

## Naturwissenschaftliches Arbeiten

Man könnte meinen, es seien merkwürdige Zeiten, in denen so etwas Grundsätzliches wie das naturwissenschaftliche Arbeiten thematisiert werden muss - steht es denn nicht ohnehin im Zentrum des Unterrichts, sozusagen als systematisch-methodisches Pendant zum inhaltsbezogenen Experiment? Was auf den ersten Blick fast selbstverständlich erscheint, offenbart beim zweiten Hinsehen nahezu einen strukturellen Mangel.

Wie Baumert und andere in ihrer denkwürdigen Expertise [1] unmittelbar nach der Veröffentlichung der Ergebnisse von TIMSS, der dritten internationalen Studie zu den Leistungen 15-jähriger Schülerinnen und Schüler in Mathematik und den Naturwissenschaften, feststellten (s. **Kasten**), bildet das naturwissenschaftliche Arbeiten die Brücke zwischen dem Experimentieren und dem, was man inzwischen unter dem Begriff scientific literacy (vgl. S. 15 ff) zusammenfasst. "Beobachten und Experimentieren werden aber erst dann zum naturwissenschaftlichen Arbeiten, wenn sie Teil des spezifisch naturwissenschaftlichen Argumentierens sind." Solange Schülerinnen und Schüler nur nach Vorgabe Reagenzien mischen und Farbumschläge notieren, werden sie kaum zum Kern des naturwissenschaftlichen Umgangs mit der Welt vordringen. Experimente können zwar Antworten liefern, aber deren Bedeutung erfasst nur derjenige, der die Frage selbst - wenigstens teilweise formuliert hat.

### *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen*

*Die große Chance der naturwissenschaftlichen Fächer in der Schule besteht darin, dass naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in Ansätzen und in einfacher Form in den Unterricht integriert werden können. Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und Argumentationsformen ist deshalb nicht nur ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts, sondern das naturwissenschaftliche Arbeiten kann phasenweise geradezu zum Organisationsprinzip der Unterrichtsführung werden. Dies leuchtet sofort ein, wenn man an naturwissenschaftliches Experimentieren als einen wichtigen Bereich naturwissenschaftlichen Arbeitens denkt. Beobachten und Experimentieren werden aber erst dann zum naturwissenschaftlichen Arbeiten, wenn sie Teil des spezifisch naturwissenschaftlichen Argumentierens sind. In dieser Funktion ist das empirische Arbeiten allerdings weniger beliebt als der bloß handelnde Umgang mit Gegenständen des Fachs. Ohne diese Einbindung schult das Experimentieren jedoch höchstens manuelle Geschicklichkeit im Umgang mit diversen, sehr speziellen Apparaten und die Fähigkeit, Arbeitsanweisungen sequentiell abzuarbeiten. Die inhaltliche Einbettung des empirischen, insbesondere experimentellen Arbeitens in seiner ganzen Abfolge gelingt wahrscheinlich nur durch bewusst gestaltete Unterrichtsphasen, deren Organisationsprinzip das naturwissenschaftliche Arbeiten, freilich in elementarer Form, dann selbst ist. Am Beispiel des Experiments lässt sich dies am einfachsten zeigen:*

- *Planungs- und Gestaltungsphase: (Forschungs-) Fragestellungen werden erarbeitet, Ergebnisse vorhergesagt, zu testende Hypothesen formuliert und experimentelle (oder andere empirische) Verfahren entworfen.*

- *Durchführungsphase: Das Experiment wird durchgeführt, es wird mit Material umgegangen, Techniken werden erprobt, es wird beobachtet und Daten werden erhoben.*
- *Analyse- und Interpretationsphase: Die Daten werden aufbereitet und weiterverarbeitet, Beziehungen werden erklärt, Verallgemeinerungen werden entwickelt, eine Fehlerabschätzung wird durchgeführt und die Vertrauenswürdigkeit der Daten eingeschätzt, die Ergebnisse werden mit Bezug auf die Eingangshypothesen interpretiert, die Randbedingungen des Experiments und neue Fragestellungen werden formuliert.*
- *Anwendungsphase: Auf der Basis der Untersuchung werden neue Hypothesen formuliert, es werden Vermutungen über die Anwendbarkeit auf neue Situationen erarbeitet und die erarbeiteten Resultate und Techniken werden auf eine neue Situation angewandt, gegebenenfalls wird über die gesellschaftliche Relevanz des behandelten Ausschnitts naturwissenschaftlicher Forschung diskutiert.*

*Neue Medien bieten eine besondere Chance, experimentelle Arbeitsweisen für den Unterricht fruchtbar zu machen und das Ausprobieren eigener Ideen und Modelle zu fördern.*

- *Die einfache Digitalisierung von Abläufen und ihre dadurch mögliche raumzeitliche Darstellung und Analyse ermöglicht einen neuen Zugang zu einer großen Gruppe naturwissenschaftlicher Probleme.*
- *Computergestützte Messwerterfassung ermöglicht die on-line-Datenerfassung und Datenauswertung. Damit können Experimente in einer Sitzung durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt und eventuell interpretiert werden.*
- *Computersimulationen ermöglichen eine leichte Variation von Parametern und eine Anwendung unterschiedlicher Modelle mit gleichzeitiger Überprüfung der Adäquanz der eigenen Annahmen.*
- *Modellbildungssysteme lassen Modellbildung zu, ohne auf mathematische Verfahren angewiesen zu sein, und ermöglichen einen direkten Vergleich des eigenen Modells mit dem Experiment, bei dem die Daten computergestützt erhoben wurden.*

*Ein besonderer Aspekt experimentellen Arbeitens im Unterricht ist die Notwendigkeit der Zusammenarbeit in kleinen Arbeitsgruppen. Gruppenarbeit in den naturwissenschaftlichen Fächern wird von Schülerinnen und Schülern im Allgemeinen als Teil des naturwissenschaftlichen Unterrichts akzeptiert und kann auch relativ leicht um einen Gegenstand herum organisiert werden.*

*Die Integrierbarkeit naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen als Organisationsprinzip herausgehobener Unterrichtsphasen ist eine einzigartige Chance der naturwissenschaftlichen Fächer. Zugleich ist damit aber auch eine Problemzone des naturwissenschaftlichen Unterrichts bezeichnet. Es gelingt seltener als erwartet, die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen als Instrumente der Klärung des Denkens wirksam werden zu lassen. Die empirischen Befunde sprechen dafür, dass der Prozess des naturwissenschaftlichen Arbeitens gerade in den Phasen der eigentlichen kognitiven Herausforderung allzu oft abgekürzt wird.*

aus [1]; Abschnitt 7.6 der Baumert-Expertise, S. 76-78

### **Fragen generieren statt schneller Antworten**

Ein Beispiel aus der science fiction Literatur illustriert diesen Zusammenhang aufs Trefflichste: In Douglas Adams Trilogie „Per Anhalter durch die Galaxis“ [2] sucht eine alte intergalaktische Rasse die Antwort auf die finale Frage des Seins; man beauftragt einen riesigen Computer, die Antwort auf diese Frage zu finden. Nach unendlich langer Zeit meldet er sich, die versammelten Wissenschaftler befragen ihn, wie die Antwort auf die letzte Frage denn nun laute, und der Computer sagt lakonisch „Die Antwort ist ‚42‘“. Man ist irritiert, wundert sich und fragt nach, wie denn die Frage laute, auf die ‚42‘ die Antwort sei, worauf der Computer feststellt, dass er zwar mit ausreichender Kapazität ausgestattet worden sei, um die Antwort zu finden, dass es aber einer viel umfassenderen Kompetenz bedürfe, um die Frage zu finden und angemessen zu formulieren.

Überspitzt betrachtet kann man diese kleine Geschichte als Allegorie auf den häufig praktizierten naturwissenschaftlichen Unterricht betrachten: Im fragend-entwickelnden Unterricht werden den Schülerinnen und Schülern Naturgesetze nahe gebracht, in Schülerversuchen finden sie Werte wie 1,2 Volt, pH 4,8 oder 3 g/L, - aber allzu oft vergisst man vor lauter Bemühen um eine umfassende Konfrontation mit den Elementen des systematischen Wissenschaftsgebäudes, den Lernenden Gelegenheit zu geben, die Fragen im Ansatz selbst zu formulieren, damit die Antwort schließlich sinnvoll eingeordnet werden kann. Dies kommt nicht von ungefähr, denn wie im Beispiel der „42“ ist es ungemein schwieriger und meist auch zeitraubend, die mit einem Phänomen oder Problem zusammenhängenden Fragen überhaupt erst auszumachen, sich darauf einzulassen und sie dann so zu skizzieren, dass sie bearbeitbar werden.

Natürlich soll dieses "Fragen-Finden" nicht als durchgängiges Prinzip des Chemieunterrichts eingefordert werden - jeder fruchtbare Ansatz kann auf diese Weise totgeritten werden. Die in diesem Heft versammelten Beiträge zeigen aber vielfältige Möglichkeiten auf, den Schülerinnen und Schülern Hilfen anzubieten, wie sie Fragen stellen und schließlich auch zielführend bearbeiten können. Dies sind jedoch erst - wenn auch wichtige – Grundvoraussetzungen für erfolgreiches naturwissenschaftliches Arbeiten. Betrachtet man die weiter notwendigen Kompetenzen, die zur Bearbeitung naturwissenschaftlicher Fragestellungen erforderlich sind, dann sind dies einerseits laborpraktische Fertigkeiten, andererseits aber wiederum kognitive Fähigkeiten wie das Strukturieren eines Problems, das Definieren und Erfassen von Parametern, das Modellieren von Abläufen, das Aufstellen von Hypothesen, die Wahl eines geeigneten Experiments zur Verifizierung u. v. a.

Schließlich, und dies ist uns mit der Debatte um die konstruktivistische Sicht auf das Lernen ganz deutlich geworden, spielt die Lehrkraft nicht nur eine wichtige Rolle bei der Gestaltung von vielfältigen Lern- und Arbeitsumgebungen, sondern auch als Experte für das Lehren und Lernen, die Tätigkeiten der Schüler kommentiert (und auch ihre eigenen Entscheidungen begründet). Durch diese Kommentierung auf der Metaebene kann bei den Lernenden das Bewusstsein um den eigenen Lernfortschritt gefördert werden, sie sehen ihre Qualifikationen wachsen, können sie einordnen und verstehen zumindest partiell, welche Werkzeuge ihnen die Naturwissenschaften und speziell die Chemie zur Verfügung stellen.

„Kommunizieren über“ hilft den Lernenden, ihre unterrichtlichen Erfahrungen einzuordnen, spezifische Vorgehensweisen und ihre Bedeutung zu verstehen und so zunehmend Kompetenzen im Sinne von scientific literacy [3] zu entwickeln, mit denen sie schließlich in die Lage versetzt werden, diejenigen Probleme zu identifizieren, die einer naturwissenschaftlichen Bearbeitung zugänglich sind, ihre Fragen dazu zu formulieren, sie mit angemessenen Methoden zu bearbeiten und schließlich Antworten zu finden, die objektiv wie subjektiv bedeutsam sind.

### **Die Beiträge**

Gleich drei Annäherungen an das, was naturwissenschaftliches Arbeiten ausmacht, leiten dieses Heft ein; im Beitrag von Peter Pfeifer geht es darum, wie die naturwissenschaftliche Zugriffsweise auf die Welt sich im Unterricht wieder finden sollte, Thomas Freiman stellt die grundsätzliche Frage nach der Bedeutung naturwissenschaftlicher (Grund-)Bildung in Zeiten von PISA, und Manfred Prenzel und Ilka Parchmann beleuchten unter anderem die möglichen Funktionen des Experimentierens im Kontext von naturwissenschaftlichem Denken.

Die drei sich anschließenden Artikel zeigen praxisnahe Wege zur Förderung von „literacy“ im Chemieunterricht auf: Elfriede Nahrgang stellt den Einsatz geeigneter Methodenwerkzeuge an einer Haupt- und Realschule vor, Elke Peter beschreibt mit dem „Starterexperiment“ eine Moderationstechnik zur Unterstützung von Beobachtung und Verbalisierung, und Peter Slaby eröffnet seinen Schülern mit dem Projekt „100 alltägliche Stoffe“ eine Möglichkeit zur Anwendung vielfältiger Computer-gestützter Recherche- und Präsentationstechniken.

Im Zentrum dieses Themenheftes finden sich eine Reihe von Beiträgen, die das Verhältnis von Experiment und naturwissenschaftlichem Arbeiten ganz allgemein in der Unterrichtspraxis zum Gegenstand haben: Schüler arbeiten Schulbuchbeschreibungen durch und entwickeln eigene Modell-Experimente (K. Bögler), sie machen Vorschläge für ein Entscheidungsexperiment (A. Gerdes), vergewissern sich einfacher Untersuchungsverfahren in der Auseinandersetzung mit unbekanntem Stoffen (L. Neider) oder arbeiten in einem projektorientierten Praktikum (H. Rösch). Dass man naturwissenschaftliches Arbeiten als Konzept sowohl im Eingangunterricht wie mit Oberstufenklassen ernst nehmen kann, zeigen Katrin Sommer bzw. Michael Schminke und Peter Pfeifer, und schließlich wird an mehreren experimentellen Beispielen die Bedeutung von Blindproben herausgestellt (K. Sommer). Thomas Freiman zeigt am Beispiel des Wertigkeitkonzeptes wie Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, selbstständig ein Verfahren zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen Atomart, Zusammensetzung einer möglichen Verbindung und Formel der Verbindung zu entwickeln.

Auswerten hat nicht nur mit Zahlen zu tun, sondern kann auch Strukturen generieren, wenn es durch eine geeignete Methode unterstützt wird - das macht das Beispiel der Spannungsreihe deutlich (L. Stäudel). Und auch so komplexe Gegenstände wie Lithium-Ionen-Akkus werden der Bearbeitung durch Schüler zugänglich, wenn an den richtigen Stellen die richtigen Fragen entwickelt werden (W. Rink).

Ein Block von vier Artikeln setzt sich mit dem Modellieren und der Bedeutung von Modellen auseinander. „Warum spritzt es aus der Sodaflasche?“ (L. Stäudel) kann sich dabei ebenso als interessante Frage herausstellen wie die Aufklärung einer aus dem Gewehrlauf fliegenden Kugel (T. Freiman). Mit Legosteinen stellt Andrea Gerdes ein ganz elementares und dennoch erklärungs mächtiges Modell für die Teilchenstruktur der Stoffe vor, während Dagmar Steiner den Computer als Untersuchungsinstrument und Medium der Modellbildung thematisiert.

Zum Abschluss werden noch vier besondere Akzente gesetzt: Mit seinem Ansatz des „Arbeitens im Team“ thematisiert Volker Schlieker einen spezifischen Aspekt naturwissenschaftlichen Arbeitens, der „draußen“ zu den Selbstverständlichkeiten zählt, „drinnen“ in der Schule aber eher ein Schattendasein führt. Waltraut Habelitz-Tkotz zeigt einen systematischen Weg auf, wie Schülern fachlicher Kompetenzzuwachs und wachsende Wissensstrukturen über die Schuljahre hinweg deutlich gemacht werden, und Volker Woest stellt noch einmal die bedeutende Rolle der Lehrkraft heraus, die den Schülerinnen und Schülern in mehrfacher Weise beim (Chemie-)Lernen zur Seite stehen muss.

Mit einem Beitrag aus der didaktischen Forschung (R. Heimann) kommt das Thema zu seinem Ausgangspunkt zurück. Die Frage welche Tests sinnvollerweise zur Unterscheidung verschiedener Zucker einzusetzen sind, erweist sich als deutlich schwieriger als ihre bloße praktische Anwendung; aber hier wie in der Welt des Douglas Adams ist eine Antwort nur dann etwas wert, wenn man zuvor geklärt hat, was man eigentlich wissen möchte.

Dass die Beiträge dieses Heftes in der Mehrzahl unmittelbar oder mittelbar im Kontext der SINUS-Projekte im BLK- Modellversuch zur „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ entstanden sind, ist kein Zufall; so wie die Baumert-Expertise für viele Anlass war zum Überdenken ihrer Unterrichtsansätze, so stellte das SINUS- Programm einen produktiven Rahmen dar für Innovation in kollegialer Kooperation.

#### **Literatur**

- [1] Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (Hrsg.): Gutachten zur Vorbereitung des Programms Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Materialien Heft 60. Bonn 1997 (sog. "Baumert-Expertise" )
- [2] Douglas, A.: Per Anhalter durch die Galaxis. Band I, München (Heyne) 1981
- [3] Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T., Evans, R. (Hrsg): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Leverkusen 2002

#### **Anmerkung:**

Dieser Beitrag erschien als Basisartikel im Themenheft „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ der Zeitschrift Unterricht Chemie.