

Neue Wege zum Teilchenkonzept
– Oder: Wie man Basiskonzepte forschungs- und praxisorientiert entwickeln kann
Von Ingo Eilks

Dieser Beitrag ist eine ausführliche Version des gleichnamigen Beitrag erschienen in „Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie“ im Themenheft Basiskonzepte, Heft 100/101 (2007)

In Zusammenarbeit mit Martin Haverkamp, Gabriele Leerhoff, Stephan Kienast, Ute Knoop, Jens Möllering, Monika Plegge, Herbert Schultheis, Ulrike Willeke, Torsten Witteck, Petra Wlotzka

Ein neuer Weg zum Teilchenkonzept

Durch die nationalen Bildungsstandards (NBS) [1] oder MNU-Empfehlungen [2] ist die Diskussion um Basiskonzepte zu einem bestimmenden Element der chemiedidaktischen Diskussion in Deutschland geworden. Aber auch zuvor gab es Ansätze, Chemieunterricht aus dieser Perspektive neu zu denken [3, 4, 5]. So begann auch das hier beschriebene Projekt bereits vor über 7 Jahren. Startpunkt war die Annahme, dass dem gesamten naturwissenschaftlichen Unterricht drei wesentliche, fächerübergreifende Schlüsselkonzepte zu Grunde liegen – heute würden wir dies Basiskonzepte nennen: das Teilchenkonzept, das Energiekonzept und das System- und Gleichgewichtskonzept. Wir sehen diese Konzepte als die drei zentralen fächerübergreifenden Schlüsselkonzepte für die Naturwissenschaften, wobei die Akzentuierung in den drei Naturwissenschaften jeweils eines der Basiskonzepte besonders in den Blick nimmt. Das Teilchenkonzept ist dabei das für den Chemieunterricht wesentlichste, taucht es doch in nahezu jedem Unterrichtszusammenhang auf und wird kontinuierlich entwickelt. In unserem Verständnis umfasst es sowohl den diskontinuierlichen Aufbau der Stoffe an sich, als auch Unterkonzepte, wie den Zusammenhang zwischen Stoff, Struktur und Eigenschaft, die Stoff- bzw. Teilchenumwandlung oder auch das Donator-Akzeptor-Prinzip. Die NBS gehen heute von vier Basiskonzepten aus, die MNU-Empfehlungen oder das Projekt Chemie im Kontext nehmen andere Aufteilungen vor. So ist diese Aufteilung immer noch diskussionswürdig (Abb. 1). Allen Diskussionsbeiträgen ist aber gemeinsam, dass die Vorstellung vom diskontinuierlichen Aufbau der Materie und ihrem Wechselspiel mit der stofflichen Ebene (und der damit unmittelbar zusammen hängenden Konzepte) die vielleicht wichtigste Schlüsselvorstellung – das vielleicht wichtigste Basiskonzept – für die Chemie ist. Diesem Gedanken hat sich seit nun bereits über sieben Jahren das Projekt „Neue Wege

zum Teilchenkonzept“ verschrieben, über das erstmals zwischen 1999 und 2001 berichtet wurde [6].

Aber wie gelingt es nun solche Basiskonzepte belastbar und nachhaltig zu strukturieren? In dem Druck, der durch die PISA-Ergebnisse entstanden ist, sind immer wieder Vorschläge für den Umgang mit Basiskonzepten erstellt worden. Hierbei war nicht immer klar, auf welcher Grundlage diese Vorschläge strukturiert wurden, ob fachwissenschaftliche Erwägungen entscheidend waren, ob empirische fachdidaktische Forschung berücksichtigt wurde oder ob diese Vorschläge lediglich aufgrund individueller Erfahrungen erstellt wurden. Häufig schien es, dass Strukturierungen auf dem Reißbrett entworfen wurden und das einzige Korrektiv eine Diskussion innerhalb der Fachdidaktik, des Schulkollegiums oder einer Gruppe der Lehrplanentwicklung war. Dies war sicher dem hohen Zeitdruck, vielleicht aber auch der mangelnden empirischen Basis geschuldet. Die Einschätzung einer mangelnden empirischen Basis trifft aber nur auf die Frage einer Nutzung und Strukturierung der Basiskonzepte zu. Inhaltlich und fachdidaktisch gesehen gibt es in vielen Bereichen eine breite empirische Basis über Lernprozesse und Schülervorstellungen, insbesondere zum Teilchenkonzept.

Das Projekt „Neue Wege zum Teilchenkonzept“ nutzt diese Wissensbasis im Zusammenspiel mit anderen Überlegungen und der Nutzung praktischer Erfahrungen von Lehrerinnen und Lehrern. Grundlegend hierfür ist das Modell Partizipativer Aktionsforschung, das ausführlich in [7] beschrieben ist. Hier arbeiten Fachdidaktiker und Lehrkräfte über einen langen Zeitraum zusammen, um gemeinsam neue Curricula oder Unterrichtskonzepte zu entwerfen, zu erproben und zyklisch zu optimieren (Abb. 2). So wird durch die Zusammenarbeit sichergestellt, dass die neuen Ideen immer wieder Forscherkenntnissen abgeglichen, auf Praxis-tauglichkeit hinterfragt und in ihrer Wirkung untersucht werden. Exemplarisch kann diese Auseinandersetzung etwa bei den Zugängen zur chemischen Reaktion nachvollzogen werden [8], aber auch etwa hinsichtlich des Umgangs mit dem Stoff- [9] oder Modellbegriff [15] oder bzgl. der Visualisierung erster Zugänge zum Teilchenkonzept [6].

	(Stoff-) Teilchenkonzept	Energiekonzept	System- und Gleichgewichtskonzept
NBS 2005	- Stoff-Teilchen-Beziehungen - Struktur-Wirkungs-Beziehungen - Chemische Reaktion	- Energetische Betrachtungen bei Stoffumwandlungen	
MNU 2003	- Submikroskopisches Teilchenmodell - Struktur-Eigenschafts-Beziehungen - Periodensystem - Donator-Akzeptor	- Energie	- Gleichgewicht - Prinzip „Stoffkreislauf“
Chemie im Kontext nach <i>www.chik.de</i>	- Stoff-Teilchen - Struktur-Eigenschaft - Donator-Akzeptor	- Energie	- Gleichgewicht

Abb. 1: Aufteilung in drei Schlüsselkonzepte und Zuordnung der Basiskonzepte aus den Bildungsstandards, der Fachkonzepte der MNU-Empfehlungen und aus dem Projekt Chemie im Kontext

Grundlegende Gedanken bei der Neustrukturierung des Teilchenkonzepts

Kerngedanke bei der Strukturierung eines neuen Umgangs mit dem Teilchenkonzept war, einen in sich konsistenten Durchgang durch das Teilchenkonzept an Stelle einer Abfolge verschiedener historischer Modelle zu strukturieren und diesen explizit auszuformulieren. Startpunkt dabei waren Unterrichtserfahrungen der beteiligten Praktikerinnen und Praktiker aber auch Erkenntnisse aus der empirischen Lehr- und Lernforschung. Obwohl es gängige didaktische Lehrmeinung zu sein schien, das Teilchenkonzept müsse notwendig als eine Abfolge verschiedener historischer Modelle behandelt werden, gibt es nach wie vor so gut wie keine empirische Evidenz über den Erfolg dieses Weges. Im Gegenteil wurde aus der Praxis heraus immer wieder über Demotivation und Verwirrung berichtet, wenn jüngere Schülerinnen und Schüler gerade Gelerntes bereits wieder revidieren sollten. Für diese eher problematischen Erfahrungen hingegen gab es empirische Unterstützung. Es wurde mehrfach nachgewiesen, dass eine sich wiederholende Revision verschiedener, historischer Modelle aus der Schülersicht wenig motivierend ist, oftmals nicht nachvollzogen wird und zu Schwierigkeiten in der Konzeptentwicklung führen kann [z. B. 6, 8]. Gerade dieser Weg war es, der durch die empirische Lehr-Lernforschung in Frage gestellt wird [z. B. 10]. So wurde aus dieser Perspektive bzgl. der Struktur des Teilchenkonzepts international bereits angemahnt, die Konsistenz in der Konzeptentwicklung aus fachlicher und didaktischer Sicht auf den Prüfstand zu stellen bzw. zu suchen [11]. Einen Einfluss auf Praxis in Deutschland haben diese mahnenden Worte allerdings bisher kaum gehabt.

In Einklang mit diesen mahnenden Worten schien es wünschenswert für das Lernen der Schülerinnen und Schüler eine in sich kohärente Struktur des zu vermittelnden Teilchenkonzepts zu schaffen. Eine solche kohärente Struktur sollte es ermöglichen, didaktische Entscheidungen bei der Vermittlung des Teilchenkon-

zepts, etwa über Unterrichtsschritte oder Medien, mit Blick auf eine anschlussfähige Konzeptentwicklung der Schülerinnen und Schüler zu begründen oder zu verwerfen. Bei solchen Entscheidungen ist es dann wesentlich, dass diese mit Blick auf die Schülerinnen und Schüler, deren Alter und Leistungsniveau getroffen werden. So stellt sich die Struktur des Basiskonzepts auch mehr als ein Bezugsrahmen dar, der die Forderung nach innerer Kohärenz und Berücksichtigung von Schülervorstellungen und Lernprozessen begründet, aber immer noch Spielraum für unterschiedliche Unterrichtsverläufe zulässt.

Aus unserer Sicht hat es sich in der Praxis bewährt, im Zusammenspiel von theoretisch-empirischer Begründung und Praxisentwicklung das gesamte Teilchenkonzept explizit auszuformulieren. Eine solche Explikation, wie sie bereits bei de Vos und Verdonk [11] in ersten Schritten angedacht war, kann Lehrerinnen und Lehren helfen, ihren eigenen Unterricht zu hinterfragen und auf Stimmigkeit und mögliche Schwierigkeiten zu prüfen. Solche Schwierigkeiten treten auf, wenn für die Schülerinnen und Schüler nicht nachvollziehbare Sprünge entstehen. Diese Sprünge sind häufig deshalb nicht nachvollziehbar, da ein hinreichend entwickeltes Modellverständnis vorausgesetzt wird. Dieses Verständnis ist aber nachweislich bei den meisten Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I - noch nicht entwickelt, vielleicht auch nicht bei allen Schülerinnen und Schülern entwickelbar. Dies ist umso mehr zu bedenken, wenn Teilchendeutungen früh, etwa in den Jahrgängen 5/6 oder 7/8 eingeführt und erweitert werden.

Ausgewählte Gedanken zu einem veränderten Umgang mit dem Teilchenkonzept

Im Mittelpunkt des frühen Chemieanfangsunterrichts steht die phänomenologische Erfassung stofflicher Eigenschaften und Veränderungen. Heute ist es Konsens, auch bereits im Anfangsunterricht erste Vorgänge submikroskopisch, also auf der Teilchenebene, zu

erklären. Dies betrifft die Aggregatzustände, ihre Übergänge oder den Auflösungsprozess. Hierzu benötigt man ein erstes, einfaches Teilchenkonzept. Mit diesem Konzept werden Aussagen über die Ebene der diskret vorkommenden Teilchen gemacht, zunächst noch ohne deren Veränderungen ein zu beziehen.

Aus unserer Sicht wichtig bei der Aufstellung eines solchen Konzepts ist die Berücksichtigung des späteren anschlussfähigen Ausbaus hin zu einer Erklärungsbasis für chemische Veränderungen oder Struktur-Eigenschafts-Deutungen. Es sollte also kein Konzept vermittelt werden, dass ohne metatheoretische Modellbetrachtungen zwangsläufig zu Missverständnissen führt, da es zum weiteren Aufbau in Widerspruch steht. Ein solcher Weg, der im Schülerverständnis immer wieder zu Verwechslungen und Missverständnissen führt ist die Abfolge verschiedener historischer Modelle. Nachweislich trägt dieser Wechsel zwischen unterschiedlichen Modellen im frühen Chemieunterricht zu Missverständnissen, aber auch

einer geringen Selbsteinschätzung über das eigene Leistungsvermögen bei.

So wird im von uns entwickelten Zugang zum einfachen Teilchenkonzept versucht, auf solche bereits noch in der SI notwendig zu revidierenden Aussagen zu verzichten. Die Aussage etwa, alle Teilchen dieses einfachen Teilchenkonzepts seien kugelförmig, ist inhaltlich verzichtbar. Sie ist lediglich der einfachen Darstellbarkeit und der fachwissenschaftlich-tradierten Illustration des Massepunktmodells der kinetischen Thermodynamik geschuldet. Einen Mehrwert im Anfangsunterricht in der Erklärung der behandelten Phänomene stellt sie nicht dar. Andererseits führt sie nachweislich zu Verständnisschwierigkeiten. Eine Verwechslung mit den später einzuführenden Atomen ist bei vielen Lernenden nahezu zwangsläufig, wie etwa eine Analyse älterer, aber immer noch zum Teil genutzter, Schulbücher bei der Einführung der chemischen Reaktion zeigt (Abb. 2). Zur Diskussion der chemischen Reaktion, siehe **Kasten 1**.

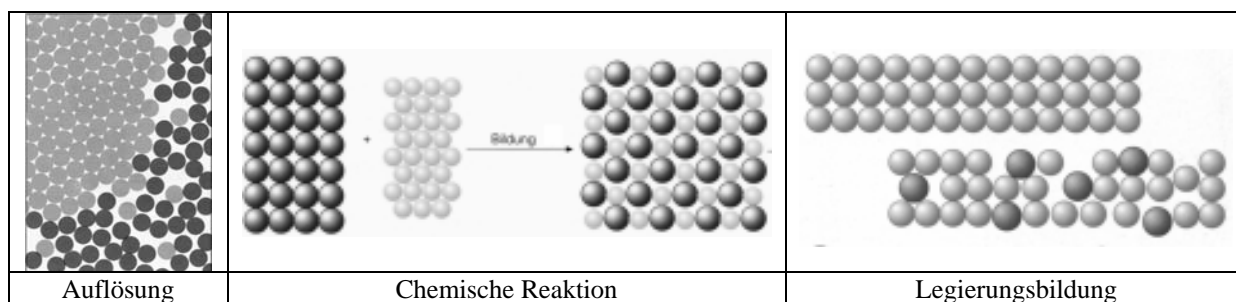


Abb. 2: Verwechslungsmöglichkeiten zwischen Kugelteilchen und Atomen: Auflösung, chemische Reaktion und Legierungsbildung aus demselben Schulbuch [24]; vgl. Diskussion in [8].

Auch halten wir es im Sinne des normalerweise zu Grunde gelegten Kugelteilchenmodells für bedenklich festzustellen, Reinstoffe würden immer aus nur einer einzelnen Sorte identischer Teilchen bestehen. Eine Unterscheidung zwischen Reinstoffen und Gemischen ist kein Gegenstand des Modells der kinetischen Gastheorie, wird diesem Modell aber hier übergestülpt. Eine solche Aussage trifft für die Salze so sicherlich nicht zu (vgl. **Kasten 1**).

So haben eine Reihe aktueller empirischer Studien u. a. von Taber [z. B. 12] oder Johnson [z. B. 13] gezeigt, dass ein sorgfältigerer Umgang mit der Ebene der diskret vorkommenden Teilchen und eine klare Trennung von der Ebene ihre Bausteine – der Atome und der Atombestandteile – die Konzeptentwicklung verbessern helfen kann. Dies geht unmittelbar einher mit einer weniger absoluten Nutzung des Begriffes des „Kleinste“. Manche der gängigerweise benutzten Aussagen stammen aus einer fachwissenschaftlich-gewachsenen Perspektive, sind aber für die Deutungen dieser Themen im Chemieanfängsunterricht verzichtbar.

Im vorgestellten Konzept ist nicht von absolut kleinsten Teilchen die Rede. Schülerinnen und Schüler wissen sehr wohl – vielleicht sogar schon vor Beginn des Chemieunterrichts – um die Existenz der Atome und evtl. auch der Elektronen oder etwa der Kernspaltung

[14]. Eine Redewendung *der* kleinen Teilchen, die einen Stoff ausmachen, weicht dieser Problematik aus, ist dennoch hinreichend und kann eine weitere, spätere Differenzierung vorbereiten, wenn man über den Aufbau dieser kleinen Teilchen unterrichtet. Es kann von vorne Herein deutlich werden, dass auch diese kleinen Teilchen, die einen Stoff konstituieren, einen inneren Aufbau haben, dass sie aus noch kleineren Bausteinen (Atomen, dann aber auch den Atombausteinen) bestehen, die diese charakteristischen kleinen Teilchen bilden.

In Abb. 5 ist ein Vorschlag für Grundaussagen eines ersten Teilchenkonzepts formuliert, das einen didaktischen Rahmen für den Umgang mit Teilchendeutungen auf dieser Ebene darstellen kann. (Hier findet sich auch ein Vorschlag für den weiteren Ausbau, vgl. auch u. a. [6, 15-18].) Dieses erste Teilchenkonzept lässt sich dann später anschlussfähig und weitgehend ohne Widersprüche erweitern. Es ist dennoch für die Erklärung der schulrelevanten Anwendungen in dieser frühen Phase des Chemieunterrichts hinreichend.

Wichtig ist aber nicht nur die Möglichkeit eines jeweils anschlussfähigen Ausbaus in den folgenden Jahrgangsstufen. Wichtig ist auch, dass deutlich wird, dass hier ein tragfähiges Konzept erarbeitet wird, das für eine Vielzahl von Anwendungen innerhalb der Chemie (aber auch darüber hinaus) eine gute Basis

bereit stellt. Hat man dann ein solches Konzept - an Stelle verschiedener Modelle für jede Anwendung - wird es möglich, dass sich dieses durch eine breite und durchgehende Anwendung aus den verschiedenen Kontexten heraus zunehmend festigt, die gemeinsame Tragweite deutlich wird und sich vertikale Vernetzungen zwischen den verschiedenen Richtungen ausbilden. Dabei ist es nicht notwendig, dass man alle Grundaussagen von Beginn an in den Unterricht ein-

führt. Aus unserer Sicht sinnvoller erscheint es, abhängig vom Inhalt notwendige Aussagen einzuführen, etwa zum Verständnis der Aggregatzustände, und dann jeweils eine Vervollständigung bei der Behandlung weiterer Inhalte.

Auch sei hier noch auf den vielleicht schwierigsten Schritt im Anfangsunterricht verwiesen: den ersten Zugang zur chemischen Reaktion.

Kasten 1

Ein Exkurs zur Einführung der chemischen Reaktion

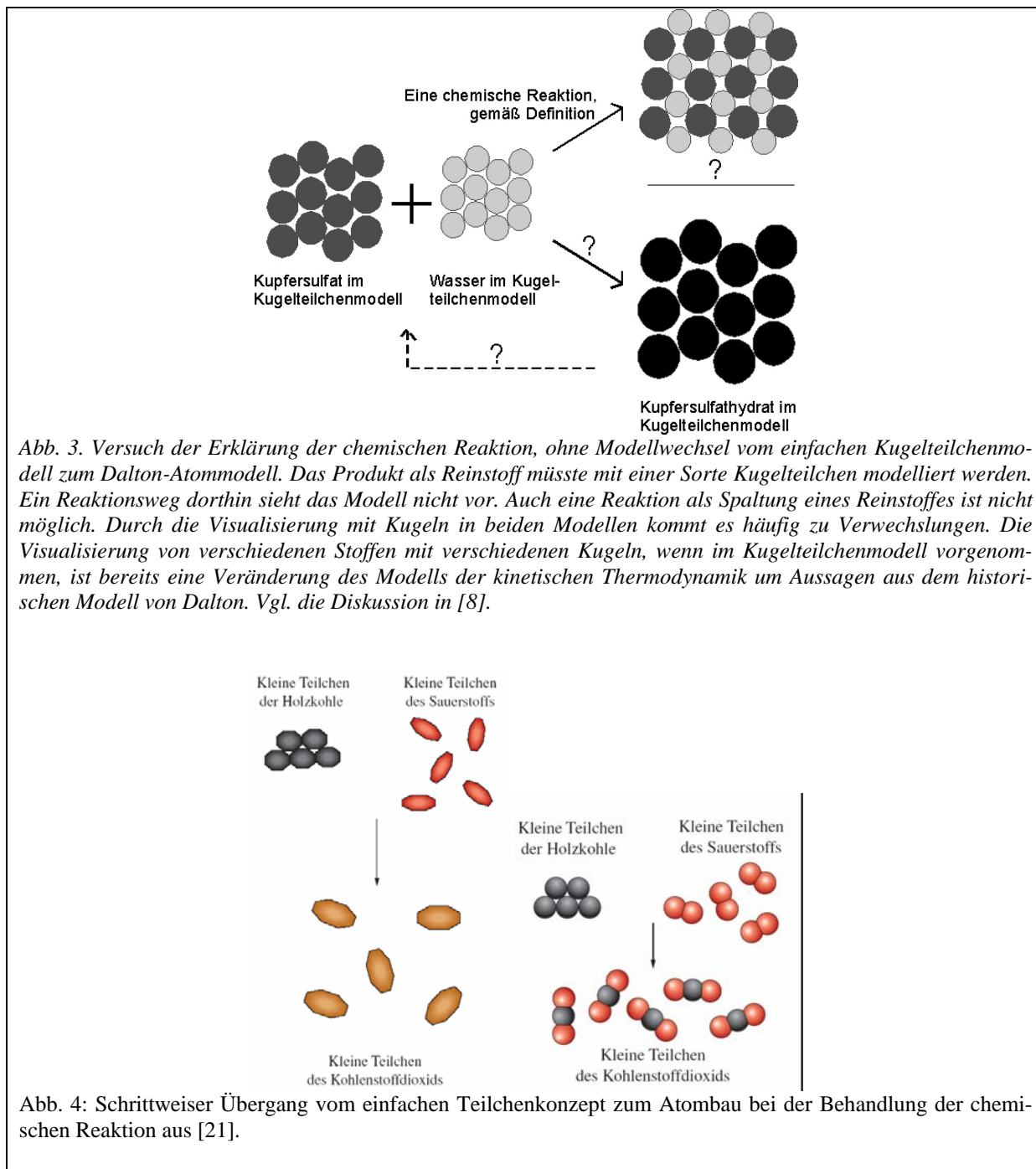
Die chemische Reaktion ist eines der zentralen Konzepte der Chemie. In den NBS ist sie ein eigenes Basiskonzept. Bzgl. der Stoff- und Teilchenebene sehen wir sie als ein Unterkonzept des Teilchenkonzepts, wie oben diskutiert, an.

Schulbücher schlagen unterschiedliche Wege zur chemischen Reaktion vor. Wir haben diese Wege ausführlich diskutiert und mit den Erfahrungen der beteiligten Lehrkräfte aber auch der empirischen Lehr- und Lernforschung abgeglichen [8]. Viele Konzepte scheinen im Verhältnis zu den potentiellen Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler nur wenig abgestimmt, sondern nur aus der Fachperspektive heraus entwickelt. Einige Konzepte wählen sogar Zugänge, die aus Sicht vieler Schülerinnen und Schüler in sich nicht stimmig oder gar widersprüchlich verbleiben müssen, u. a. weil die Ebenen der diskret vorkommenden Teilchen und der Atome unzulässig vermischt werden [8]. Leider gibt es viel empirische Evidenz dafür, dass eine Vermischung verschiedener nicht konsistenter Konzepte bei vielen Schülerinnen und Schüler vorkommt. Dies betrifft u. a. anderem das Teilchenkonzept [10], aber auch etwa das Redoxkonzept [19].

Dementsprechend sollte der Diskussion von Hesse & Anderson [20] folgend grundlegend darüber nachgedacht werden, wie ein erster Zugang zur chemischen Reaktion aussehen sollte. Hierbei muss man sich bewusst machen, dass die zuerst eingeführten Teilchen eines einfachen Teilchenkonzepts nicht Repräsentanten für Atome sondern für diskret vorkommende Teilchen sind. Dies schließt u. a. auch die Moleküle mit ein. Mit Blick auf ein anschlussfähiges Konzept muss man bedenken, dass im Chemieunterricht der Sekundarstufe I überwiegend Reaktionen eine Rolle spielen, in denen Elektronen oder Protonen übertragen werden und/oder sich Moleküle durch Umlagerung von Bindungen verändern. In allen Fällen bedeutet dies, dass eine chemische Reaktion mit einer Veränderung der diskret vorkommenden Teilchen (auch im Sinne großer kovalenter Verbände) verbunden ist, die für die Ausgangsstoffe charakteristisch sind. Diese Veränderung führt zu anderen charakteristischen Teilchen, die dann einen neuen Stoff konstituieren.

Eine solche Definition ist im Hinblick auf die spätere Ausdifferenzierung etwa hinsichtlich einer Elektronenübertragung oder Umordnung von Bindungen anschlussfähig erweiterbar und behält ihre Gültigkeit als zusammenfassende Umschreibung der verschiedenen Typen chemischer Reaktionen auch dann, wenn diese weitergehend auf der Ebene der Atome und mit deren Bausteinen erklärt werden. (Ein Problem stellt hier lediglich die Legierungsbildungen dar, wenn diese als chemische Reaktion aufgefasst wird. Dies ist aber entgegen der IUPAC Festlegung in der Regel nicht der Fall.) Bei einer konsequenten Einführung des Kugelteilchenmodells in seiner üblichen Interpretation der Schulbuchliteratur ist eine solche Deutung nicht möglich. Bereits die erste gelernte submikroskopische Deutung muss noch im Anfangsunterricht grundsätzlich verworfen werden und wird nicht im Sinne eines kumulativen Lernens vertiefend erweitert (Abb. 3).

Die Definition der chemischen Reaktion über die Veränderung der Teilchen ist nicht nur zwischen den Konzepten der Teilchen und Atome anschlussfähig (Abb. 4), sie lässt sich dann auch weiter mit dem Atombau ausbauen und unterstützt daneben die Notwendigkeit einer grundlegenden Veränderung der makroskopischen Eigenschaften bei chemischen Reaktionen. Nicht die Atome stehen hierbei im Mittelpunkt, wie bei vielen tradierten Unterrichtsvorschlägen, sondern zunächst erst einmal die diskret vorkommenden Teilchen. Umgekehrt ist selbstverständlich weiterhin eine Einschätzung erforderlich, ob die Veränderung in den stofflichen Eigenschaften als ausreichend angesehen wird, um von einer Veränderung der kleinen Teilchen und somit von einer chemischen Reaktion auszugehen. Chemische Reaktionen sind darüber hinaus mit einer Umordnung der Teilchen verbunden. Ausreichend ist dies alleine aber nicht. Eine solche Umordnung allein, auch im Sinne einer verstärkten Bewegung gegeneinander, wäre keine chemische Reaktion sondern umschreibt die schulrelevanten Prozesse etwa der Aggregatzustandswechsel, der Auflösung oder Diffusion.



Zur Struktur des Teilchenkonzepts

Die vorgestellte didaktische Struktur geht von verschiedenen Stufen der Konzeptentwicklung aus, wie sie auch in üblichen Kernlehrplänen und bisher vorliegenden Curricula umgesetzt wird. Der Unterschied ist der Versuch, das Teilchenkonzept in sich kohärent zu strukturieren, so dass einmal Gelerntes anschlussfähig erweitert werden kann. Historische Exkurse in die Entwicklung etwa der Atomvorstellung schließt ein solches Konzept in entsprechenden Lerngruppen selbstverständlich nicht aus, zu einer Strukturierung des Curriculums macht es sie aber nicht.

Zu allen Schritten der Konzeptentwicklung sind entsprechende Unterrichtseinheiten, Lernmaterialien oder multimediale Lernhilfen entwickelt und in der Praxis erprobt und zyklisch optimiert worden. Die Darstellung des Teilchenkonzepts in Abb. 5 stellt den vorläufigen Stand dieser Entwicklung dar, wie er immer wieder eingesetzt und in einer Vielzahl von Schulcurricula und neuerdings auch Lehrwerken [22] verankert worden ist. Dennoch gehen auch wir davon aus, dass auch in Zukunft durch neue Erprobungsstudien oder Erkenntnisse der empirischen Lehr- und Lernforschung Veränderungen ergeben können.

Stoffe bestehen aus Teilchen	Atome und ihr Aufbau						
<p>Alle Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen. Diese kann man selbst durch das beste Mikroskop nicht direkt mit dem Auge sehen. Man kann sie allerdings heute mit entsprechenden Methoden, wie der Rastertunnelmikroskopie abbilden.</p> <p>Zwischen den kleinen Teilchen ist nichts.</p> <p>Die kleinen Teilchen sind ständig in Bewegung. Mit steigender Temperatur nimmt diese Bewegung zu, mit fallender ab. Bei gleich bleibender Temperatur bleibt die Bewegung aller kleinen Teilchen zusammen genommen erhalten.</p> <p>Zusammenstöße zwischen zwei kleinen Teilchen verlaufen so, dass beide zusammengenommen ihre Bewegungsenergie behalten.</p> <p>Zwischen den kleinen Teilchen herrschen Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die stark vom Abstand abhängig sind.</p> <p>Gleiche Stoffe bestehen aus gleichen kleinen Teilchen. Die kleinen Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden sich in Aufbau, Form und Größe.</p> <p>Mit diesen Grundaussagen über den Aufbau der Stoffe aus kleinen Teilchen können wir uns einige Beobachtungen aus dem Alltag erklären. Wir können und dürfen aber noch keine Aussagen über die Gestalt oder das Aussehen der kleinen Teilchen machen. Hierzu benötigen wir Informationen über die Bausteine und den Aufbau der kleinen Teilchen.</p>	<p>Die kleinen Teilchen, aus denen alle Stoffe bestehen, sind aus einem oder mehreren Bausteinen aufgebaut. Dies sind die Atome.</p> <p>Atome sind kugelförmig und bestehen aus einem Atomkern und einer Atomhülle. Der Durchmesser des Atomkerns ist aber nur etwa 1/10000 mal so groß, wie der Durchmesser des gesamten Atoms. Er enthält aber nahezu die gesamte Masse.</p> <p>Atome sind aus Protonen, Neutronen und Elektronen aufgebaut. Im ungeladenen Zustand sind gleich viele Protonen und Elektronen vorhanden.</p> <p>Der Atomkern ist aufgebaut aus Protonen und Neutronen. Protonen sind einfach positiv geladen, Neutronen sind nicht geladen. Atomkerne sind durch chemische Reaktionen und elektrische Vorgänge nicht veränderbar. Atomkerne verändern sich nur beim radioaktiven Zerfall, der Kernspaltung und der Kernfusion.</p> <p>In der Atomhülle befinden sich Elektronen, die sowohl innerhalb des Atoms als auch unter bestimmten Bedingungen zwischen verschiedenen Atomen beweglich sind. Elektronen besitzen eine negative Ladung. Die Elektronen befinden sich auf unterschiedlichen Energiestufen. Man stellt sich diese Energiestufen als Schalen mit unterschiedlich großem Abstand zum Kern vor. In die innere Schale passen 2, in die nächste 8, in die dritte 18 Elektronen. In der äußeren Schale sind nie mehr als 8 Elektronen. Atome, die genauso viele Elektronen in ihrer äußeren Schale wie die Edelgase haben (Edelgaskonfiguration), sind besonders stabil. Über den jeweils genauen Aufenthaltsort der Elektronen innerhalb der Schalen kann man keine Aussage treffen.</p> <p>Für jedes der über 100 chemischen Elemente sind Atome mit einer bestimmten Anzahl an Protonen im Kern charakteristisch. Die Anzahl der Neutronen kann bei Atomen desselben Elements unterschiedlich sein, in diesem Fall spricht man von den Isotopen dieses Elements.</p>						
<p>Arten chemischer Bindungen</p> <p>Wir unterscheiden drei Arten chemischer Bindungen:</p> <p>a) Die ionische Bindung kommt zwischen Anionen (negativ geladenen Teilchen) und Kationen (positiv geladenen Teilchen) zustande. Diese ziehen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Ladungen elektrostatisch an. Diese Anziehung wirkt in alle Richtungen gleichermaßen. Die Struktur der ionisch aufgebauten Verbindungen, der Salze, kommt auf Teilchenebene durch die Packung der Ionen entsprechend ihrer Größe, Ladung und äußeren Form zustande.</p> <p>b) Die metallische Bindung kommt zwischen Metallatomen zustande. Diese sind im Metallverband nicht in der Lage, an einen bestimmten Partner Elektronen abzugeben oder dessen Elektronen aufzunehmen, um die Edelgaskonfiguration zu erreichen. Aus diesem Grund verteilen sich die Elektronen der äußeren Schale zwischen den Metallatomen. Dies ist ein günstigerer Zustand und führt zum typischen Verhalten der Metalle, etwa der guten elektrischen Leitfähigkeit. Diese Verteilung der Elektronen geschieht in alle Richtungen gleichermaßen. Die Struktur der durch metallische Bindungen aufgebauten Stoffe, der Metalle, kommt auf der Teilchenebene durch die Packung der Atome entsprechend ihrer Größe zustande.</p> <p>c) Die kovalente Bindung (Elektronenpaarbindung) tritt zwischen zwei Atomen auf, wenn diese sich zwei Elektronen in einer Bindung teilen, um die Edelgaskonfiguration zu erreichen. Die kovalente Bindung befindet sich zwischen den beiden miteinander gebundenen Atomen, man sagt, die kovalente Bindung ist gerichtet. Je nach Art der gebundenen Atome und ihrer Anziehungskraft auf die Elektronen in der Bindung (Elektronegativität) kann die Bindung zu einem der Atome hin verschoben sein (Polarisierung der Bindung). Die Struktur der kovalent aufgebauten Verbindungen auf Teilchenebene kommt durch weitere Regeln zustande, die im Konzept von der Struktur der kovalent aufgebauten Verbindungen zusammengefasst sind.</p>	<p>Struktur kovalent aufgebauter Verbindungen</p> <p>Kovalente chemische Bindungen bestehen immer aus zwei Elektronen, die sich als Elektronenpaar zwischen den beiden aneinander gebundenen Atomen befinden.</p> <p>Gehen von einem Atom mehrere Bindungen aus, so erstrecken sie sich so in den Raum, dass sie einen möglichst großen Abstand zueinander haben.</p> <p>Liegt zwischen zwei Atomen eine Mehrfachbindung vor, so ergibt sich die räumliche Struktur der Verbindung als läge nur eine einfache Bindung vor.</p> <p>Elektronen der äußeren Schale, die nicht an Bindungen beteiligt sind, befinden sich in freien Elektronenpaaren. Sind neben den kovalenten Bindungen auch noch freie Elektronenpaare in der äußeren Schale vorhanden, müssen diese in die Betrachtung einbezogen werden. Hinsichtlich der räumlichen Struktur zeigen dann die Bindungen und die freien Elektronenpaare so in den Raum, dass alle jeweils zueinander den größtmöglichen Abstand einnehmen.</p> <p>In den einfachsten Fällen ergibt sich für die Anordnung der Bindungen um ein Atom bei</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">2 Bindungen/freien Elektronenpaaren</td> <td>eine lineare Anordnung</td> </tr> <tr> <td>3 Bindungen/freien Elektronenpaaren</td> <td>eine ebene Anordnung im Dreieck</td> </tr> <tr> <td>4 Bindungen/freien Elektronenpaaren</td> <td>eine räumliche Anordnung im Tetraeder</td> </tr> </table> <p>Die abstoßende Wirkung der freien Elektronenpaare aufeinander und auf die kovalenten Bindungen ist etwas größer als die abstoßende Wirkung der kovalenten Bindungen zueinander. Dies kann zu einer Verzerrung der Anordnung führen. Eine solche Verzerrung ergibt sich auch, wenn die gebundenen Atome unterschiedlich groß oder die Bindungen sehr stark zu einem Atom hin verlagert sind.</p>	2 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine lineare Anordnung	3 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine ebene Anordnung im Dreieck	4 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine räumliche Anordnung im Tetraeder
2 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine lineare Anordnung						
3 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine ebene Anordnung im Dreieck						
4 Bindungen/freien Elektronenpaaren	eine räumliche Anordnung im Tetraeder						

Abb. 5: Explikation wesentlicher Grundlagen des Teilchenkonzepts für die SI über verschiedene Stufen [z. B. 18]

Aber auch bis hierher sind die Erfahrungen mit einem in sich konsistenten Zugang zum Teilchenkonzept äußerst positiv. Dieser veränderte Zugang zusammen mit einer Vielzahl methodischer Veränderungen in der Umsetzung scheint es, kann das Lernen der theoretischen Seite der Chemie einfacher und nachvollziehbarer gestalten. Die immer wieder beschriebene Demotivation bei der Entwicklung der Theorie des Teilchenkonzepts wurde auf diesem Weg deutlich weniger beschrieben. Schwierige Problemstellen, etwa der Zugang zum differenzierten Atombau [16] konnten schülerorientierter gestaltet werden und scheinen zu einer besseren Verzahnung zwischen stofflicher und submikroskopischer Ebene beitragen zu können.

Was kann man aus einem solchen Projekt sonst noch lernen?

Mit dem Projekt „Neue Wege zum Teilchenkonzept“ liegt ein umfassend dokumentierter Ansatz einer empirisch begründeten und durchgängigen Strukturierung für ein chemisches Basiskonzept vor. Dieser Ansatz ist aus der Praxis heraus erwachsen und eng mit grundlegender und begleitender empirischer Forschung verknüpft. Es liegen Erfahrungen im Einsatz aus bisher mehr als sieben Jahren vor, die auch zu einer nachhaltigen Veränderung der am Projekt beteiligten Personen in ihrer berufsbezogenen Professionalität geführt haben [23]. Solche Arbeiten sind für die chemischen Basiskonzepte über dieses Projekt hinaus leider nur sehr begrenzt verfügbar.

Aber man kann auch über das Ergebnis des Projekts hinaus aus einer solchen Kooperation lernen. Aus Platzgründen seien hier nur einige Gedanken kurz angerissen:

- Eine Strukturierung für die chemischen Basiskonzepte sollte unbedingt in engem Abgleich mit dem

mittlerweile sehr umfassenden empirischen Forschungsstand über Schülervorstellungen und Lernprozesse erfolgen. Dabei sollte man vor keiner „heiligen Kuh“ aus dem Kanon tradierter Unterrichtsvorschläge halt machen, sondern prinzipiell erst einmal alles auf den Prüfstand stellen.

- Die Entwicklung der Basiskonzepte sollte in enger Verbindung von fachlichen Überlegungen, empirischen Kenntnissen und der Erfahrungsbasis von aktiven Lehrerinnen und Lehrern geschehen. Jeder Wegfall einer der Perspektiven wird wichtige Aspekte der Richtigkeit, der Schülergemäßheit oder Umsetzbarkeit vernachlässigen.

- Basiskonzepte lassen sich nicht auf dem Reißbrett entwickeln. Die vielfachen Veränderungen, oft nur im Detail, die sich in diesem Projekt aus der zyklischen Entwicklung ergeben haben, sind nicht anders zu erreichen. Hierbei spielen Rückmeldungen von Lehrkräften eine genauso große Rolle, wie die von Schülerinnen und Schülern oder solche aus den begleitenden empirischen Erhebungen. Das heißt, auch die Vorschläge in den NBS, verschiedenen Kerncurricula oder Lehrplänen sollten einer Überprüfung unterzogen werden.

- Ein vertraut Werden mit veränderten Strukturen innerhalb der Basiskonzepte erfordert Implementation. Die Praktiker müssen entlang eigener Erfahrungen mit veränderten Wegen vertraut werden und an ihrer Umsetzung mitwirken können. Eine Verordnung veränderter Strukturen in den Basiskonzepten birgt die Gefahr, dass vorhandene Vorstellungen diesen Veränderungen übergestülpt werden und das Produkt in der Mischung verschiedener Konzepte u. U. noch weniger konsistent wird.

Literatur

[1] KMK (Hrsg.), Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss (Beschluss vom 16.12.2004). Luchterhand, 2005
[2] MNU (Hrsg.): Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. MNU 56 (2003), Beilage Heft 5.
[3] Spreckelsen, L.: Strukturorientierung in der Didaktik des physikalischen Lernbereichs. In H. F. Bauer, W. Höhnlein: Problemfeld Natur und Technik. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1984, S. 100-104
[4] Bündner, W., Demuth, R., Parchmann, I.: Basiskonzepte. PdN-ChiS 52 (2003), 3-8
[5] Bruner, J. S.: Über kognitive Entwicklung. In: Bruner, J. S. et al.: Studien zur kognitiven Entwicklung. Stuttgart 1971
[6] Eilks, I., Möllering, J.: Neue Wege zu einem fächerübergreifenden Verständnis des Teilchenkonzepts. MNU 5/54 (2001), 240-247.
[7] Eilks, I., Ralle, B.: Partizipative fachdidaktische Aktionsforschung - ein

Modell für eine praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemie-didaktik. Chemkon 9 (2002), 13-18
[8] Eilks, I., Leerhoff, G., Möllering, J.: Was ist eigentlich eine chemische Reaktion?. MNU 55 (2002), 84-91.
[9] Leerhoff, G., Kienast, S., Möllering, J., Eilks, I.: Der Stoffbegriff und die Stoffeigenschaften - Zentrale Problemfelder bei der Vermittlung der chemischen Reaktion im frühen Chemieunterricht. MNU 56 (2003), 301-304 und 364-368
[10] Stavridou, H., Solomonidou, C.: Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction?. Int. J. Sci. Educ. 11 (1989), 83-92.
[11] de Vos, W., Verdonk, A. H.: The particulate nature of matter in science education and in science.- J. Res. Sci. Teach. 33 (1996), 657-664
[12] Taber, K. S.: Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. Chem. Educ. Res. Pract. Eur. 2 (2001), 123-158.

[13] Johnson, P.: Children's understanding of substances, Part 1: recognizing chemical change und Part 2: explaining chemical change, Int. J. Sci. Educ. 22(2000), 719-737 und 24 (2002), 1037-1054
[14] Maskill, R., Cachapuz, A. F. C., Koulaidis, V.: Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. Int. J. Sci. Educ. 19 (1997), 631
[15] Eilks, I., Möllering, J., Leerhoff, G., Ralle, B.: Teilchenmodell oder Teilchenkonzept ? - Oder: Rastertunnelmikroskopie im Anfangsunterricht. ChemKon 8(2001), 81-85
[16] Leerhoff, G., Eilks, I.: Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich den Atombau - Erfahrungen mit einem Gruppenpuzzle. Praxis Schule 5-10 5/13(2002), 48-54
[17] Markic, S., Kienast, S., Eilks, I.: Von der kovalenten Bindung zur Struktur des Wassermoleküls - Ein Beispiel für kooperatives Lernen in der Sekundarstufe I. ChemKon 11(2004), 7-13

- [18] Eilks, I.: Von der Rastertunnelmikroskopie zur Struktur des Wassermoleküls - Ein anderer Weg durch das Teilchenkonzept in der Sekundarstufe I. Chem Sch. (Salzbg.) 3/17(2002), 7-12 und 4/17(2002), 2-6
- [19] Sumfleth, E., Todenhaupt, S.: Zum Redox-Verständnis der Schüler beim Übergang von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II. Chim. did. 14 (1988), 43-68
- [20] Hesse III, J. J., Anderson, C. W.: Students' conceptions of chemical change. J. Res. Sci. Teach. 29 (1992), 277-299.
- [21] Eilks, I. (Hrsg.): Chemie interaktiv 7/8 (Ausgabe N), Cornelsen 2007.
- [22] Eilks, I., u. a.: Chemie interaktiv. Lehrwerksreihe für mittlere Schulformen. Berlin: Cornelsen ab 2005.
- [23] Eilks, I., Markic, S.: Die Veränderung von Lehrerinnen und Lehrern in langzeitlichen Modellen partizipativer Unterrichtsentwicklung und -forschung in der Chemiedidaktik. Chim. Did. im Druck.
- [24] Eisner, W., u. a.: Elemente Chemie I.- Stuttgart: Klett 1995

Autor

Prof. Dr. Ingo Eilks, Professor für Chemiedidaktik an der Universität Bremen.

Korrespondenzanschrift

Prof. Dr. Ingo Eilks, Universität Bremen, FB 2 - IDN, Abt. Chemiedidaktik, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, ingo.eilks@uni-bremen.de