



1

Was machen die Chemiker eigentlich?

Ein Tag in den Sommerferien: Spaziergang im Stadtpark, ein vorbeifahrendes Auto, ein Schluck Mineralwasser zur Erfrischung ... Was hat das mit Chemie zu tun? Chemie, ist das nicht gesundheitsschädliche Arbeit mit Reagenzgläsern und geheimnisvollen Geräten, »unnatürlich«, Umweltverschmutzung und unverständlicher Formelkram? Das kann aber nicht alles sein. Wieso gibt es in der Schule trotzdem das Fach Chemie, wo doch schon dieser Name für viele wie ein Schimpfwort klingt? Wieso arbeiten trotzdem allein in Deutschland über 400.000 Menschen in der chemischen Industrie? Wieso werden Menschen für herausragende Forschungsleistungen in der Chemie ausgezeichnet, zum Beispiel mit dem Nobelpreis?

In diesem Kapitel lernst du

- ⊙ welche Bedeutung die Chemie in deinem Leben hat
- ⊙ was der Chemiker unter Stoffen versteht
- ⊙ was den Chemiker vom Physiker unterscheidet
- ⊙ welche Aufgaben die Chemie hat
- ⊙ seit wann es Chemie gibt

1



Wohin man blickt – Stoffe!

Schauen wir etwas genauer hin bei unserem Spaziergang. Das Sonnenlicht, die Buche im Stadtpark – zusammen eine chemische Fabrik, die in jeder Stunde ein paar hundert Gramm Zucker und große Mengen Sauerstoff erzeugt!



Sonne

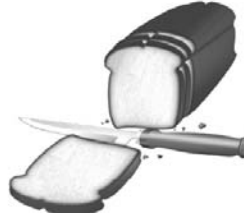


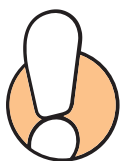
Abb. 1.1: Grüne Pflanzen erzeugen im Sonnenlicht Kohlenhydrate.

Das vorbeifahrende Auto – es enthält etwa 150 kg Kunststoffe, die von der chemischen Industrie hergestellt wurden. Das Mineralwasser – es enthält chemisch erzeugte Kohlensäure. Wir selbst – eine »chemische Fabrik«, die ständig Nahrung in andere Stoffe umwandelt. Und bereits bei den bisher genannten Punkten eine der Gemeinsamkeiten, die uns später die Übersicht im riesigen Feld der Chemie erleichtern werden: Es ist das Gas Kohlenstoffdioxid, von dem du vielleicht schon gehört hast. Das Auto und wir selbst erzeugen dieses Gas; im Mineralwasser entsteht daraus die Kohlensäure, und die Buche wandelt es zusammen mit Wasser und mit Hilfe des Sonnenlichts in den neuen Stoff Zucker um.



Abb. 1.2: Baum, Auto, Medikamente – Chemie ist überall!

Aber das ist noch nicht alles: deine Kleidung, die Sonnenschutzcreme, die Tablette gegen Zahnschmerzen, die Luft um dich herum – all das interessiert den Chemiker. Wie? Du möchtest »keine Chemie« in deiner Kleidung, trägst reine Baumwolle oder vielleicht sogar reine Seide? Sei sicher – auch das gehört zur Chemie. Aber was ist denn nun Chemie? Was machen die Chemiker eigentlich?



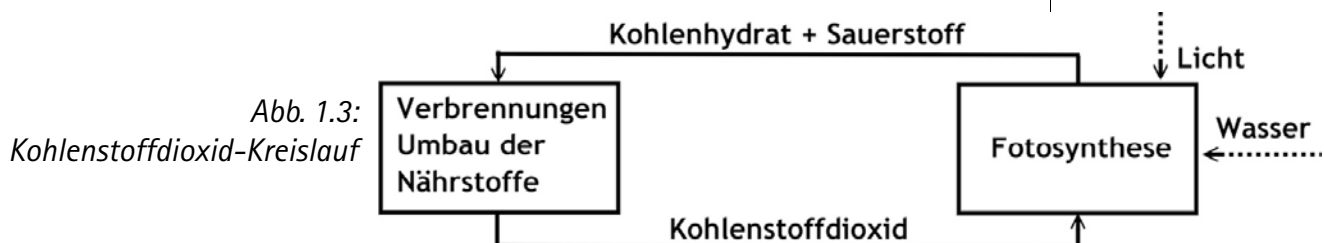
Unsere erste Erkenntnis: Chemie ist überall!

Betrachten wir noch einmal Kohlenstoffdioxid, eine gasförmige Substanz. In der Luft ist sie nur in geringen, aber leider steigenden Mengen vorhan-

Wohin man blickt – Stoffe!



den: Dieser Anstieg ist höchstwahrscheinlich die Hauptursache für die zunehmende Erderwärmung (Treibhauseffekt). Es wird von Lebewesen bei der Umwandlung von Nährstoffen erzeugt. Ein Erwachsener gibt täglich etwa 360 Liter davon (über 700 Gramm) an die Umwelt ab, bei schwerer körperlicher Arbeit auch erheblich mehr. Ein Mittelklassewagen erzeugt zwischen 140 und 200 Gramm Kohlenstoffdioxid pro Kilometer(!). In großen Mengen entsteht es bei der Verbrennung von Holz, Kohle und Erdölprodukten. Andererseits sind grüne Pflanzen mit Hilfe des Sonnenlichts in der Lage, aus diesem scheinbar nutzlosen Gas etwas sehr Wertvolles herzustellen: Zucker, ein Kohlenhydrat. Das ist der wichtigste chemische Vorgang auf diesem Planeten Erde (wegen der Mitwirkung des Lichts nennt man ihn *Fotosynthese*), denn er ist die Grundlage für fast alle Lebensformen.



Bei der Fotosynthese werden durch die Energie des Sonnenlichts Kohlenhydrate erzeugt. Ohne die Fotosynthese gäbe es fast kein Leben auf der Erde. Durch den Verbrauch von Kohlenstoffdioxid bremst die Fotosynthese den Treibhauseffekt.



Die Aufgabe des Chemikers

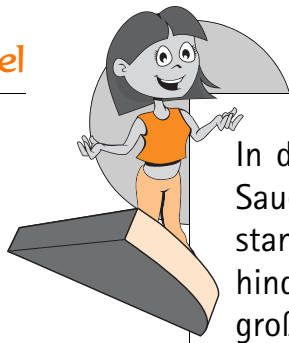
Aber offenbar reicht dieser Vorgang nicht mehr aus, um die steigenden Kohlenstoffdioxidmengen zu bewältigen. Der Chemiker wird nach Wegen suchen, Kohlenstoffdioxid auf andere Weise »unschädlich« zu machen. Dazu muss er aber diese Substanz sehr gut kennen lernen. Er muss ihr Vorkommen, ihre Entstehung und ihre Eigenschaften erforschen, so genau wie möglich – ein »Steckbrief« dieser Substanz muss erstellt werden, wie bei der Kriminalpolizei.

Vorläufiger Steckbrief von Kohlenstoffdioxid (auch Kohlendioxid genannt):

Farb- und geruchloses Gas, schwerer als Luft, wasserlöslich, in der Luft zu 0,03% enthalten (ab 5% Vergiftungserscheinungen), in großen Mengen im Wasser der Weltmeere gelöst, flammenerstickend, wird bei -78 °C fest.



1



In der Luft ist sie gemischt mit den Hauptbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff enthalten. Sie kann durch Sauerstoffkontakt aus allen Substanzen entstehen, die Kohlenstoff enthalten. Der Chemiker möchte verhindern, dass zu viel davon in die Luft kommt, z.B. aus den Schornsteinen großer Kohlekraftwerke. Das entstehende Kohlenstoffdioxid soll so gut es geht noch im Schornstein abgefangen, also aus dem Abgasgemisch herausgetrennt werden. Das gelingt durch Einleitung in Kalkwasser: Unser Sorgenkind bindet sich in Form von Kalkstein und kann so z.B. als Baustoff weitere Verwendung finden.

Chemie oder Physik

Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Kraftstoff, Kunststoff, Farbstoff – immer wieder dieser Begriff »Stoff«! Wir wollen ihn künftig so verwenden: Eine Substanz besteht aus (reinen oder gemischten) Stoffen, und diese Stoffe bilden einen »Körper«. Ein solcher Körper wäre beispielsweise ein aufgeblasener Luftballon. Er besteht aus den Stoffen Gummi und Luft, wobei die Luft ihrerseits ein Stoffgemisch ist. Warum diese Abgrenzung zwischen Stoffen und Körpern? Ganz einfach, weil hier eine Grenzlinie zur anderen großen Naturwissenschaft verläuft, zur Physik. Für den Chemiker stehen die *Stoffe* im Vordergrund, für den Physiker die Eigenschaften und das Verhalten von *Körpern*, insbesondere ihre *Energie*. Beispiel Fußball: Der Chemiker fragt z.B. nach den Eigenschaften der Kunststoffe, aus denen dieser besteht. Der Physiker hat andere Fragen: Wie weit fliegt der Fußball, wenn er mit einer bestimmten »Wucht« getreten wird? Unter welchem Winkel sollte er abgeschlagen werden, damit er möglichst weit fliegt? Wie verhält es sich also mit der *Energie* des Fußballs unter bestimmten Bedingungen?

Physik:
Energie?



Chemie:
Stoffe?

Abb. 1.4: Physik und Chemie des Fußballs

Aber natürlich ist diese Abgrenzung nicht ganz eindeutig. Energie spielt auch in der Chemie eine große Rolle, und der Physiker kann stoffliche Eigenschaften nicht vernachlässigen, wenn er das Verhalten von Körpern

Wohin man blickt – Stoffe!

studiert. Deshalb muss jeder gute Chemiker auch etwas von Physik verstehen und umgekehrt.

Chemie untersucht Stoffe – Physik untersucht Körper

Stoffe umgeben uns in unendlicher Vielfalt. Müll, Abwasser, Luft, Abgase, Lebensmittel, Gesteine sind typische Beispiele von Stoffgemischen. In vielen Fällen hat der Chemiker die Aufgabe, solche Gemische zu trennen (Recycling, Abwasser- und Abgasreinigung, Erzgewinnung).

Bestandteil	Anteil (%)
Bioabfälle	31
Papier/Pappe/Kartonagen	13
Glas	12
Kunststoffe	10
Metalle	5
Textilien	4
Mineralstoffe	4
Verbundstoffe	3
Holz	2
Schadstoffbelastete Abfälle	1
Sonstiges	15

Der reine Stoff

Andere Stoffe gelten zwar als »rein« – z.B. Metalle (Eisen, Aluminium usw.), Halbleiter (Silizium), Zucker, Salz, Arzneimittelwirkstoffe – sind es aber in Wirklichkeit gar nicht. Es gibt ein Gebiet der Chemie, das sich auf die Untersuchung der Zusammensetzung und den Nachweis von Stoffen spezialisiert hat: die analytische Chemie. Sie ist mit modernen Methoden in der Lage, auch äußerst geringe Verunreinigungen nachzuweisen. So



*Tabelle 1.1:
Hausmüllanalyse
2000/2001 der
Landeshaupt-
stadt Magdeburg
(Sachsen-An-
halt). Gesamt-
Müllmenge pro
Jahr 54.500 t.*

1



kann z.B. das Umweltgift Blei in manchen Lebensmitteln noch nachgewiesen werden, wenn es nur zum fünfzigmillionsten Teil enthalten ist (20 ppb, also »parts per billion«, Anteile pro Milliarde).



Steckbrief Blei: Häufigkeit in der Erdkruste 0,0018%, schweres und sehr weiches Metall, sehr giftig, Verwendung: Bleikabel, Akkumulatoren, Strahlenschutz usw.

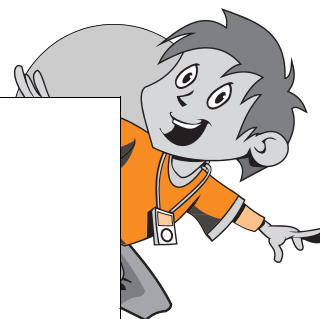
Bestimmte Bestandteile des Benzins (Antiklopffmittel) können in Wasser nachgewiesen werden, wenn sich nur der hundertmillionste Teil davon in einem Liter gelöst hat – das sind 0,00000001 Gramm. Oder anders ausgedrückt: In 100 Millionen Liter Wasser kann man noch ein Gramm dieser Antiklopffmittel nachweisen! Man spricht von der »Nachweisgrenze«: Wenn man nichts findet, heißt das noch lange nicht, dass es keine Verunreinigung gibt – sie liegt dann eben unter der Nachweisgrenze.



»Acetylsalicylsäure reinst, Gehalt > 99,5%« (Angaben auf einem Chemikalien-Etikett; es handelt sich um den Wirkstoff von Aspirin-Tabletten)

Den völlig reinen Stoff, der mit keinem anderen Stoff verunreinigt ist, gibt es also nur theoretisch. Für viele Anwendungsbereiche wäre er sehr wünschenswert, beispielsweise im Arzneimittelbereich oder in der Halbleiterindustrie. Die Steigerung des Reinheitsgrades chemischer Produkte ist deshalb eine immerwährende, sehr anspruchsvolle Aufgabe der Chemie.

Wegen der enormen methodischen Fortschritte in der Analytik lassen sich in menschlichem Blut oder in der Muttermilch heute mehr Stoffe nachweisen als noch vor einigen Jahren. Aus wissenschaftlicher Sicht ist diese Tatsache nicht überraschend, da der Mensch durch Atmung und Ernährung in einem ständigen Stoffaustausch mit seiner Umgebung steht. Moderne Biomonitoring-Verfahren erlauben heute den Nachweis eines Tropfens einer Substanz gelöst in 100.000 Litern, was etwa dem Fassungsvermögen eines Eisenbahnkesselwagens entspricht. Romanowski: »Das Aufspüren synthetischer Substanzen in so geringen Konzentrationen wie Millionstel (ppm) oder sogar Milliardstel Gramm (ppb) je Gramm ist nicht automatisch mit einem gesundheitlichen Risiko gleichzusetzen. Darin sind sich Wissen-



schaft und Behörden weitgehend einig.« (Aus einer Stellungnahme des Verbandes der chemischen Industrie e. V., VCI, vom 6.10.2005)

Aufgaben der Chemie

Die bisher näher beschriebenen Aufgaben der Chemie können wir so zusammenfassen (und in Kapitel 2 vertiefen):

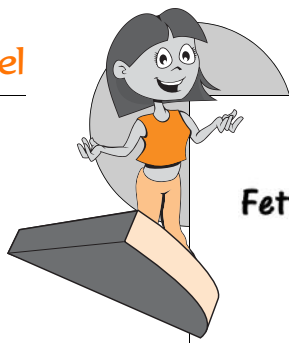
- ◇ Untersuchung von Stoffeigenschaften
- ◇ Nachweis von Stoffen
- ◇ Trennung/Reinigung von Stoffgemischen

Aber zur Chemie gehört noch viel mehr als »nur« die Reinigung und Zerlegung von Stoffgemischen sowie die Untersuchung und der Nachweis von Stoffen, die bereits auf natürlichen Wegen entstanden sind. Chemie kann mehr: In *chemischen Reaktionen* werden ganz gezielt *neue Stoffe* erzeugt. In aller Regel entstehen sie aus mehreren, teils einfacheren Stoffen oder können in solche zerlegt werden. Man spricht deshalb von *chemischen Verbindungen*. Manche davon gab es bereits in der Natur, z.B. Vitamine. Die chemische Produktion deckt hier den gestiegenen Bedarf, der sich aus dem Bevölkerungswachstum ergibt. Andere Stoffe werden ganz gezielt und maßgeschneidert für technische, medizinische oder Konsumzwecke hergestellt, z.B. Reinigungsmittel, Malaria-Präparate oder Lippenstiftfarben. Und oft werden gefährliche Stoffe durch chemische Reaktionen unschädlich gemacht (Beispiel: Abgasreinigung). Mit diesem riesigen Gebiet der chemischen Verbindungen und Reaktionen werden wir uns jetzt näher befassen.

Wenn das Essen anbrennt: Chemische Reaktionen

Das haben wir alle schon mal erlebt: Fett wird in der Pfanne überhitzt, ein beißender Geruch entsteht und verursacht Kopfschmerzen. Der Stoff Fett (eigentlich ein Gemisch sehr ähnlicher chemischer Verbindungen, der »Triglyceride«) wird durch die Hitze zunächst in einfachere Stoffe zerlegt: Glycerin und Fettsäuren. Glycerin (das der Chemiker korrekt *Glycerol* nennt) kennen wir als Hautpflegemittel; es hat völlig andere Eigenschaften als unser Bratfett! Noch mehr gilt das für die Produkte der anschließenden chemischen Reaktion: Aus Glycerol entsteht Wasser und Acrolein – dieses giftige Gas verursacht den Kopfschmerz.

1



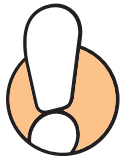
Fett + Wärme



Acrolein

Abb. 1.5: Aus überhitztem Fett entsteht das giftige Acrolein.

Ausgangsstoffe (Edukte) bilden also in einer chemischen Reaktion neue und andersartige Endstoffe (Produkte). Eigentlich kennen wir das ja schon: die Buche im Stadtpark mit ihrer Zuckerproduktion, die Kohlensäure im Mineralwasser, die Umwandlung unserer Nahrung – chemische Reaktionen sind überall! Ein Streichholz verbrennt, übrig bleiben Gase und ein bisschen Asche – die Liste chemischer Reaktionen in unserem Alltag ließe sich fast endlos fortsetzen.



Chemische Reaktionen sind überall!

Aber der Chemiker erforscht nicht nur solche Alltagsreaktionen (obwohl auch diese oft sehr kompliziert und schwer verständlich sind). Mehr als 20 Millionen chemische Verbindungen sind bereits bekannt, jedes Jahr kommen Hunderttausende neue dazu. Über sechs Millionen bekannte chemische Reaktionen lassen diese Vielfalt entstehen.

Die Beiträge der Greifswalder Wissenschaftler um Prof. Ulrike Lindequist (Institut für Pharmazie) und Prof. Frieder Schauer (Institut für Mikrobiologie) konzentrierten sich auf die Suche nach neuen Wirkstoffen aus marinen Organismen. Dazu wurden in Kooperation mit dem Institut für Marine Biotechnologie in Greifswald über 300 Algen, Pilze, Muscheln, Schnecken und Würmer untersucht, aus denen verschiedene Wirkstoffe isoliert und chemisch definiert wurden. Die gewonnenen Substanzen wurden anschließend auf ihre Wirkung gegen Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Pilze), gegen Tumorzellen sowie auf Knochenzellen (Osteoporose-Schutz), Hautzellen und verschiedene Enzyme geprüft. Mehrere hochaktive neue Substanzen aus marinen Organismen konnten dabei entdeckt werden. Diese wurden daraufhin in Rostock analysiert, nachsynthetisiert und in größeren Mengen hergestellt. (Aus: Analytik-News – Tagesaktuelle News und Infos für Analytiker, www.analytik-news.de, vom 4.1.2006)

Wenn das Essen anbrennt: Chemische Reaktionen



Die chemische Industrie erzeugt aus ca. 300 so genannten »Grundprodukten« schließlich etwa 100.000 Produkte für den Endverbraucher. Die Grundprodukte (z.B. Ammoniak, Kohlenwasserstoffe) wiederum stammen aus den Vorräten dieser Erde: vor allem Erdöl und Erdgas, selten auch noch Kohle (die fossilen Rohstoffe), dazu Luft, Wasser und mineralische Rohstoffe (Erze).

Sparte	Prozentanteil
Chemische Grundstoffe	48,47
Schädlingsbekämpfung-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmittel	0,93
Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte	7,84
Pharmazeutische Erzeugnisse	22,44
Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemittel, Duftstoffe	7,73
Klebstoffe, Gelatine	1,07
Chemiefasern	3,17
Datenträger	0,31
Sonstige	8,04

Tabelle 1.2: Anteil der Sparten an der Gesamtproduktion der deutschen chemischen Industrie im Jahr 2004 (Quelle: Verband der chemischen Industrie, VCI)

Das alles ergibt noch nicht die Zahl von 20 Millionen bekannten (in Datenbanken registrierten) Verbindungen. Viele entstehen zunächst in der wissenschaftlichen Forschung, die eine oder andere findet schließlich den Weg zur industriellen Produktion.

Wir können jetzt also eine vollständige Definition der Chemie angeben – sie lautet kurz und bündig:

Chemie ist die Wissenschaft von den Stoffen und Stoffumwandlungen.



Ein einfacher Satz, hinter dem sich ein riesiges Universum des Wissens und der Anwendungen verbirgt!

Den Überblick behalten

Wie soll man sich bei der gewaltigen Zahl bekannter Verbindungen eigentlich noch in der Chemie zurechtfinden? Ohne das regelmäßige Stu-

1



dium von Fachzeitschriften – die gibt es schon seit dem Jahr 1778 – geht das keinesfalls. Allerdings erscheinen dort inzwischen ca. 600.000 Veröffentlichungen pro Jahr (in der Regel in englischer Sprache), so dass man um Spezialisierung und die Nutzung elektronischer Datenbanken schon lange nicht mehr herumkommt.



Abb. 1.6: Chemie-Informationsquellen sind Fachzeitschriften, Bücher, elektronische Verzeichnisse (DVD) und das Internet.

Von der analytischen Chemie hast du schon gehört. Weitere Fachrichtungen:

- ◇ Organische Chemie: die Chemie des Grundbausteins (Elements) Kohlenstoff
- ◇ Anorganische Chemie: Verbindungen aus anderen Grundbausteinen (Elementen)
- ◇ Physikalische Chemie: Anwendung physikalischer Erkenntnisse und Methoden in der Chemie
- ◇ Biochemie: chemische Vorgänge in lebenden Systemen

In dieser Aufzählung ist erstmals die Rede von »Grundbausteinen« oder genauer »Elementen«. In Kapitel 3 werden wir uns näher damit befassen. Die organische Chemie ist das Hauptthema in den Kapiteln 9 und 10, wird uns aber – ebenso wie die anorganische und physikalische Chemie – auch zuvor immer wieder begegnen. Biochemie schließlich setzt fundierte Kenntnisse insbesondere der organischen Chemie, aber auch der Biologie voraus. Eine genauere Betrachtung würde den Rahmen dieses Buches leider bei weitem sprengen.

Seit wann gibt es Chemie?

Seit 1778 gibt es also schon chemische Fachzeitschriften – und wie lange gibt es schon die Chemie? Diese Frage ist nicht ganz leicht zu beantworten, denn natürlich haben sich die Menschen schon seit Urzeiten mit Stoffen und Stoffumwandlungen beschäftigt und sich Gedanken darüber gemacht. Das Wort jedenfalls stammt aus dem Arabischen. Die alten »Alchimisten« suchten beispielsweise nach Möglichkeiten, den relativ wertlosen Stoff Blei in Gold zu verwandeln – nicht gerade aus wissenschaftlichen Gründen! Fragen wir also besser nach den Anfängen der Che-

Zusammenfassung



mie als Wissenschaft, die nach Erkenntnis sucht. Da finden wir bereits um 400 v. Chr. den Griechen Demokrit, der – auf die stoffliche Welt bezogen – den berühmten Satz sprach: »In Wahrheit gibt es Atome und eine Leere.« Die Weisheit dieser Feststellung wird sich uns in Kapitel 5 erschließen. Ein weiteres »Highlight« in der Chemie-Geschichte war dann sehr viel später John Dalton mit seinem Teilchenmodell (»daltonsche Atomhypothese«, 1809; siehe Kapitel 3). Im 19. Jahrhundert lieferte z.B. der deutsche Chemiker Justus von Liebig entscheidende Impulse sowohl für die wissenschaftliche Weiterentwicklung als auch die wirtschaftliche Umsetzung seines Faches.

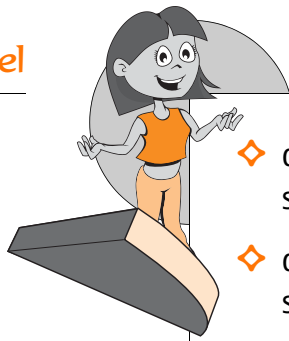
Nach diesem Überblick können wir uns jetzt die Teilgebiete, Konzepte und Arbeitsweisen der Chemie genauer ansehen. Wir beginnen mit dem ersten Teil der Chemie-Definition, mit dem Stoff »an sich«. Stoffkenntnis ist schließlich die Voraussetzung für gezielte stoffliche Umwandlungen. Du lernst in Kapitel 2 zunächst die Systematik der Stoffe und Stoffgemische sowie Möglichkeiten der Stofftrennung kennen, bevor wir in Kapitel 3 bei den »einfachsten« Stoffen überhaupt ankommen – den Elementen. Keine Angst – die Zahl der Elemente ist viel kleiner als zwanzig Millionen!

Zusammenfassung

Den ersten Spaziergang im Riesenreich der Chemie hast du hinter dir. In diesem Kapitel hast du gelernt

- ◇ dass die Fotosynthese aus Kohlenstoffdioxid und Wasser mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlenhydrate und Sauerstoff erzeugt und dies die wichtigste chemische Reaktion auf unserem Planeten ist
- ◇ dass Substanzen aus Stoffen zusammengesetzt sind und Stoffe einen Körper bilden
- ◇ dass es völlig reine Stoffe nicht gibt
- ◇ dass der Chemiker Stoffe untersucht, Stoffgemische trennt und Stoffe umwandelt
- ◇ dass der Physiker Körper und ihre Energie erforscht
- ◇ dass die chemische Industrie aus ca. 300 Grundprodukten etwa 100.000 Endprodukte erzeugt
- ◇ dass der Chemiker derzeit mehr als 20 Millionen chemische Verbindungen und sechs Millionen unterschiedliche chemische Reaktionen kennt

1



- ◇ dass es die Fachrichtungen der analytischen, organischen, anorganischen, physikalischen und der Biochemie gibt
- ◇ dass sich Menschen bereits seit mehr als zweitausend Jahren wissenschaftlich mit der Chemie beschäftigen

Aufgaben

1. Formuliere einen Stoffkreislauf, der im grünen Gras einer Wiese beginnt, indem du die Begriffe *Weiderind* – *Kohlenstoffdioxid* – *Wasser* – *Mensch* – *Sonnenlicht* – *Kohlenstoffdioxid* – *Kohlenhydrat* – *Fotosynthese* (siehe Abschnitt »Wohin man blickt – Stoffe«) in die richtige Reihenfolge bringst!
2. Die Nachweisgrenze für Blei in Kartoffeln liegt bei 20 ppb (siehe Zitat unter *Der reine Stoff*). Welche Bleimenge kann in 500 Gramm Kartoffeln, in denen bei der Analyse kein Blei gefunden wurde, noch enthalten sein?
3. Nenne mindestens drei Endprodukte der chemischen Industrie, auf die du persönlich leichten Herzens verzichten könntest, und mindestens drei Produkte, die du persönlich für unverzichtbar hältst. Bitte eine Freundin/einen Freund, ebenfalls solche Produkte zu nennen; vergleicht eure Antworten und begründet sie.
4. Nenne fünf Fachrichtungen der Chemie.
5. Ermittle in einer Internet-Recherche (z.B. unter www.google.de) fünf bedeutende deutsche Chemiker des 19. und 20. Jahrhunderts.