

# Chemisches Rechnen und Stöchiometrie

## Ansätze für eine zeitgemäße Behandlung im Unterricht

von Lutz Stüdel und Holger Wöhrmann

Vor einigen Jahren haben wir an anderer Stelle unter dem Titel „Gedanken zur Misere des Chemie-Unterrichts“ einige Überlegungen zu den Schwierigkeiten dieses Unterrichtsfaches vorgetragen [1]. Vor allem die „Umwandlungen der Chemiker“ [2] – die chemischen Reaktionen also – erweisen sich im Unterrichtsalltag als problematisch [1, S. 287]. Dies hat folgerichtig eine umfangreiche Diskussion über das Experimentieren im Unterricht ausgelöst. Zwar sollte man meinen, gerade „chemische Experimente seien allemal dazu angetan, die Aufmerksamkeit der Schüler zu fesseln. Deren Begeisterungsfähigkeit nimmt jedoch deutlich ab, wenn es um die Auswertung, um die Formulierung der hierbei abgelaufenen Reaktionen geht. An Praktikums- und Schülerexperimenten ist primär das eigentliche Meßgeschehen interessant, während der theoretische Gehalt der Versuche bestenfalls eine zweitrangige Rolle spielt. Genauso wenig reichen die beeindruckende Schönheit seltener Naturphänomene oder der hohe Prestigewert bestimmter technischer Geräte dazu aus, die Schüler zu einer ernsthaften Beschäftigung mit deren wissenschaftlichen Grundlagen anzuregen“ [3, S. 18]. Ganz anderen Umständen ist geschuldet, daß Experimente sich trotzdem großer Beliebtheit erfreuen: Eine von Richard George in unserer Arbeitsgruppe durchgeführte Untersuchung über „Experimente im Schulunterricht“ stellt die hohe soziale Bedeutung des Experiments heraus [4]. Charakteristisch ist die Schülersaussage: „Aber die Experimente, die machen das dann alles erträglich“ [4, S. 177].

Tatsächlich sind die regelmäßig in der fachdidaktischen Literatur behaupteten Zusammenhänge zwischen Praxis und Theorie in der Schulwirklichkeit kaum wiederzufinden. Vielmehr muß kritisch festgestellt werden, „daß chemische Experimente im Unterricht vor allem mit dem Anspruch unternommen werden, die chemische Gleichung zu beweisen, weit weniger mit der Absicht, die tatsächlich verlaufenden Vorgänge genau zu beobachten und ausführlich zu diskutieren“ [5, S. 20]. All das gipfelt dann in der entlarvenden Frage: „Herr Oberstudienrat, was sollen wir denn sehen?“ [5, S. 82].

Trotzdem gilt, daß „wer mit chemischen Formeln und Gleichungen umgehen will, muß quantitative Messungen“ nicht nur durchführen, sondern auch „auswerten können“ [6, S. 67]. „Die moderne Chemie begann nämlich, als Lavoisier die Bedeutung sorgfältiger Messungen erkannte und sich quantitativ zu beantwortenden Fragen stellte“ [7, S. 25]. Mit solchen Fragestellungen, die auf die Mengenverhältnisse der Elemente in Verbindungen abheben und mit den quantitativen Beziehungen zwischen Verbindungen oder Elementen, die an chemischen Reaktionen beteiligt sind, befaßt sich die **Stöchiometrie** (Stoicheion: Buchstabe, Grundstoff; Metron: Maß).

Ist es auf der einen Seite wünschenswert und zugleich unumgänglich, daß sich der Chemieunterricht der Behandlung quantitativer Probleme stellt, so sind andererseits „stöchiometrische Rechnungen“ nicht eben dazu angetan, die Beliebtheit des Unterrichtsfaches Chemie zu steigern. Es scheint, als zögen sich Rahmenplanverfasser und Schulbuchautoren mit einem Taschenspielertrick aus der Affäre:

Sie vermeiden geradezu ängstlich die Begriffe „Stöchiometrie“ und „Stöchiometrisches Rechnen“, um schwierige quantitative Berechnungen mit Alltags- und Umweltmätelchen zu tarnen. „Rechenübungen“ bleiben der Mathematik vorbehalten. Darf man in der Chemie nicht üben? Chemie-studenten dürfen. So trägt denn auch das Lehrbuch von Mortimer [7] „Chemie“ den Untertitel „Das Basiswissen der Chemie. Mit Übungsaufgaben“. Und es enthält gleich zwei umfangreiche Kapitel zur Stöchiometrie mit den Themen:

- Atom- und Molekülmassen,
- Moleküle und Ionen,
- Stoffmenge und Mol,
- Prozentuale Zusammensetzung von Verbindungen,
- Ermittlung chemischer Formeln,
- Chemische Reaktionsgleichungen,
- Ausbeute bei chemischen Reaktionen,
- Konzentration von Lösungen.

(Grundlage für die Behandlung dieser Themen ist natürlich die Atomtheorie.)

In der Schule gilt es, das Reizwort Stöchiometrie/chemisches Rechnen nicht zu verschleiern, sondern zu entschärfen. „Eine rücksichtsvolle Mathematisierung kann nämlich gerade als elementarisierende Maßnahme wirken. Sinnvolle stöchiometrische Berechnungen helfen z. B. reaktive Geschehen zu erklären“ [8, S. 204].

Die bisherigen Ausführungen zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Stöchiometrie zwar einen angestammten Platz im systematischen Aufbau der Chemie als Wissenschaft einnimmt, dies allein aber entsprechende Betrachtungen oder eine Einübung in stöchiometrische Berechnungen noch keineswegs rechtfertigt. Vielmehr gilt es, die von den Schülerinnen und Schülern geäußerte Abwehr ernstzunehmen als eine Frage nach dem Sinn solcher „Zumutungen“. Ein Chemieunterricht, der unter dem Allgemeinbildungsanspruch antritt, den Schülerinnen und Schülern weitergehende Verständnismöglichkeiten in ihrem aktuellen und künftigen Alltag zu eröffnen, ihre Handlungskompetenz zu stärken und sie zur Mitwirkung an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen zu befähigen, muß zunächst den didaktischen Ort klären, den „Stöchiometrie“ und andere quantitative Betrachtungen in einem solchen Prozeß des Lernens und der Auseinandersetzung haben können. Zu dieser notwendigen Diskussion sollen die drei folgenden Beispiele beitragen, und zwar sowohl für

*The authors look into the question of significance of quantitative approaches in the light of general education and its aims, especially the education goal to orientate teaching towards aspects of life environment. Examples from science history, from the actual discussion on CO<sub>2</sub>-problems, and the assessment of potential risks caused by toxic chemicals show advantages and limitations of quantitative descriptions.*

eine Begründung stöchiometrischer und rechnend-abschätzender Betrachtungen wie auch zu deren unterrichtlicher Umsetzung.

### Beispiel: Teilchenvorstellungen, Stöchiometrie und Wissenschaftsgeschichte

Ein grundlegendes Problem des naturwissenschaftlichen Unterrichts besteht darin, daß allzuoft die historische Entwicklung der Disziplin und der didaktische Aufbau des Unterrichts vermischt, wenn nicht sogar verwechselt werden. Dabei greift eine Gleichsetzung von wissenschaftlicher Phylogenese und intellektuell-begrifflicher Ontogenese schon deshalb nicht, weil die Bedingungen der jeweiligen Entwicklung – im historischen Prozeß und im individuellen Leben eines Jugendlichen – grundverschieden sind. Heutige Schülerinnen und Schüler leben in anderen gesellschaftlichen, kulturellen und technischen Umständen, verfügen über früher nicht vorstellbare Medienerfahrungen, teilen in der Regel nicht das Erkenntnisinteresse der Forscher früherer Epochen ... Der Irrtum liegt u. E. darin, daß die Geschichte kaum etwas beitragen kann zum aktuellen Verständnis eines bestimmten Sachverhalts, ja eher verwirrend wirkt bei Aneinanderreihung historisch wechselnder Anschauungen (etwa zum Atombau); nicht erkannt wird dabei gleichzeitig, daß sich bei einer entsprechenden Auseinandersetzung jedoch sehr viel lernen und erfahren läßt über den Entwicklungsprozeß der Wissenschaft selber, über das Verhältnis von Vermutung, Empirie und Theoriebildung, den Bezug zu kulturellen, sozialen, ökonomischen und politischen Aspekten der Zeitgeschichte u. v. a. m. Damit, d. h. über eine Betrachtung der Chemie als Wissenschaft (und nicht primär von chemischen Sachverhalten), wird nachhaltig auch ein Verständnis für die Naturwissenschaften insgesamt gefördert.

Stöchiometrie hat im Prozeß der Entwicklung der Wissenschaft Chemie wenigstens zweimal eine zentrale Rolle gespielt: Bei der Ablösung der Phlogistontheorie durch die Formulierung des Sauerstoffs und bei der grundlegenden Entscheidung der Frage, ob man sich die Materie eher kontinuierlich oder diskret, aus Teilchen aufgebaut vorzustellen habe.

#### Teilchen – Grundlage stöchiometrischer Betrachtungen

Auch wenn es manchmal den Anschein hat, die Frage nach Teilchen wäre bereits sehr frühzeitig entschieden gewesen (der Atom-Begriff > atomos = unteilbar < wurde bereits durch griechische Philosophen geprägt), so täuscht dies. Nicht nur *Newton*<sup>1)</sup> (1643 bis 1727) und *Goethe* (1749 bis 1832) betrieben bekanntermaßen alchimistische Labore, auch viele bedeutende Zeitgenossen mit naturwissenschaftlicher Bildung standen noch zu einem Teil in entsprechenden Traditionen. Die Transmutation der Metalle, die Verwandlung oder Erlösung der niederen Erze im Gold aber ist nicht vereinbar mit der vergleichsweise mechanistischen Vorstellung von nicht weiter zerlegbaren Teilchen. Vielmehr sollte das „Wesen“ der Stoffe geläutert werden, eine vollständige „Auflösung“ stattfinden bis hinab zur (philosophischen) „Essenz“. Die Untersuchungen von *Lavoisier* waren daher tatsächlich bahnbrechend, weil sie von einem anderen Denkmodell ausgingen, als es die Vorstellung von einem praktisch nicht-stofflichen Feuerstoff (mit negativem Gewicht) nahelegte. Zentrales Ergebnis der *Lavoisier*'schen Arbeiten war ja, daß erstens bei chemischen Reaktionen immer vergleichbare Massenverhältnisse auftreten und daß es zweitens sinnvoll ist, einen konkreten Stoff als Träger

ganz bestimmter Eigenschaften anzunehmen (der sich mit den Metallen bei der Verbrennung verbindet, dabei aus der Luft verschwindet, der eine definierte Masse besitzt und den man schließlich auch isolieren konnte). Damit war die Frage nach Teilchen oder Kontinuum jedoch keineswegs entschieden, auch wenn die Teilchenvorstellung selbst als Ausgangspunkt für die betreffenden Untersuchungen diente. Plausibilität gewann die Atomhypothese erst mit der Entdeckung der „multiplen Proportionen“. Dies wäre auch der Anknüpfungspunkt für eine Bearbeitung im Unterricht.

*Gegeben sind die Untersuchungsbefunde: Kupfer verbindet sich mit Schwefel stets in gleichen Massenverhältnissen, nämlich entweder im Verhältnis 1 zu 0,25 oder im Verhältnis 1 zu 0,5. Welche Möglichkeiten der Interpretation gibt es?*

Das historische „Resultat“ findet sich im Unterricht ganz ähnlich wieder: Formuliert werden Teilchen, denen relative Massen zugeordnet werden und die außerdem die Eigenschaft besitzen, im Verhältnis 1 : 1, 2 : 1 oder in einem anderen ganzzahligen Verhältnis miteinander zu reagieren<sup>2)</sup>. Treffende Beispiele dafür, wie die produktive Bearbeitung von Fragen wie dieser aussehen kann, hat *M. Wagenschein* im Zusammenhang mit physikalischen Problemen gegeben [9, siehe insbesondere das Beispiel zur mathematischen Formalisierung der Rollergebinde an der Schiefen Ebene], so daß hier im Detail nicht ausgeführt werden muß, wie ein genetischer und sokratischer Dialog am exemplarischen Fall aussehen könnte. Anzumerken ist unter inhaltlichen Aspekten zweierlei: Erstens handelt es sich im Ergebnis lediglich um eine erhöhte Plausibilität für die Teilchenhypothese, keinesfalls um einen Beweis. Das Beispiel macht damit tatsächlich mehr über den Charakter von Wissenschaft deutlich als über den Gegenstand. Zweitens wäre aufzuzeigen, daß mit dieser Art von Verhältnisbetrachtung eine neue Qualität in die Chemie eingetreten ist: Die Vorhersagbarkeit von optimalen Bedingungen bei (theoretisch) beliebigen Reaktionen.

*Zur Verifikation dieser Aussage sollte unbedingt auf den bekannten Knallgasversuch zurückgegriffen werden, bei dem mit einfachen stöchiometrischen Überlegungen leicht eine Optimierung des (Knall-)Effektes erreicht werden kann [10, S. 105 f.].*

#### Vom Phlogiston zum Sauerstoff

Für diesen Teilaspekt schlagen wir eine grundsätzlich experimentelle Herangehensweise vor, die – sieht man von den Vorkenntnissen der Schülerinnen und Schüler einmal ab – den historischen Bedingungen nachempfunden ist.

Im Zentrum steht die – zunächst offene – Frage „Was passiert bei der Verbrennung?“ Einzige Bedingung für die daran anschließende Arbeit von Schülergruppen ist die, daß nur nachvollziehbare Schlußfolgerungen formuliert werden dürfen, die wiederum im Experiment zu verifizieren (oder zu falsifizieren) sind. Dabei wird unmittelbar einsichtig, daß es sich keineswegs bloß um eine quantitative Bearbeitung eines ansonsten bereits bekannten Problems handelt, vielmehr um ein Wechselspiel von Vermutung und Modifikation von Versuchsanordnungen, logischen Schlußfolgerungen und genauen Versuchsauswertungen.

Als Arbeitsmaterial sind hier zunächst nur zur Verfügung zu stellen: eine (Balken-)Waage, eine Kerze, Feuerzeug, Eisenwolle oder Kupferspäne. Bei Bedarf sind weitere Elemente hinzuzufügen, z. B. eine Apparatur zur Absorption von Kohlenstoffdioxid (im historischen Fall gefüllt mit Natronkalk).

Das Ziel dieser Auseinandersetzung wäre dann erreicht, wenn ein gemeinsamer Formalismus gefunden ist, der etwa



die Verbrennung von Eisenwolle und das Abbrennen einer Kerze gleichzeitig widerspruchsfrei beschreiben kann. Konkrete Zahlenangaben (für auftretende Massenänderungen) spielen, wie leicht zu verstehen ist, noch keine Rolle.

### Beispiel: Umrechnungen und Veranschaulichungen von Stoff-Flüssen und -Umsätzen

Mit ihrem Eintritt in die industrielle Technik hat die Chemie bzw. haben chemische Betrachtungen von Prozessen und Reaktionen gänzlich neue Dimensionen gewonnen. Während seit Einsetzen der industriellen Revolution zunächst massenhaft Holz und Kohle verbrannt und zur Energieerzeugung bzw. für metallurgische Prozesse verwendet wurden, kam es seit Ende des zweiten Weltkriegs zu einer umfassenden Nutzung aller fossilen Energieträger. An den weltweit jährlich emittierten 22 Gigatonnen Kohlenstoffdioxid<sup>3)</sup>, die zur Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts beitragen, hat der Kraftwerksbereich zu zwei Fünfteln Anteil, je ein weiteres Fünftel kommt aus der Industrie, aus Heizungsanlagen und als Autoabgas aus dem Verkehrsbereich. Freilich sind „Gigatonnen“ kaum mehr vorstellbar – und daher auch nicht vermittelbar mit dem Alltag der Schülerinnen und Schüler. Zur notwendigen Konkretisierung und Veranschaulichung ist wiederum etwas (chemisches) Rechnen erforderlich bzw. erweist hier seine Bedeutung.

Da die nördlichen Industrienationen den weitaus größten Teil der Weltenergie „verbrauchen“, greifen wir beim nachfolgenden Beispiel auf Daten für Deutschland zurück.

Im Jahr 1990 wurden in Deutschland West und Ost gemeinsam 14800 Petajoule Primärenergie umgesetzt. Zur Herstellung von größerer Nähe zur Vorstellung wird auf die (nicht mehr amtlich zugelassene) Einheit „SKE“ = Steinkohleneinheit zurückgegriffen. 1 SKE bezeichnet den Wärmehalt von 1 kg Steinkohle mit einem mittleren Heizwert von 29308 kJ (früher: 7000 kcal). Damit ist der Umrechnungsfaktor bereits bekannt. Mithin ergibt sich für die Primärenergie pro Jahr ein Wert von

$$14800 \cdot 10^{15} : 29308 \cdot 10^3 = 0,5 \cdot 10^{12} = 500 \cdot 10^9 \text{ SKE.}$$

Damit entsprach der deutsche Energiekonsum im Jahr 1990 500 Milliarden Kilogramm Steinkohle oder 500 Millionen Tonnen.

Dieser Wert läßt sich auf verschiedene Weise in Beziehung setzen mit Größen aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler:

- Wie groß ist der pro-Kopf-Anteil bei einer Einwohnerzahl von etwa 80 Millionen?
- Wieviel Kohle entfällt auf die Flächeneinheit (Deutschland umfaßt 357042 km<sup>2</sup>)?
- Praktisch auszuprobieren: Wieviel Kohle kommt auf den Quadratmeter? Wie sieht das auf dem Schulhof aus? Wodurch ist dieser Verbrauch verursacht?
- Zugespitzt kann diese Rechnung auch den Energiebedarf einer Stadt (wie Kassel mit 200.000 Einwohnern und einer Fläche von 106 km<sup>2</sup>) bezogen werden; die notwendigen Daten sind in der Regel leicht zu beschaffen.
- Und (hier kommt die Stöchiometrie im eigentlichen Sinn ins Spiel): Wieviel Kohlenstoffdioxid entspricht diesen Mengen? [in kg? in Kubikmetern?]

Mit diesen Berechnungen und Abschätzungen wird den Schülerinnen und Schülern ein Zugang zur Vorstellung der Größe von Stoff-Flüssen ermöglicht, wie sie für eine Industriegesellschaft üblich sind. Zugleich werden anschauliche

Bezüge hergestellt zum Alltag, die auch einen Bewertungsmaßstab abgeben für die Reichweite individuellen Handelns. Denn in ähnlicher Weise können mit Hilfe der Stöchiometrie auch die ökologischen Kosten von alltäglichen Aktionen berechnet werden, z. B. für eine Fahrt mit dem PKW nach Italien mit insgesamt 2500 km Fahrleistung und einem Durchschnittsverbrauch von 9 Litern pro 100 km oder für den Weg einer Kiwi von Neuseeland nach Europa bei einem Flugbenzinverbrauch von 200000 Litern (Dichte 0,75 kg · l<sup>-1</sup>) für die Strecke von Auckland nach Frankfurt und bei einer Ladung von 100 Tonnen ...

### Beispiel: Veranschaulichungen von Risikopotentialen – Bilder prägen Meinungen

„Unser Trinkwasser ist gefährdet“ stellen die einen fest, ihre Gegner meinen „überzogen niedrig angesetzte Grenzwerte machen nur Panik und sind ökonomisch nachteilig“. Die noch für 1994 erwartete EG-Richtlinie zur zumutbaren Belastung von Trinkwasser hat zu heftigen öffentlichen Diskussionen geführt; im Laufe der Debatte werden immer wieder Argumente mit Vergleichen zu untermauern versucht, welche die mit bestimmten Veränderungen verbundenen Risiken und ihre Größe veranschaulichen sollen. Beliebt sind solche Vergleiche besonders im Fall der synthetischen Pflanzenschutzmittel, deren Gesamtkonzentration nach deutschem Recht zur Zeit 0,1 µg · l<sup>-1</sup> nicht überschreiten darf.

#### Verharmlosungsstrategien

Befürworter von Grenzwertkorrekturen nach oben argumentieren entweder mit ökonomischen Notwendigkeiten, aus einer wissenschaftskritischen Sicht<sup>4)</sup> heraus oder benutzen gelegentlich auch einfache bildhafte Vergleiche wie den folgenden: „0,1 Mikrogramm Pestizide pro Liter sind soviel wie ein Stück Würfelzucker im Bodensee“ [12].

Daß diese Aussage falsch ist, läßt sich durch Nachrechnen leicht zeigen:

Der Bodensee hat einen Wasserinhalt von ca. 50 Milliarden Kubikmetern, da sind 50 · 10<sup>12</sup> Liter Wasser (wegen 1 m<sup>3</sup> = 1000 l).

Wenn 1 Liter 0,1 µg Pestizide enthält (0,1 µg = 10<sup>-7</sup> g = 10<sup>-10</sup> kg), dann enthält die gesamte Wassermenge des Bodensees

$$50 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-10} [\text{kg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{l}] = 5 \cdot 10^3 [\text{kg}]$$

also 5 Tonnen.

Während sich Beispiele wie das Vorstehende selbst disqualifizieren, sind andere durchaus nachvollziehbar, etwa die Berechnung der während der gesamten Lebenszeit aufgenommenen Pestizidmenge bei mit der Grenzwertkonzentration belastetem Wasser.

Ein Mensch trinkt täglich 2,5 Liter Leitungswasser (wenigstens statistisch) bzw. verwendet es zum Kochen und zur Bereitung von Getränken. Im Laufe von 70 Lebensjahren sind dies:

$$70 \cdot 365 \cdot 2,5 = 63.875 [\text{Liter}]$$

Mit dieser Menge hat unsere Person dann aber nur

$$63.875 \cdot 10^{-7} [\text{l} \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}] \text{ Pestizide aufgenommen,}$$

mithin etwa 6,5 Milligramm Pestizide.

Daß rechnerische Korrektheit dennoch nicht viel bedeuten muß, zeigen die folgenden Überlegungen und Relativierungen.

Insoweit Pestizide krebsauslösend, mutagen oder frucht-schädigend wirken können, reicht im Prinzip bereits ein

einzelnes Molekül, um die schädliche Wirkung zu entfalten<sup>5)</sup>. Umgekehrt besteht zwischen Aufnahme eines krebsauslösenden Stoffes und einer Erkrankung lediglich ein statistischer Zusammenhang. Ein Beispiel: Nicht jeder Raucher erkrankt an Lungenkrebs, aber das deutlich höhere Krebsrisiko dieser Bevölkerungsgruppe gilt als wissenschaftlich gesichert. Ähnliche Zusammenhänge werden für Stoffe wie Benzol oder Dioxin angenommen, auch existieren Abschätzungen des substanzspezifischen erhöhten Risikos, wegen der noch kurzen Beobachtungsdauer und der Schwierigkeit einer kausalen Zuordnung sind diese aber noch nicht hinreichend abgesichert.

### Spiel mit der Angst

Das Bodenseebeispiel kann auch anders interpretiert werden.

Das Zuckerwürfelbeispiel arbeitet, ob zahlenmäßig falsch oder richtig, mit der nicht zulässigen Vorstellung, daß bei hinreichender Verdünnung alle Gifteigenschaften eines Stoffes verschwinden<sup>6)</sup>. Umgekehrt trifft es auch nicht zu, daß mit steigender Konzentration die Gefährdung eines bestimmten einzelnen Menschen zunimmt. Vielmehr gilt, daß mit steigender Präsenz eines krankheitsauslösenden Stoffes aus der Gruppe des Karzinogene die Zahl der Fälle steigt.

Will man den statischen Charakter der Gefährdung aufzeigen, dann müssen entsprechend andere Bilder bemüht werden: Geht jemand z. B. an einer baufälligen Mauer entlang, dann ist sein Risiko, von einem herabfallenden Ziegel getroffen zu werden, umso größer, je länger sein Weg entlang dieser Mauer ist. Sein persönliches Risiko steigt zudem, wenn während seines Gangs ein heftiger Wind weht oder ein Erdbeben stattfindet. In humanen Kategorien könnten diese Bedingungen übersetzt werden mit genetischer Disposition, Schwächung des Immunsystems durch andere Streßfaktoren, besondere Dispositionen, z. B. berufsbedingt oder aufgrund von Lebensgewohnheiten.

Ein Kritiker des Grenzwertpokers setzte die konkreten Daten für das Bodenseebeispiel um in ein Bild von Haien im Wasser [12]: Vorausgesetzt, es sind nur wenige Räuber vorhanden, dann gilt: Nicht jeder, der ins Wasser geht, wird auch gebissen, aber je mehr Haie vorhanden sind, desto größer wird das Risiko.

Ohne daß den konkreten Zahlen eine definierte Bedeutung zukäme (und im Bewußtsein, daß Haie im Süßwasser eigentlich nicht lebensfähig sind) hier eine rechnerische Umsetzung dieses Modells:

5 Tonnen Pestizide können umgesetzt werden in 6 Haie mit je etwas mehr als 800 kg Lebendgewicht.

Wenn jetzt unmittelbar einleuchtend erscheint, daß man bei einem Hai im Bodensee wohl noch baden könnte, bei fünf aber nicht, so trügt das Bild; es spielt vielmehr mit Emotionen, denn die Umrechnung ist tatsächlich willkürlich. Stimmig wäre der Vergleich nur dann, wenn die Basis für eine numerische Beziehung das jeweilige Gefährdungspotential (durch Haie bzw. durch Pestizide) wäre; auch sind andere Bedingungen nicht vergleichbar, etwa die Freiwilligkeit des Badens und die nur bedingte Möglichkeit, sich der Einwirkung von Umweltgiften zu entziehen.

### Schlußbemerkungen

Rechnen in der Chemie, das – so konnten wir hoffentlich zeigen – ist keinesfalls nur die Ergänzung von Reaktionsgleichungen durch Massenangaben. Die vielfältigen Bezüge

reichen von Aspekten der Wissenschaftsgeschichte und -theorie bis hin zu Ökobilanzen. Das schließt nicht aus, daß die Stöchiometrie im eigentlichen Sinne zum Verständnis von chemischen Gleichungen beiträgt. Ebenso aber wie sich „die Chemie“ nicht darin erschöpft, sollten die Bemühungen um die Aufhellung quantitativer Bezüge nicht auf dieses enge Feld begrenzt bleiben. Im Gegenteil: Fragestellungen von außerhalb machen ihre Bedeutung überhaupt erst für die Lernenden als für ihr Leben relevant erkennbar.

### Literatur

- [1] Wöhrmann, H.: Gedanken zur Misere des Chemieunterrichts. MNU 40(1987), S. 284 – 288.
- [2] Scharf, V.: Das eleatische Dilemma und die Krise des Chemieunterrichts. MNU 36(1982), S. 140 – 149.
- [3] Brämer, R.: Über das doppelte Naturbild in den Köpfen der Schüler – Empirisches aus bundesdeutschen Unterrichtszeitschriften. Soznat 6(1983), S. 5 – 31.
- [4] George, R.: Experimente im Schulunterricht. Chim. did. 1(1988), S. 89 – 105 und 164 – 186.
- [5] Minssen, M., Popp, T., de Vos, W. (Hrsg.): Strukturbildende Prozesse bei chemischen Reaktionen und natürlichen Vorgängen. IPN Kiel (1989).
- [6] Schmidt, H.-J.: Fachdidaktische Grundlagen des Chemieunterrichts. Vieweg Braunschweig/Wiesbaden 1981.
- [7] Mortimer, Ch. E.: Chemie. Thieme-Verlag Stuttgart/New York 1987.
- [8] Häusler, K., Lutz, B., Pfeifer, P.: Konkrete Fachdidaktik Chemie. Oldenbourg-Verlag München 1992.
- [9] Wagenschein, M.: Verstehen lernen. Beltz Bibliothek Band 1, Weinheim 1968.
- [10] Bukatsch, F., Glöckner, W. (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie. Bd. 1 (Anorganische Chemie – Nichtmetalle I), Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1977.
- [11] Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): MAK- und BAT-Werte-Liste 1993. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 29, Verlag Chemie Weinheim 1993.
- [12] Nach einem Pressebericht in der Süddeutschen Zeitung vom 27.7.1989.

### Anmerkungen

<sup>1)</sup>Wie aus verschiedenen Zeugnissen hervorgeht, war *Newton* nichtsdestotrotz Atomist, wenn auch ein kritischer, denn die damaligen gedanklichen Modelle von der Struktur der Materie waren weder verifizierbar noch falsifizierbar.

<sup>2)</sup>Man beachte, daß die Zahlen viel eher Teilchenverhältnisse von 4 : 1 und 2 : 1 nahelegen, als die „richtigen“ von 1 : 1 und 2 : 1.

<sup>3)</sup>Berücksichtigt sind hier nur Emissionen aus technischen Prozessen. Durch Brandrodung, insbesondere der tropischen Regenwälder, kommen nochmals etwa 5 Gigatonnen Kohlenstoffdioxid hinzu.

<sup>4)</sup>Verkürzt lautet dieses Kritik in etwa: Je weiter die Analyseinstrumente entwickelt sind, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, geringste Mengen des Stoffes X in der Probe Y nachweisen zu können.

<sup>5)</sup>In der Liste der Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Liste) hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft insbesondere krebsverdächtige Substanzen von der Zuordnung von Grenzwerten ausgenommen, „da keine noch als unbedenklich anzusehende Konzentration angegeben werden kann“ [11, S. 86]. Auch aus „epidemiologischen Erhebungen an Exponierten am Arbeitsplatz sind z. Zt. ebensowenig unbedenkliche Toleranzwerte ableitbar (...)“ [11, S. 98].

<sup>6)</sup>Das in ähnlichem Zusammenhang oft angeführte Zitat von *Paracelsus* „Die Dosis macht, daß ein Stoff ein Gift ist“ bezieht sich im Original erkennbar auf pharmazeutische Rezepturen und wird eher ungeprüft generalisiert. Während für Spurenelemente wie Selen durchaus gezeigt werden kann, daß der toxischen Wirkung hoher Dosen chronische Mangelerkrankungen bei seinem völligen Fehlen in der Nahrung gegenüberstehen, läßt sich dies für z. B. chlororganische Verbindungen nicht annehmen.

Dr. Lutz Stüdel, geb. 1948,  
seit 1976 Mitarbeiter an der Universität Gh Kassel.  
Anschrift: Landaustr. 1, 34121 Kassel.

Prof. Dr. Holger Wöhrmann, geb. 1943,  
seit 1975 Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Kassel (GhK).  
Anschrift: Mozartstr. 10, 34277 Fuldabrück.



## Zu diesem Heft



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Das vorliegende Themenheft „Teilchen – Formeln – Reaktionen“ geht ein altes und schwerwiegendes Problem des Anfangsunterrichts Chemie auf:

„Wie soll man den Schüler an die chemische Formel herañführen?“ „Soll und kann man ihm bereits in den ersten Jahren des Chemieunterrichts die Theorie von Avogadro vermitteln und wenn ja, wie?“

Die Ermittlung der chemischen Formel erfordert nach der Einführung der Dalton'schen Atomtheorie und der atomaren Massen, wenn sie auf der in der Chemie üblichen Weise geschieht, schwierige Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Massenverhältnis und Atomzahlverhältnis. Hinzu kommt noch der für Schüler nicht unbeträchtliche mathematische Aufwand. In der Vergangenheit sind deshalb andere Wege vorgeschlagen worden, über die Wertigkeiten, das Auszählen von Teilchenzahlen in Anschauungsmodellen zur chemischen Formel zu kommen oder Behelfsformeln zu verwenden. In diesem Heft wird ein weiterer Weg vorgeschlagen, der „wissenschaftlich korrekt“, aber wahrscheinlich für die Schüler viel leichter durchschaubar ist, anhand experimenteller Ergebnisse zur chemischen Formel zu kommen.

Lesen Sie, und entscheiden Sie selbst.

Auch die übrigen Beiträge sollen Ihnen neue Wege aufzeigen und Anregungen für Ihren Unterricht geben, insbesondere zur Behandlung und Einführung der Theorie von Avogadro.

Viel Spaß beim Lesen und – so hoffen die Autoren – bei der Umsetzung und Weiterentwicklung der hier dargestellten Ideen im Unterricht.

Ihr

Naturwissenschaften im  
**Unterricht**  
**Chemie**

Heft 25, November 1994,  
5. Jahrgang

**Teilchen – Formeln  
– Reaktionen**

Herausgeber: Prof. Dr. Walter Jansen

### Basisartikel

Walter Jansen, Renate Peper und Hilke Fickenfrerichs  
Die Dalton'sche Atomtheorie, die Gasvolumengesetze von Gay-Lussac und Humboldt, die Avogadro'sche Theorie und die Ermittlung der chemischen Formel im Anfangsunterricht 4

### Unterrichtspraxis

Bettina Kaminski, Alfred Flint und Walter Jansen  
Die Ermittlung der chemischen Formel im Anfangsunterricht 12

Claudia Matuschek  
Chemische Formel „light“! 15

Monika Horn und Peter Pfeifer  
Quantitative Schulversuche mit einer Magnesiumlegierung aus dem Alltag 18

Bettina Kaminski und Alfred Flint  
Ermittlung der chemischen Formel am Beispiel von Magnesiumoxid 23

Bettina Kaminski und Alfred Flint  
Avogadro einmal anders eingeführt 25

Andreas Reindl und Roland Schmid  
Einfacher Versuch zur Bestimmung der Avogadrokonstante 27

Bernd Ralle und Ulrich Bode  
Die These von Avogadro und noch ein Vorschlag zur Einführung der Zweiatomigkeit von Wasserstoff 34

Piet J. de Rijke und Willem van der Veer  
Einfache quantitative Versuche im Chemieunterricht 41

Bettina Kaminski und Alfred Flint  
Die Entdeckung der Gasgesetze 43

Christof Benecke, Roland Grund, Adalbert Kerber, Reinhard Laue, Reinhard Hohberger und Thomas Wieland  
Lernen, Lehren und Forschen mit MOLGEN+ 47

Bettina Kaminski und Walter Jansen  
Ein einfaches Verfahren zur Ermittlung der Konstitutionsformel des Alkohol-(Ethanol-)Moleküls 50

Lutz Stäudel und Holger Wöhrmann  
Chemisches Rechnen und Stöchiometrie 53

### Magazin

Aufruf: Schule neu gestalten 33

Der Chemiebetrieb 57

Zeitschriftenrundschau 58

Karteikarten 59

Buchrezension 14, 52

Informationen 14, 17, 24, 42, 49

Vorschau/Rückschau/Impressum 2. U.

Kurzfassungen 61

