bekannt. Um etwa 2000 vor Christus stellte man bereits durch Brennen von natürlichem Ocker rote und violette Pigmente für Töpferwaren her. Anorganische Pigmente sind heute aus unserem Alltag nicht wegzudenken. Nahezu alle Anstrichstoffe für draußen enthalten anorganische Pigmente, die dafür lichtecht (= beständig im Sonnenlicht) und wetterbeständig sein müssen.

Anorganische Chemie früher und heute

Wir sprachen gerade die Höhlenmalereien an. Das sind sozusagen die ersten Anwendungen der anorganischen Chemie, wobei man sicher durch einfaches Probieren herausgefunden hatte, welcher farbige Brei sich als Malfarbe eignet.

Im Mittelalter hatte man beim Durchführen »alchymischer Experimente« die großartigsten Ziele im Auge. Die Suche nach dem Stein der Weisen, der ewiges Leben versprach oder mit dessen Hilfe man unedle Metalle in Gold zu verwandeln hoffte. Diese beiden Ziele erreichten die Alchimisten nicht, aber als Nebenprodukt dieser verbissenen Forschung wurde zum Beispiel das europäische Porzellan entwickelt oder das Element Phosphor entdeckt.

Heute beruht die Anorganische Chemie weitgehend auf naturwissenschaftlichen Grundlagen. Die Physik liefert uns die Schrödinger-Gleichung und die Wellenfunktion zur Beschreibung der Elektronenbewegungen in den Molekülen. Die Mathematik und die Computertechnologie ermöglichen uns, dass wir die Wellenfunktion – mit einigen Vereinfachungen – berechnen können und somit Eigenschaften und Reaktivität von Molekülen vorhersagen können.

Aber die Elemente des Periodensystems sind so unterschiedlich und es gibt so viele Möglichkeiten, diese Elemente miteinander zu kombinieren, d. h. Verbindungen, Legierungen, Mischungen herzustellen, dass die anorganische Chemie immer noch weitgehend eine empirische Wissenschaft ist. Wenn ich also wissen will, wie eine Verbindung oder ein Gemisch von Verbindungen reagiert, wozu sich diese verwenden lässt, was ich damit anstreichen, wegätzen oder beschichten kann, so muss ich das im Labor ausprobieren. Und das ist ja eigentlich das Spannende: Im Labor stehen, etwas Neues herstellen, was noch nie ein Mensch zuvor hergestellt hat, und ausprobieren, was das Zeug für Eigenschaften hat! Deshalb liebe ich diesen Beruf so sehr.

Die Sprache der Chemiker – Formeln, Gleichungen, Symbole

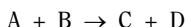
Jetzt kommen wir zu einem heiklen Kapitel. Die Sprache der Chemiker ist vollgestopft mit Abkürzungen, Formeln, Gleichungen und Symbolen, die ein Außenstehender meist nicht vollständig versteht. Ich will versuchen, Ihnen die wichtigsten davon zu erläutern, damit Sie die wesentlichen Grundlagen beherrschen.

Atome bestehen aus einem schweren Kern und meist diversen leichten Elektronen, die sich mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit in fixen Bereichen, den sogenannten Orbitalen, um den Kern herum aufhalten. Wenn sich mehrere solche Atome nahe kommen und die Bedingungen günstig sind, können sie einander Elektronen übertragen oder ihre Orbitale kombinieren, um sich die Elektronen zu teilen – damit werden sie zu Molekülen. Da das Aussehen eines Atoms oder Moleküls und deren Reaktionen mitunter sehr kompliziert zu beschreiben und zu zeichnen sein können – ganz zu schweigen vom Berechnen –, haben Chemiker einige Formen der vereinfachten Darstellung entwickelt. Je nachdem welche Informationen wichtig sind, kann man eine einfache Form wählen oder muss eventuell eine kompliziertere Darstellung verwenden. In der folgenden Tabelle habe ich Ihnen einige gängige Darstellungsmethoden für die Beispiele Kohlendioxid und Kochsalz (Natriumchlorid) dargestellt.

Darstellungsmethode	Beispiel Kohlendioxid	Beispiel Kochsalz
Die Summenformel gibt an, aus welchen Atomen ein Molekül besteht.	CO_2	NaCl
Die Strukturformel (Mitte) zeigt, wie die einzelnen Atome in Molekülen verknüpft sind.	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	
Bei Salzen kann man auch ein Kristallgitter (rechts) zeichnen.		
Eine Kugel-Stab-Darstellung stellt die Bindungslängen und -winkel genau dar.		
Kalottendarstellungen geben einen realistischen Eindruck von den tatsächlichen Atomradien.		

Tabelle 1.1: Darstellungen in der Anorganischen Chemie

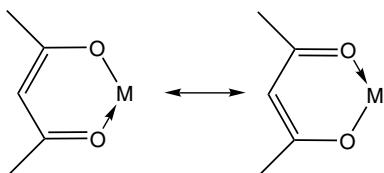
Das Zustandekommen der Verbindungen zwischen Atomen und Molekülen beschreiben Chemiker mit **Reaktionsgleichungen**. Fast alle chemischen Sachverhalte kann man in eine Reaktionsgleichung hineinpressen. Im Unterschied zur Mathematik verwenden wir allerdings keine Gleichheitszeichen, sondern verschiedene Arten von Pfeilen. Da gibt es einmal den Pfeil, der in eine Richtung zeigt. Aus den Ausgangsstoffen A und B entstehen die Produkte C und D:



Ein Pfeil ist hier besser als ein Gleichheitszeichen, da man häufig die Reaktionsprodukte nicht wieder ohne weiteres in die Ausgangsstoffe zurückverwandeln kann. Anders ist das beim chemischen Gleichgewicht. Hierbei liegen die Ausgangsstoffe A und B mit den Reaktionsprodukten C und D im Gleichgewicht vor. Zur Symbolisierung eines Gleichgewichtes verwendet man einen doppelten Pfeil, der in beide Richtungen zeigt:



Ausgangsstoffe und Produkte existieren nebeneinander in unterschiedlichen Anteilen. Man versucht häufig die Lage des Gleichgewichtes durch geschickte Wahl der Reaktionsbedingungen zu beeinflussen, damit man möglichst viel vom Reaktionsprodukt erhält. Ein Beispiel für eine solche Gleichgewichtsreaktion werde ich Ihnen im Kapitel 5 bei der technischen Ammoniaksynthese vorstellen. Dann gibt es noch spezielle Pfeile, wie zum Beispiel den Mesomeriepfeil, der eine Umlagerung von Mehrfachbindungen beschreibt:



In dem obigen Beispiel sehen Sie gleich noch einen Pfeil von O zum M (Metallatom). Dieser symbolisiert hier eine Donor-Akzeptor-Wechselwirkung vom Sauerstoffatom (Elektronenpaar-Donor) zum Metallatom (Elektronenpaar-Akzeptor).

Wie das obige Beispiel zeigt, verwenden wir ganz bestimmte Symbole zur Bezeichnung von Bindungsverhältnissen. Den größten Teil dieser Symbole werden Sie wahrscheinlich schon kennen. Zur sicheren Verständigung gebe ich Ihnen in der nachfolgenden Tabelle aber trotzdem eine Übersicht über die in diesem Buch verwendeten »Bindungsstriche«.

Bindungsstrich	Erklärung
$A—B$	Einfachbindung zwischen A und B
$A= B$	Doppelbindung zwischen A und B
$A\equiv B$	Dreifachbindung zwischen A und B
$A\rightarrow B$	Donor-Akzeptor-Wechselwirkung von A nach B. Das bedeutet, dass Elektronen von A durch B angezogen werden.
$A\text{---}\overline{B}$	Einfachbindung, wobei A in der Papierebene und B vor der Papierebene liegt. Diese »Keilbindung« wird manchmal auch zur symbolischen Darstellung von Bindungspolaritäten verwendet!
$A\cdots\overline{B}$	Einfachbindung, wobei A in der Papierebene und B hinter der Papierebene liegt
$A\cdots\cdots B$	schwache Wechselwirkung zwischen A und B, z. B. eine Wasserstoffbrückenbindung

Bindungsstrich	Erklärung
$ \text{NH}_3$	Am Stickstoffatom (N) befindet sich ein nichtbindendes Elektronenpaar. Das bedeutet, dass es nicht zur Bindung an eines der Wasserstoffatome (H) verwendet wird. Freie Elektronenpaare sind wichtig für die Wechselwirkungen von Atomen und Molekülen.
$\text{BaSO}_4 \downarrow$	Das Bariumsulfat (BaSO_4) »fällt aus«. Wenn sich in Wasser gelöste Ba^{2+} - und SO_4^{2-} -Ionen treffen, so reagieren sie zu BaSO_4 . Diese Substanz ist nicht mehr löslich und fällt als sogenannter Niederschlag aus, den man filtrieren kann. Dies ist eine gute Methode, um Substanzen zu trennen.
$\text{CO}_2 \uparrow$	Wenn bei der Reaktion in einer Flüssigkeit ein Gas entsteht, z. B. Kohlendioxid (CO_2), so tritt es in Form von Gasblaschen aus der Lösung aus.
$\bullet\text{O}_3$	Radikale, wie Ozon (O_3), haben ein ungepaartes Elektron. Elektronen halten sich in der Regel zu zweit in einem Atomorbital auf. Wenn sie alleine sind, ist die Substanz in der Regel sehr reaktiv.

Tabelle 1.2: Symbole für Bindungen in diesem Buch.

Die wichtigsten Symbole des Chemikers sind die **Elementsymbole** des Periodensystems. Es wäre gut, wenn Sie die Elementsymbole auswendig wissen, wenn Sie also lernen, was die Abkürzungen C, N, P, Cl, Ti, Fe, usw. bedeuten. Daneben gibt es noch eine Reihe anderer Abkürzungen, die häufig verwendet werden. Diese werden manchmal direkt auf den Reaktionspfeil geschrieben oder sie tauchen im Text auf. Einige übliche Abkürzungen habe ich Ihnen in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Abkürzung	Erklärung
ΔT	Erhitzen
solv.	solvatisiert mit Lösungsmittel
aq.	solvatisiert mit Wasser
δ	chemische Verschiebung im NMR-Spektrum
$\delta+$ bzw. $\delta-$	Partialladungen an Atomen
\oplus \ominus	Formalladungen an Atomen
λ	Wellenlänge »lambda« häufig für Lichtabsorption oder eingestrahltes Licht
\AA	Einheit »Angström« für Bindungslängen $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Tabelle 1.3: Übliche Abkürzungen in der chemischen Literatur.

Elektronegativität und Periodizität der Eigenschaften – wichtige Hilfsmittel zur Orientierung

In der Anorganischen Chemie arbeiten wir mit vielen verschiedenen Elementen, die wir miteinander kombinieren können. Zur Vorhersage der Eigenschaften der entstehenden Verbindungen ist das Periodensystem der Elemente (PSE; siehe Schummelseite am Anfang des Buches) ein wichtiges Hilfsmittel. Diese regelmäßige Anordnung der Elemente ist keinesfalls willkürlich, sondern folgt den Gesetzen des **Aufbauprinzips** (siehe Kapitel 12). Aus dem Periodensystem kann man sich bestimmte Gesetzmäßigkeiten ableiten, und wenn man weiß, wo ein Element im Periodensystem steht, so kann man die Eigenschaften und die Reaktivität dieses Elements bereits ungefähr voraussagen. Folgende allgemeingültigen Aussagen lassen sich aus dem PSE und den Elektronegativitäten der Elemente ableiten:

- ✓ Die Elektronegativität im Periodensystem der Elemente nimmt in den Hauptgruppen von links nach rechts zu.
- ✓ Die Elektronegativität innerhalb der Hauptgruppen nimmt nach unten hin ab.
- ✓ Die Elemente der 1. bis 3. Hauptgruppe geben sehr gern Elektronen ab (sie sind sehr elektropositiv). Dabei entstehen positiv geladene Kationen, die die gleiche Ladung besitzen wie die Gruppennummer (1. Hauptgruppe – M^+ , 2. Hauptgruppe – M^{2+} , 3. Hauptgruppe – M^{3+})
- ✓ Die Elemente der 4. Hauptgruppe besitzen eine mittlere Elektronegativität. Kohlenstoff hat fast die gleiche Elektronegativität wie Wasserstoff und die beiden Elemente bilden sehr stabile kovalente Bindungen. Deshalb gibt es tausende von Kohlenwasserstoffen, die das Hauptgebiet der organischen Chemie darstellen.
- ✓ Die Elemente der 5. bis 7. Hauptgruppe haben eine zunehmend höhere Elektronegativität. Deshalb bilden sich hier häufig Anionen. Die Elemente nehmen dabei so viele Elektronen auf, dass sie die Elektronenkonfiguration der nachfolgenden Edelgase erreichen. Also z. B. kann Stickstoff 3 Elektronen aufnehmen, sodass $5 + 3 = 8$ Elektronen in der Valenzschale enthalten sind.
- ✓ Die Übergangsmetalle treten in mehreren Oxidationsstufen auf, das hängt von ihrer Elektronenkonfiguration ab. Mehr dazu erfahren Sie im Kapitel 9.
- ✓ In der Fachliteratur gibt es verschiedene Darstellungsweisen des Periodensystems der Elemente. In der modernsten Form des PSE werden die 18 Gruppen einfach von vorn bis hinten durchnummeriert. Diese Variante ist gegenwärtig die von der IUPAC (= International Union of Pure and Applied Chemistry) offiziell empfohlene Darstellungsweise. Klassischerweise nimmt man jedoch eine Einteilung in Haupt- und Nebengruppen vor. Bei Hauptgruppenelementen werden die s- und p-Orbitale mit maximal acht Elektronen aufgefüllt. Bei den Nebengruppenelementen werden die d-Orbitale schrittweise mit Elektronen gefüllt. Letztere zeigen eine starke Variationsbreite in den Oxidationsstufen und haben deutlich andere Eigenschaften als die Hauptgruppenelemente. Deshalb halte ich die Unterscheidung in Haupt- und Nebengruppen für sinnvoll und werde diese Bezeichnungen auch in diesem Buch konsequent verwenden.