

2 Alternative Schülervorstellungen und deren Überwindung

Fehlvorstellungen gibt es nicht nur bei heutigen Kindern und Jugendlichen, sondern gab es immer auch bei Wissenschaftlern und Naturphilosophen vergangener Jahrhunderte (vgl. Kap. 1). Die historischen Vorstellungen sind deshalb interessant, weil sich auch Kinder und Jugendliche unserer Zeit ähnlich äußern: sie entwickeln ihre Konzepte – beispielsweise zur Verbrennung – aufgrund vieler genauer Beobachtungen und logischer Verknüpfungen. Die ohne ein spezifisches Vorwissen entstehenden Vorstellungen können deshalb auch nicht falsch sein, sondern werden gern als **alternativ** oder **ursprünglich** oder als **Präkonzepte** bezeichnet. Sie sind für Fachdidaktiken der Naturwissenschaften sehr wichtig – deshalb die Vielzahl empirischer Erhebungen.

In zunehmendem Maß ermitteln die Fachdidaktiker allerdings auch Vorstellungen im fortgeschrittenen Unterricht und finden sie vielfach als mit Fehlern behaftet vor. Da sie nicht allein ursprünglichen Überlegungen der Jugendlichen zuzuschreiben sind, sondern überwiegend durch die Vermittlungsprozesse im Unterricht entstehen, kann man sie auch **hausgemachte Fehlvorstellungen** nennen. Sie sind deutlich zu unterscheiden von den Präkonzepten, weil letztere naturgemäß nicht verhindert werden können, während Vermittlungsfehler im Unterricht durch bessere Ausbildung und Fortbildung der Lehrer und Lehrerinnen vermeidbar sind.

Eine Aufgabe der Chemiedidaktik besteht nun darin, sowohl die ursprünglichen als auch die hausgemachten Fehlvorstellungen zu ermitteln und sie Lehramtsstudierenden und Lehrpersonen mitzuteilen. Die andere wichtige Aufgabe ist es, **Vorschläge zur Verbesserung des Unterrichts** zu machen, die zur nachhaltigen Überwindung der Fehlvorstellungen führen: die Vermeidung bestimmter traditioneller Irrwege zu empfehlen, andere Begriffsdefinitionen einzusetzen, besser überzeugende Experimente durchzuführen oder etwa Modelle und neue Medien zu verwenden.

2.1 Ursprüngliche Schülervorstellungen

Die von Kindern und Jugendlichen selbständig entwickelten Vorstellungen entsprechen oftmals nicht heute gültigen wissenschaftlichen Konzepten. Man berücksichtigt dabei nicht, dass die Kinder und Jugendlichen durchaus richtig beobachtet und für sich selbst eine eigene, meistens intelligente Vorstellungswelt geschaffen haben. Diesbezüglich befinden sie sich in bester Gesellschaft mit Wissenschaftlern und Naturphilosophen früherer Jahrhunderte, die ebenfalls nur beobachteten und aus den Beobachtungen mit Hilfe der Gesetze der Logik ihre Schlüsse zogen – meistens ohne zusätzliche experimentelle Untersuchungen durchzuführen (vgl. Kap. 1).

Wenn Kinder und Jugendliche bezüglich der Verbrennung davon sprechen, dass „Etwas“ weggeht und die zurückbleibende Asche leichter ist als die Brennstoffportion vorher, dann haben sie sehr gut beobachtet und angemessene logische Schlüsse gezogen. Deshalb sind die genannten Vorstellungen nicht als falsch zu bezeichnen, sondern eher als

- Alltagsvorstellungen oder lebensweltliche Vorstellungen,
- ursprüngliche oder vorwissenschaftliche Vorstellungen,
- Schülervorverständnis oder alternative Vorstellungen,
- Präkonzepte oder Misconceptions.

Präkonzepten begegnet man überwiegend im Anfangsunterricht der Naturwissenschaften: im Sachunterricht der Grundschule oder im einführenden Unterricht der Fächer Chemie, Biologie und Physik, also in den Klassenstufen 5–8 der weiterführenden Schulen.

Ehe in den folgenden Kapiteln wichtige Sachverhalte aus der Chemie systematisch erschlossen werden sollen, seien drei Beispiele für **ursprüngliche Vorstellungen** der Jugendlichen ganz allgemeiner Art exemplarisch diskutiert:

- Die Sonne dreht sich um die Erde,
- eine Wasserpflanze wird vom Sonnenstrahl aufgesogen,
- das Holz eines Baumes kommt aus dem Erdboden.

Sonne und Erde. Erste Erlebnisse eines Kindes hinsichtlich der Sonne sind meist begleitet mit Kommentaren der Eltern oder Geschwister: „Sieh – da geht morgens die Sonne auf, da steht sie mittags hoch am Himmel, dort geht sie abends unter“. Beobachtungen des Aufgehens, des Untergehens, des Kreislaufs über dem eigenen Standort und die diesbezügliche Umgangssprache müssen das Kind zur Vorstellung führen: „Die Sonne dreht sich um die Erde“. SOMMER [2] findet in Interviews gar Vorstellungen von der Erde als Scheibe: „Das Kind stellt sich die Erde als eine

flache Ebene vor, über der sich parallel der Himmel erstreckt. Sonne, Mond und Sterne befinden sich im Himmel, ein Weltall gibt es nicht“ [2].

Ähnliche Vorstellungen haben auch die griechischen Naturphilosophen vor zweitausend Jahren geäußert. Insbesondere Ptolemäus stellte die Erde in den Mittelpunkt allen Geschehens und ließ gedanklich „die Sonne um die Erde kreisen“. Erst am Ende des 16. Jahrhunderts schuf Nicolaus Kopernikus aufgrund der exakten Beobachtungen der Planetenbewegungen das heliozentrische Weltbild: „Die Erde ist einer von mehreren Planeten der Sonne, sie dreht sich wie diese auf bestimmten Bahnen um die Sonne und dreht sich jeden Tag einmal um sich selbst“. Bedenkt man die damaligen Proteste der Kirche und die folgenden Inquisitionen, die das Ziel hatten, der Erde weiterhin die von der Kirche gewünschte zentrale Stellung im Weltall zu bewahren, so ahnt man die stabile Verankerung des ptolemäischen Weltbildes in der kognitiven Struktur aller Menschen der damaligen Zeit.

Kinder und Jugendliche erwerben durch ihre Beobachtungen zunächst ebenfalls das ptolemäische Weltbild – sie könnten bei allem guten Willen die Beobachtungen des Kopernikus nicht selbst machen und das moderne Weltbild nicht allein finden. Lehrer oder Lehrerin müssen schon gut unterrichten und mit Hilfe geeigneter Medien – wie etwa mit einem Planetarium – erhebliche Überzeugungsarbeit leisten, um die Jugendlichen zu überzeugen, sich von ihren ursprünglichen Vorstellungen zu trennen und zu akzeptieren, dass das heliozentrische Weltbild gilt.

Damit es zu einem überzeugenden Unterrichtserfolg kommt, ist es sicher wichtig, zunächst den Jugendlichen genügend Raum zu lassen, ihre mitgebrachten Vorstellungen zu äußern und zu vergleichen, ehe das neue Weltbild zentraler Inhalt des Unterrichts wird. Die Jugendlichen sollen auch die Bestätigung erfahren, dass nicht nur sie, sondern alle Menschen oder Wissenschaftler früher das Bild von der „Sonne um die Erde“ verwendet haben, ehe sehr viel später die neue Theorie von Kopernikus im 17. Jahrhundert immer weitergehend Verbreitung fand.

Wasserpfütze und Sonnenstrahl. Gespräche mit Kindern im Grundschulalter bezüglich des Verschwindens einer Wasserpfütze an einem sonnenreichen Tag weisen oftmals auf Vorstellungen hin, die von einem Sonnenstrahl ausgehen, der „das Wasser aufsaugt“, das dann „weg ist“. Befragte Lehrer bekennen, dass sie die Vorstellung durchaus sympathisch finden und sie mit den Kindern gar nicht diskutieren oder deren Vorstellung ändern wollen – sie lassen dann die Kinder allerdings mit der „Sonnenstrahltheorie“ oder einer Vernichtungsvorstellung allein.

Würde man experimentell das Verdampfen von Wasser und das anschließende Kondensieren des Wasserdampfs zu flüssigem Wasser zeigen, wäre ein Grundstein zur gültigen Vorstellung gelegt. Führt man die

Teilchenvorstellung ein und Modellvorstellungen von der zunehmenden Bewegung kleinster Wasser-Teilchen bei Zufuhr von Wärmeenergie, dann würden Kinder bzw. Jugendliche noch besser verstehen, dass die kleinsten Teilchen des Wassers sich mit denen der Luft vermischen und somit erhalten bleiben, dass Teilchenbewegung und Diffusion energiereicher Teilchen für das Verdunsten von Wasser verantwortlich sind. Auf diesem Wege können die Kinder zu der gültigen Erhaltungsvorstellung geführt werden, die später ebenfalls im Bereich chemischer Reaktionen und insbesondere hinsichtlich des Verbrennungsvorgangs gilt. Allerdings sollen auch auf diesem Unterrichtsweg die Kinder ihre ursprünglichen Vorstellungen vortragen und dann mit den neuen Erkenntnissen vergleichen – erst dann kann es zum erfolgreichen Konzeptwechsel im Sinne der konstruktivistischen Lerntheorie kommen (Kap. 2.3).

Holz und Erdboden. „When people are given a piece of wood and asked how the material got into the tree they commonly reply that most of it came from the soil“ [3]. Obwohl im Fach Biologie die Fotosynthese behandelt worden und über die Bedeutung von Kohlenstoffdioxid, von Wasser, Licht und Wärme für den Aufbau von Zucker und Stärke unterrichtet worden ist, antworten Schüler vielfach auf die Frage danach, woher das Holz kommt, mit der Aussage: „aus dem Erdboden“. Wahrscheinlich haben sie das Wissen aus der Schule in anderen „compartments“ des Gehirns gespeichert und nicht mit denen der Alltagsbeobachtungen verknüpft: „Presumably most of the graduates would have been able to explain the basics of photosynthesis (had that been the question) and perhaps they had stored their learning about the scientific process (where the carbon in the tree originates from gaseous carbon dioxide in the air) in a different compartment from their ‘everyday knowledge’ that plants get their nutrition from the soil“ [3].

Dieses Beispiel soll zeigen, dass ursprüngliche Vorstellungen auch dann für einen Sachverhalt erhalten bleiben, wenn der diesbezügliche Unterricht lange die wissenschaftliche Vorstellung behandelt hat. Wenn es versäumt oder bewußt vermieden wird, Verknüpfungen zwischen dieser neu erworbenen Vorstellung und altbekannten Beobachtungen herzustellen, dann bleiben neue Vorstellungen und alte Beobachtungen in unterschiedlichen, nicht verknüpften Bereichen der kognitiven Struktur bestehen – und damit auch die ursprünglichen Vorstellungen.

Lehrpersonen können deshalb nicht davon ausgehen, dass bei einem Unterricht zu einem bestimmten Sachverhalt alle Präkonzepte hinsichtlich dieses Sachverhalts korrigiert werden. Eine Diagnose solcher Konzepte ist trotzdem erforderlich und bei Vorliegen fehlerhafter Vorstellungen ein

Unterricht zu planen, der diese Vorstellungen mit den neuen Unterrichtsinhalten verknüpft und sie dann erfolgreich korrigiert. Findet der Unterricht hinsichtlich der Fotosynthese statt, sollten diesbezügliche Alltagsbezüge aufgegriffen und im Sinne der Fotosynthese diskutiert werden, etwa Erklärungen zur Entstehung von Holz aus Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf der Luft. Dabei kann durchaus betont werden, dass die Pflanzen den Erdboden zwar benötigen, um Mineralien über die Wurzeln in die Äste und Blätter zu transportieren, dass die Substanzen des massiven und harten Holzes aber durch chemische Reaktionen der genannten farblosen Gase entstehen – so unvorstellbar das ist. Man kann durchaus darüber berichten, dass auch die Fachwelt dieses nicht glauben wollte, als Justus von Liebig in der Mitte des 19. Jahrhunderts die Fotosynthese experimentell verifizierte und damit die historische Humustheorie stürzte.

2.2 Hausgemachte Fehlvorstellungen

Dringen die Jugendlichen in anspruchsvollere Sachverhalte ein, so kommt eine zweite Art von unzureichenden Vorstellungen hinzu: die **hausgemachten Fehlvorstellungen**. Sie sind deshalb hausgemacht, weil Tradition oder Komplexität es oftmals nicht zulassen, bestimmte Themen widerspruchsfrei und allgemein verständlich zu unterrichten. Es bleiben trotz des Unterrichts durch eine Fachkraft diffuse Vorstellungen zurück, die den heute gültigen wissenschaftlichen Theorien und Verabredungen nicht entsprechen. Einige Beispiele mögen das zeigen.

In der Schulchemie ist es **Tradition**, chemische Reaktionen von physikalischen Vorgängen abzugrenzen. Bei der Bildung von Metallsulfiden aus den Elementen etwa entstehen unter Energieabgabe neue Stoffe – damit seien die beiden Kriterien der chemischen Reaktion erfüllt. Das Lösen von Substanzen in Wasser wird dagegen als „physikalischer Vorgang“ definiert, denn er verändere den sich lösenden Stoff „eigentlich“ nicht, dieser sei durch „physikalische“ Trennverfahren „unverändert“ wieder zu gewinnen. Nimmt man Natriumhydroxid und löst es in wenig Wasser, so bildet sich unter starker Wärmeentwicklung eine farblose Lösung, die den elektrischen Strom leitet und einen hohen pH-Wert aufweist. Für kritische Schüler ist die Lösung ein neuer Stoff und die Wärmeentwicklung weist auf eine exotherme Reaktion hin. Dieses kleine Beispiel zeigt, dass es keinen Sinn macht, Stoffumwandlungen in chemische und physikalische Vorgänge einteilen zu wollen [4]. Würde man es nach dem Motto „das haben wir immer so gemacht“ unreflektiert doch tun, entstünden bei den Jugendlichen zwangsläufig Fehlvorstellungen – hausgemacht auf der Grundlage von nicht nachvollziehbaren Traditionen der Schulchemie.

„Wasser ist zusammengesetzt aus Wasserstoff und Sauerstoff“. Solche und ähnliche Aussagen zu chemischen Verbindungen, die bestimmte Elemente „enthalten sollen“, hört man oft in Klassenräumen und Hörsälen. Sie sind geradezu traditionell überliefert aus einer Zeit, als man Analysen machte und nur wissen wollte, welche Elemente am Aufbau einer Verbindung beteiligt sind. Eingeweihte durchschauen diese Sprechweise durchaus – bei Novizen erzeugt sie allerdings hausgemachte Fehlvorstellungen: Jugendliche würden sich in der blauschwarzen Substanz mit dem Namen Kupfersulfid die Feststoffe Kupfer und Schwefel vorstellen – zumal Experimente zeigen, dass man die Elemente aus den Verbindungen gewinnen kann. Besser wäre es für den Anfangsunterricht, lediglich darauf zu verweisen, dass aus Metall und Schwefel das jeweilige Metallsulfid herzustellen ist oder aus der Verbindung die Elemente wieder zu gewinnen sind. Liegen später Atom und Ionenbegriff vor, können die Aussagen darauf hin erweitert werden, dass entsprechende Atome oder Ionen in der Verbindung enthalten sind, in spezieller Weise untereinander verknüpft vorliegen und sich in einer bestimmten räumlichen Struktur anordnen.

Sachverhalte können eine derartige **Komplexität** aufweisen, dass einige Unterrichtsstunden nicht ausreichen, um sie umfassend verständlich werden zu lassen und damit die Grundlage von Fehlvorstellungen werden. Unterrichtet man beispielsweise zum Thema Chemische Bindung sehr ausführlich die Elektronenpaarbindung und nur oberflächlich die Ionenbindung, werden die Jugendlichen keinerlei nachhaltige Vorstellungen von Ionen in einem Ionengitter entwickeln. Auf die Frage, welche Teilchen sich in einem Mineralwasser befinden, das Calciumchlorid enthält, antworten die Schüler überwiegend mit Vorstellungen von Cl-Ca-Cl-Molekülen [5]. Der Unterricht hat in diesem Fall diesbezügliche Fehlvorstellungen erzeugt, diese Fehlvorstellungen sind hausgemacht. Auch wenn der Ionenbegriff mit Diskussionen um die Elektrolyse von Salzen auf falschen Wegen unterrichtet wird, bilden sich solche Fehlvorstellungen [6]. In den genannten Publikationen und den folgenden Kapiteln werden Wege vorgeschlagen, die im Chemieunterricht zum Begriff des Ions effektiver und erfolgreicher sein können.

2.3 Unterrichtspraxis zur Vermittlung gültiger Vorstellungen

„Aller Unterricht hat bei der Erfahrung der Kinder anzufangen“ [7]. „Alle neuen Erfahrungen, die die Schüler im Unterricht machen, werden mit Hilfe bereits vorhandener Vorstellungen organisiert“ [7].

„Ohne ausdrückliches Abbauen falscher Vorstellungen werden keine tragfähigen neuen Vorstellungen erworben“ [8]. „Der Unterricht muss nicht lediglich von Unkenntnis zu Kenntnis leiten, er muss vielmehr auch vorhandene Kenntnis durch andersartige Kenntnis ersetzen“ [9]. „Der Chemieunterricht muss eine tragende Brücke von den ursprünglichen Vorstellungen der Schüler zu den heute gültigen Vorstellungen schlagen“ [9].

Diese Aussagen machen eindrucksvoll deutlich, dass Lehrer und Lehrerinnen ihre Schüler bzw. deren kognitive Strukturen keineswegs mit „unbeschriebenen Blättern“ vergleichen dürfen, die „nur zu füllen sind“. Ein Unterricht, der vorhandene Vorstellungen nicht berücksichtigt, führt erfahrungsgemäß dazu, dass Schüler dem Unterricht nur folgen bis der nächste Test geschrieben ist. Danach werden die neu erworbenen Vorstellungen nach und nach vergessen, Jugendliche kehren zu ihren alten, über lange Zeit erworbenen und vertrauten Vorstellungen zurück.

Heute sind sich Fachdidaktiker und Lehrer darüber einig, dass man die Vorstellungen der Schüler kennen oder zu einer Thematik ermitteln muss, ehe „die Brücke von den ursprünglichen Vorstellungen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen“ erfolgreich geschlagen werden kann [9]. Wichtiges Ziel des Vermittlungsprozesses ist es deshalb, den Jugendlichen in Unterrichtsgesprächen ihre eigenen Widersprüche aufzuzeigen oder bei Erklärungsversuchen neuer Inhalte die Widersprüche ihrer Vorstellungswelt zu aktuellen wissenschaftlichen Deutungen bewusst zu machen, sie damit zu motivieren, diese Widersprüche überwinden zu wollen. Erst wenn die Schüler erkannt haben, dass sie mit ihren eigenen Erklärungen nicht weiterkommen, sind sie bereit, den Unterricht des Lehrers nachzuvollziehen und damit neue Denkstrukturen aufzubauen.

Für den **Vermittlungsprozeß** ist es deshalb wichtig, dass im Zusammenhang mit dem Entwicklungsstand der Schüler reflektiert wird über

- vorhandene Widersprüche innerhalb eigener Erklärungen der Schüler und Schülerinnen,
- Widersprüche zwischen Präkonzepten und wissenschaftlichen Vorstellungen,
- Widersprüche zu vorläufigen und sachgerechten Erklärungen experimenteller Phänomene,
- Möglichkeiten zum Abbau ursprünglicher Schülervorstellungen,
- Möglichkeiten zum Aufbau tragfähiger und fachgerechter Beschreibungen.

Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass entsprechend der **konstruktivistischen Theorien** ein Wechsel von ursprünglichen zu wissenschaftlichen Vorstellungen nur möglich ist, wenn

- Individuen die Gelegenheit gegeben wird, eigene Lernstrukturen individuell aufzubauen,
- Aktivität und Eigentätigkeit jedes Lernenden im Unterricht gegeben ist,
- ein „conceptual growth“ stattfindet (entsprechend der Assimilation nach Piaget), oder gar
- ein „conceptual change“ (entsprechend der Akkodation nach Piaget) [10].

Liegt bei einem Jugendlichen die Vorstellung vom „Sonnenstrahl, der die Wasserpflanze aufsaugt“ (vgl. Kap. 2.1) *nicht* vor, kann er nach dem Unterricht zum Teilchenmodell mit Hilfe der Vorstellung sich ständig bewegendes Teilchen erfolgreich eine Modellvorstellung vom Vorgang des Verdunstens von Wasser entwickeln: es liegt eine Erweiterung des in der Lernstruktur bereits verankerten Teilchenkonzepts – ein conceptual growth – vor.

Hat ein anderer Jugendlicher die Vorstellung vom „Sonnenstrahl, der die Wasserpflanze aufsaugt“ (vgl. Kap. 2.1) verinnerlicht oder gar zusätzlich im Sachunterricht der Grundschule erfahren, dann wird er sich nur ungern von einer lange vertrauten Vorstellung trennen wollen. Auch wenn der neue Unterricht zum Teilchenmodell plausibel und nachvollziehbar erscheint, würde er nicht zwangsläufig die neue Teilchenvorstellung auf das „Verschwinden einer Wasserpflanze“ anwenden und gegen die „Saugtheorie der Sonne“ eintauschen. Hilft der Lehrer ihm dabei mit dem Bild sich selbständig bewegendes Teilchen, dann muss dieser Schüler einen großen Schritt tun: sich von der vertrauten Vorstellung trennen und die neue Vorstellung aufbauen, er muss einen conceptual change in seiner kognitiven Struktur vollziehen. Das fällt viel leichter, wenn er aktiv und eigenständig Modellversuche zur Teilchenbewegung durchführt, wenn er an ähnlichen Beispielen, etwa an der Diffusion von Parfum, den neuen Sachverhalt vielfach wiederholt.

Auch die Entwicklung von einer Vernichtungsvorstellung hinsichtlich der Verbrennung zu einer Erhaltungsvorstellung – etwa bezüglich der Metall-Sauerstoff-Reaktionen – würde einen solchen Wechsel in der kognitiven Struktur, einen conceptual change, nach sich ziehen.

Für das Aufdecken von individuellen Fehlvorstellungen und einen folgenden geeigneten naturwissenschaftlichen Unterricht hinsichtlich des conceptual growth oder des conceptual change wählt TABER das Bild eines „**Learning-Doctor**“ [3]: „A useful metaphor here might be to see part of the role of a teacher as being a learning-doctor: a) diagnose the particular cause of the failure-to-learn; and b) use this information to prescribe appropriate action, designed to bring about the desired learning. ... Two aspects of the teacher-as-learning-doctor comparison may be useful. Firstly, just like a medical doctor, the learning-doctor should use diagnostic tests as tools to

guide action. Secondly, just like medical doctors, teachers are ‘professionals’ in the genuine sense of the term. Like medical doctors, learning-doctors are in practice. (The ‘clinic’ is the classroom or teaching laboratory). Just as medical doctors find that many patients are not textbook cases, and do not respond to treatment in the way the books suggest, so many learners have idiosyncrasies that require individual treatment“ [3].

TABER möchte darüber hinaus gewährleisten, dass interessante Fälle eines „individual treatment“ in entsprechenden Zeitschriften der Naturwissenschaftsdidaktiken publiziert werden, sodass möglichst andere Lehrerkollegen von solchen Erkenntnissen profitieren können. Es hört sich zwar reizvoll an und es mag in Einzelfällen zu Veröffentlichungen von Lehrern und Lehrerinnen kommen – nur „research-based activities“ [3] von allen Lehrern zu verlangen, wäre bei der derzeitigen Arbeitsbelastung nicht realistisch.

2.4 Schülervorstellungen und Umgangssprache

Man muss sich klar darüber sein, dass neu erworbene Konzepte nicht für alle Zeit tragfähig sind und bald nach dem Unterricht wieder empfindlich beeinträchtigt werden können: Lebensweltliche Vorstellungen, die man über viele Jahre erwirbt, sind tiefer verwurzelt als neuartige Konzepte, die nach einigen Unterrichtswochen oder gar nur Stunden aufgenommen werden. Es gilt also zum einen, die neuartigen Vorstellungen wiederholt in Unterrichtssituationen anzuwenden und zu vertiefen, um ihre feste **Verwurzelung** bei den Lernenden zu erreichen.

Zum anderen muss den Lehrpersonen klar sein, dass Gespräche mit Freunden und Verwandten hinsichtlich naturwissenschaftlicher Themen die Schüler mit ihren noch nicht verwurzelten neu erworbenen Vorstellungen verunsichern können: die **Umgangs- und Alltagssprache** bleibt den neuen Vorstellungen entgegengerichtet. Die Schüler müssen sich etwa nach dem Erwerb des Erhaltungssatzes nach wie vor mit Aussagen auseinandersetzen wie „der Brennstoff ist weg“, „Flecken werden entfernt“, oder „Strom wird verbraucht“. Man müsste erreichen, dass Schüler mit der Reflexion umgangssprachlicher Ausdrücke beginnen und Verwandten und Freunden diese Reflexion im Gespräch anbieten – diesbezüglich würden diese Schüler eine Kompetenz erwerben, die auch die allseits gewünschte Kritikfähigkeit sehr fördert. Eine solche Kompetenz könnte dann einen positiven Einfluß auf die Gesellschaft ausüben, indem naturwissenschaftliche Sachverhalte nicht nur in der üblichen Umgangssprache, sondern von Jugendlichen in der erlernten Fachsprache angemessen beschrieben und zutreffend weitergegeben werden.

Schließlich sind es **Einflüsse der Medien und der Werbung**, die die neu erworbenen Vorstellungen der Schüler beeinträchtigen. Auf der einen Seite droht die Umgangs- und Alltagssprache, die in vielen Werbespots des Fernsehens besonders unsachlich ist. Auf der anderen Seite werden in Umweltdiskussionen der Medien oftmals Vorurteile gegenüber Chemie und Technik verbreitet, die die Vorstellungswelt der Schüler erschüttern können. Auch eine diesbezügliche Sensibilisierung der Schüler und Schülerinnen kann durch eine sachgerechte Vermittlung naturwissenschaftlicher Deutungen erreicht und die entsprechende Kritikfähigkeit entwickelt werden.

2.5 Chemische Fachsprache auf verschiedenen Ebenen

Hausgemachte Fehlvorstellungen entstehen auch vielfach dadurch, dass der Modellbegriff nicht klar ist und die Fachsprache hinsichtlich der Stoffe, der Teilchen und der chemischen Symbole nicht angemessen differenziert wird. Wird etwa die Neutralisation ausschließlich durch die übliche Reaktionsgleichung $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ beschrieben, so haben die Schüler keine Chance, eine Modellvorstellung zu entwickeln, die von den Ionen als kleinsten Teilchen bei der Reaktion ausgeht. Meist äußern sie bei Befragungen Vorstellungen von H-Cl-Molekülen und Na-O-H-Molekülen, die der Neutralisationsreaktion zugrunde liegen. Würde man von beiden Ionenarten in der Salzsäure und in der Natronlauge sprechen und sie sogar in Form von Modellzeichnungen anbieten [11], dann könnten die Jugendlichen eine Fachsprache auf der Ebene der Ionenvorstellung entwickeln, die sachlich angemessen ist und die Interpretation der oben angegebenen Reaktionsgleichung mit Hilfe der Symbole beteiligter Ionen zulassen würde.

JOHNSTONE [12] erläutert diesen Zusammenhang mit einem symbolischen Dreieck (Abb. 2.1): „We have three levels of thought: the macro and tangible, the sub micro atomic and molecular, and the representational use of symbols and mathematics. It is psychological folly to introduce learners to ideas at all three levels simultaneously. Herein lies the origins of many misconceptions. The trained chemist can keep these three in balance, but not the learner“ [12].

Inbesondere im Chemieunterricht der Sekundarstufe I erscheint der traditionelle Übergang von der makroskopischen Ebene direkt auf die symbolische Ebene als besonders schwierig und verführt zur Bildung von hausgemachten Fehlvorstellungen: die Lernenden sehen zum einen keinen Zusammenhang beider Ebenen, zum anderen wird es ihnen überlassen, welche Vorstellungen sie sich bezüglich der submikroskopischen Ebene bilden.

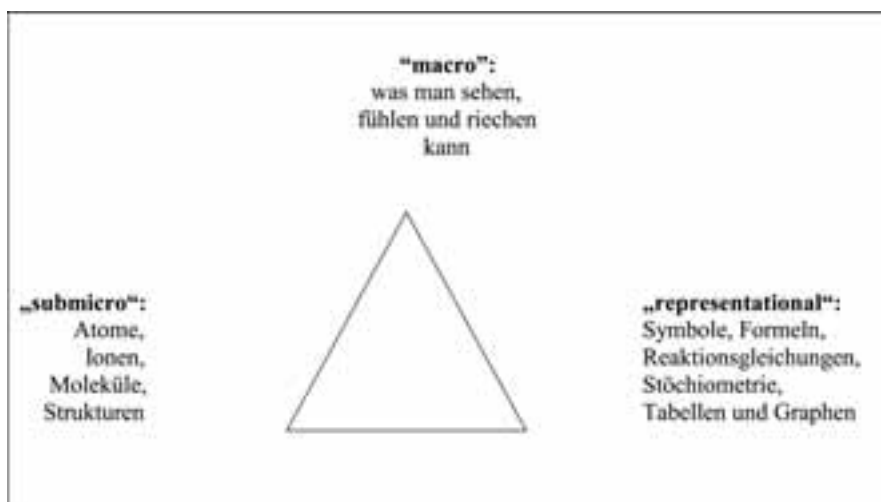


Abb. 2.1. “Chemical Triangle“ nach JOHNSTONE [11]

Die Fehlvorstellungen bezüglich des Neutralisationsbeispiels lassen sich vermeiden, wenn zunächst nach Durchführen des Experiments die Beobachtungen ohne jede modellhafte Interpretation beschrieben werden: auf dem **macro-level**. Zur Auswertung der Beobachtungen können dann Fragen zu den an der Reaktion beteiligten Teilchen gestellt werden und mit der Fachsprache hinsichtlich des **submicro-level** beantwortet werden, besser noch sollen möglichst auch Modellzeichnungen hinsichtlich der Vorstellungen von hydratisierten Ionen in der Salzsäure und in der Natronlauge hinzukommen [11]. Erst wenn die Reaktion der $\text{H}^+(\text{aq})$ -Ionen mit den $\text{OH}^-(\text{aq})$ -Ionen zu H_2O -Molekülen geklärt ist, wird die Ebene der chemischen Symbole, der **representational level** besritten: eine erste Reaktionsgleichung gibt die beteiligten Ionenarten an, ein weiteres Reaktionssymbol mag die Gesamtreaktion dann wie üblich zusammenfassen.

2.6 Basiskonzepte für einen modernen Chemieunterricht

Im Sinne eines learning-doctor sollen für viele Inhalte und Themen sowohl die ursprünglichen Vorstellungen als auch die hausgemachten Fehlvorstellungen beschrieben werden. Da die Vielfalt der Themen unübersehbar ist, werden die in der Diskussion befindlichen Basiskonzepte für den Chemieunterricht zugrunde gelegt [13]: „Wir haben eingehend die Frage untersucht, ob sich die für die Schule relevanten chemischen Fachinhalte auf einige wenige übergeordnete zentrale Prinzipien oder naturwissenschaftliche Begriffe

zurückführen lassen, die für das Verstehen einzelner chemischer Prozesse grundlegend sind. Wir haben diese Fragen mit Universitätsprofessoren und Fachdidaktikern genau so diskutiert wie mit Lehrern aller Schulformen. Als Ergebnis dieser Diskussion können wir als breiten Konsens festhalten: Ein elementares chemisches Grundverständnis läßt sich auf die Beherrschung einer eng begrenzten Zahl von Prinzipien zurückführen: Prinzipien, die für das Verstehen von „Chemie“ grundlegend sind. Wir nennen diese Prinzipien „Basiskonzepte“ [13]. Da sich erste ursprüngliche Schülervorstellungen auch ohne ein Teilchenkonzept entwickeln, soll das Basiskonzept „Stoff-Teilchen-Konzept“ [13] in zwei Konzepte, nämlich „Stoffe und Eigenschaften“ und „Teilchen-Konzept“ gesplittet werden.

Stoffe und Eigenschaften. Im Allgemeinen verfügen Kinder ohne einen diesbezüglichen Unterricht nicht über ein Teilchenkonzept und entwickeln ihre ursprünglichen Vorstellungen allein auf der Grundlage von Eigenschaften verschiedener bekannter Stoffe und Materialien bzw. derer Veränderungen. Die bekannte Vernichtungsvorstellung zu den Erscheinungen der Verbrennung etwa wird mit dem Abgeben von „Etwas“ in die Luft und dem Übrigbleiben von wenig Asche begründet – ohne jede Teilchenvorstellung. In dieser Weise gibt es viele Deutungen auch anderer Beobachtungen und Erscheinungen, die in Kapitel 3 diskutiert werden.

Teilchenkonzept. „Für die Wissenschaft Chemie gilt die Vorstellung, dass alle Materie aus submikroskopisch kleinen Teilchen, den Atomen oder Ionen, aufgebaut ist. Diese können isoliert vorkommen (Edelgase), lagern sich aber meistens zu Teilchenverbänden zusammen. Sie bilden dabei mehr oder weniger große Aggregate mit spezifischen Eigenschaften (z. B. Metallkristalle oder Salzkristalle) aus. Die Vielfalt der Stoffe ergibt sich dabei durch die vielfältigen Kombinationen und Anordnungen einer nur begrenzten Anzahl unterschiedlicher Atomsorten“ [13].

Diesbezügliche Fehlvorstellungen können nur hausgemachte sein, da es zunächst einen Unterricht zum Teilchenmodell bzw. zum Daltonschen Atombegriff geben muss, ehe die Jugendlichen andere als die vermittelten Vorstellungen ausbilden können – das gilt auch im Folgenden.

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen. „Die Eigenschaften eines Stoffes sind unmittelbar abhängig von der Art des Teilchens oder Teilchenverbandes, wie es einen Stoff aufbaut. Dabei ist für die Ausprägung der Stoffeigenschaften die Art des Aufbaus der Teilchen entscheidender als die Art (Sorte) der atomaren Bausteine“ [13].

Chemisches Gleichgewicht. „Da der Austausch von (Bestandteilen von) Atomen sowie von Energie prinzipiell immer möglich ist, können grundsätzlich Reaktionen in entgegengesetzte Richtungen (Hin- und Rückreaktionen) nebeneinander ablaufen. Als Resultat stellt sich unter bestimmten, konstanten Bedingungen ein definierbares Verhältnis aus Edukten und Produkten ein, das man als ‚chemisches Gleichgewicht‘ bezeichnet“ [13].

Donator-Akzeptor-Prinzip. „Die Teilchenverbände, aber auch die atomaren Bausteine der Materie selbst können miteinander in Wechselwirkung treten („reagieren“) und dabei Anziehungs- bzw. Abstoßungskräfte entwickeln, Teilchen oder Energie austauschen. Teilchen oder Energie, die von einem Partner abgegeben werden, werden vom anderen Partner aufgenommen“ [13]. Die übertragenen Teilchen können a) Protonen, b) Elektronen oder c) Liganden sein. Dementsprechend werden in diesem Kapitel hausgemachte Fehlvorstellungen zu a) Säure-Base-Reaktionen, b) Redoxreaktionen und c) Komplexreaktionen zusammengefasst.

Energie. „In allen Stoffen ist Energie gespeichert. Das Maß der gespeicherten Energie ist eine ganz charakteristische Stoffgröße. Bei chemischen Reaktionen, bei denen sich die Stoffe verändern, verändert sich auch ihr Energiegehalt – die Stoffe geben dabei Energie ab oder nehmen Energie auf“ [13].

Diese Basiskonzepte werden der folgenden Diagnose von Schülervorstellungen und deren Korrektur in der Unterrichtspraxis zugrunde gelegt.

Literatur

1. Barke, H.-D.: Schülervorstellungen. In: Barke, H.-D., Harsch, G.: *Chemiedidaktik Heute*. Heidelberg 2001 (Springer)
2. Sommer, C.: Wie Grundschüler sich die Erde im Weltraum vorstellen – eine Untersuchung von Schülervorstellungen. *ZfDN* 8 (2002), 69
3. Taber, K.: *Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure*. Volume I. London 2002 (Royal Society of Chemistry)
4. Barke, H.-D., Schmidt, F K: Chemische Reaktionen und physikalische Vorgänge: mit untauglichen Schubladen zur Nulleffizienz. *MNU* 57 (2004), 115
5. Barke, H.-D., Selenski, T., Sopandi, W.: Mineralwasser und Modellvorstellungen. *PdN-ChiS* 52 (2003), H.2, 15
6. Hilbing, C., Barke, H.-D.: Ionen und Ionenbindung: Fehlvorstellungen hausgemacht! Ergebnisse empirischer Erhebungen und unterrichtliche Konsequenzen. *CHEMKON* 11 (2004), 115
7. Ausubel, D.P.: *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim 1974 (Beltz)

8. Piaget, J., Inhelder, B.: Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde. Stuttgart 1971 (Klett)
9. Pfundt, H.: Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. MNU 28 (1975), 157
10. Duit, R.: Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. Kiel 1996 (IPN)
11. Barke, H.-D.: Das Chemische Dreieck. Unterricht Chemie 13 (2002), 45
12. Johnstone, A H: Teaching of Chemistry – logical or psychological? CERAPIE 1 (2000), 9
13. Bündler, W., Demuth, R., Parchmann, I.: Basiskonzepte – welche chemischen Konzepte sollen Schüler kennen und nutzen? PdN-ChiS 52 (2003), H. 1, 2