

# Gestaltung von Aufgaben – eine wachsende Herausforderung



MNU widmete sich der Aufgabenkultur im Rahmen eines Schwerpunktthemas zuletzt im Heft 7/2001. Vor fünf Jahren waren die Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss noch nicht fertig gestellt, und auch die Entwicklung der neuen Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) war erst in der Planung. Kern-

curricula, Bildungsstandards und EPA waren dann Gegenstand des Schwerpunktheftes 3/2004. Nun erscheint es der Schriftleitung konsequent sich damit zu beschäftigen, wie sich die Fachdidaktik – schulisch und universitär – mit den damals bereits formulierten Herausforderungen beschäftigt hat. Und es ist sehr viel auf dem Gebiet der Entwicklung und Beurteilung von Lern- und Testaufgaben geschehen. Dabei treten erwartungsgemäß Probleme auf und vor Überraschungen ist man nicht gefeit. Diese mussten notwendigerweise allein schon dadurch aufkommen, dass Standards und Kompetenzen – in diskursiver Auseinandersetzung zwar, aber letztlich doch in normativer Manier – erst einmal gesetzt wurden, um sie nun im Nachhinein auf Messbarkeit zu prüfen. Jetzt muss die Community schnell umlernen, denn die erste Phase der Pilotierung und Prüfung von Mathematikaufgaben für Vergleichsarbeiten zeigt: Ein großer Teil der durch die Hände vieler Fachleute gegangenen und für gut befundenen Aufgaben waren schlicht für die Schüler zu schwer, sie konnten nicht gelöst werden. Und dies, obwohl erfahrene Mathematiklehrkräfte zuvor die Aufgaben zusammen mit Fachdidaktikern entwickelt hatten und Empiriker und Psychometriker vom Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) in Berlin die Belastbarkeit der Antwortmuster prüften und freigaben. Ich denke, wir sollten daraus lernen und alle Beteiligten täten gut daran, die Messlatte für die anstehenden vergleichenden Leistungsmessungen neu zu justieren. Es ist nun einmal etwas anderes, Aufgaben für eine Klassenarbeit zu formulieren, deren inhaltlichen Bezüge aus einer vorherigen vier- oder sechswöchigen klassenindividuellen »Trainingsphase« stammen, als solche für Vergleichsarbeiten. Hier spiegelt sich der wirkliche »outcome« wider.

Aufgaben für Vergleichsstudien werden sich in ihrem Anforderungsgehalt und in ihrer Ausrichtung irgendwo zwischen den PISA-Aufgabenformaten und den herkömmlichen Klassenarbeitsaufgaben bewegen müssen, will man die Bildungsstandards nicht völlig neu schreiben. Das angemessene Niveau zu finden wird ein wichtiges Ziel der nächsten Jahre sein.

In diesem Heft sind Beiträge zusammen gestellt, die neben der Leistungsmessung auch das Lernen, Üben und Fördern mit Aufgaben im Blick haben. JOSEF LEISEN differenziert diese Zielrichtungen in seinem Beitrag und zeigt

auf, wie ein Aufgabencurriculum gestaltet sein könnte, das gleichermaßen Kompetenzen und Binnendifferenzierung als auch Sinnstiftung und Motivation berücksichtigt.

TIMO LEUDERS regt mit vielen Beispielen an, Plantagenaufgaben phantasievoller als bisher einzusetzen. Auf diese Weise lassen sich in Übungsphasen kooperatives Arbeiten und Selbsteinschätzung von Schülern gut ansteuern.

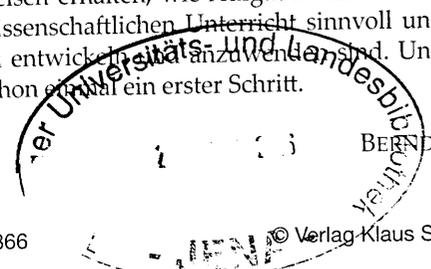
ILKA PARCHMANN, MARTIN FACH und WILHELM KANDT berichten über ihre Forschungen zu offenen Lernaufgaben, die im Rahmen des Projektes *Chemie im Kontext* stattfinden. Dabei zeigt sich unter anderem, dass Lehrer und Schüler durchaus unterschiedliche Vorstellung und Erwartungen von einer »guten« Aufgabe haben: Die Lösung einer guten und differenzierenden Aufgabe ist nun einmal anstrengend!

Den Umgang von Lehrkräften und ihre Sicht auf Sinn und Zweck von Aufgaben beleuchtet ein Beitrag von Mitgliedern der DFG-Forschergruppe *Naturwissenschaftlicher Unterricht*. Die umfangreiche empirische Untersuchung ist sicher eine gute Basis für weitergehende und differenzierende Arbeiten an Kompetenzentwicklungsmodellen. Eine schöne Modellierung der bekannten Aufgabenstellung zum Abkühlverhalten von Flüssigkeiten beschreiben HORST SCHECKER und ERIK EINHAUS. Hier wird exemplarisch aufgezeigt, welche reichhaltigen Chancen und Anforderungsebenen sich in einer vermeintlich einfachen Fragestellung für den Unterricht verbergen können. In diesem Heft wird zudem die Veröffentlichung einer Reihe von PISA-analogen Aufgaben begründet. Sie wurden ebenfalls im Institut für Didaktik der Naturwissenschaften an der Universität Bremen entwickelt. J. PETRI und E. EINHAUS starten mit zwei ersten Beispielen.

Naturwissenschaftlicher Unterricht ist ohne experimentelle Aufgabenstellungen nicht denkbar. MARCUS HAMMANN zeigt mit seinen Co-Autoren eine Reihe von Fehlerquellen und leicht abzustellenden Unzulänglichkeiten bei der Vorbereitung, Durchführung und Datenanalyse von Experimenten auf. Für anstehende Beurteilungen des Kompetenzbereiches »Erkenntnisgewinnung« sind dies wichtige Aspekte.

RÜDIGER FLADT thematisiert am Beispiel von Chemieaufgaben schließlich eine immer wieder auftauchende Frage: Wie offen dürfen Aufgaben sein, damit sie noch sicher bewertbar sind?

Zwar sind die konkreten Erfolge der neuen »Aufgabenoffensive« noch nicht messbar, eines scheint sich jedoch abzuzeichnen: Lehrkräfte werden in absehbarer Zeit ein hinreichendes Spektrum an Vorschlägen und Verfahrenweisen erhalten, wie Aufgaben im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht sinnvoll und zielgerichtet zu entwickeln und anzuwenden sind. Und das ist doch schon einmal ein erster Schritt.



BERND RALLE

- [9] Mathematik 10. Schuljahr. – Berlin: Cornelsen 1995.
- [10] G. BECKER, GEROLD – C. VON ILSEMANN – M. SCHRATZ: Qualität entwickeln: evaluieren. Friedrich Jahresheft, Seelze: Friedrich Verlag 2001.
- [11] H. ALTRICHTER – C. G. BUHREN – C. BURKHARD – G. EIKENBUSCH: Praxishilfen Evaluation. Zeitschrift Pädagogik 11/2001. Darin: T. LEUDERS: Evaluation im Alltag des Mathematikunterrichts 2001.
- [12] H. WINTER: Begriff und Bedeutung des Übens. In: mathematik lehren Heft 2 – Seelze Friedrich Verlag 1984.
- [13] J. GRELL – M. GRELL: Unterrichtsrezepte. Weinheim/Basel: Beltz 1993.
- [14] J.-H. LORENTZ – H. RADATZ: Handbuch des Förderns im Mathematikunterricht. Hannover: Schroedel 1993.

*Prof. Dr. TIMO LEUDERS, Institut für Mathematik und Informatik und ihre Didaktiken, Pädagogische Hochschule Freiburg, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg. leuders@ph-freiburg.de hat als Gymnasiallehrer Mathematik und Physik unterrichtet und in Nordrhein-Westfalen in der Lehrplanelentwicklung und Lehrerfortbildungen gearbeitet. An der Pädagogischen Hochschule ist er in der Lehrerbildung tätig und forscht zurzeit vor allem in den Bereichen Offene Lernumgebungen und Unterrichtsentwicklung mit Bildungsstandards.*

MARTIN FACH – WILHELM KANDT – ILKA PARCHMANN

# Offene Lernaufgaben im Chemieunterricht

## Kriterien für die Gestaltung und Einbettung

**»Neue Aufgabenkultur«** – diese Forderung ist durch das SINUS-Projekt, die PISA-Untersuchungen und neuerdings die Einführung von nationalen Bildungsstandards und zentralen Überprüfungen in fast aller Munde. Die Forderung bezieht sich dabei sowohl auf die Gestaltung von Aufgaben, deren Einsatz im Unterricht wie auch die Möglichkeit, ein kontinuierliches Bildungsmonitoring auf der Basis verlässlicher Testaufgaben zu initiieren. In diesem Beitrag werden anknüpfend an den aktuellen Stand der Diskussionen und der Forschung zwei Projekte vorgestellt, die das Ziel verfolgen offene und kontextbezogene Lernaufgaben so in den Unterricht zu integrieren, dass die Entwicklung individueller Lösungswege mit einem systematischen Verständnis für naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen verknüpft wird.

### 1 Auf dem Weg zu »neuen Aufgaben«?

Eine Aussage der TIMS- und PISA-Studien war, dass deutsche Schülerinnen und Schüler zwar in der Lage sind, Lösungsroutinen auszuführen, sie aber hinsichtlich eines übergeordneten Konzeptverständnisses und in der Anwendung ihrer Kenntnisse auf offenere Problemsituationen schlechter abschneiden als Schüler anderer Länder. Als Konsequenz ergeben sich Forderungen aber auch Fragen und Probleme für die Unterrichtspraxis (vgl. Beitrag LEISEN in diesem Heft), die Gegenstand zahlreicher fachdidaktischer Forschungsarbeiten sind. Dabei reicht das Spektrum von des-

kriptiv angelegten empirischen Untersuchungen von Aufgaben im Chemieunterricht über die Evaluationen von bestehenden Materialien bis hin zur Entwicklung praktischer Vorschläge und Beispiele dafür, wie Aufgaben in konkreten Unterrichtssituationen gestaltet und eingesetzt werden können.

Ein Fokus, den man derzeit in allen naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken findet, ist die Analyse von Gestaltungsmerkmalen und des Einsatzes von Aufgaben im Unterricht [1–8]. Weitere Arbeiten bieten Hinweise und Werkzeuge dafür, wie das eigene Aufgabenspektrum inhaltlich und methodisch gezielt bewertet, eingeordnet und erweitert werden kann [1, 7, 9–14].

Auch im Projekt Chemie im Kontext wird das Thema Aufgaben derzeit von verschiedenen Gruppen bearbeitet. Das übergeordnete Ziel ist die Einordnung und Erstellung von Aufgaben für das gesamte Kompetenzspektrum des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens [13], wie es etwa durch die Bildungsstandards und EPA beschrieben wird und in Abbildung 1 als Prozess der analytisch-naturwissenschaftlichen Bearbeitung eines Kontextes dargestellt wird.

Zur Umsetzung dieser Zielstellung werden verschiedene Forschungs- und Entwicklungsaufgaben miteinander verbunden: Auf der Basis vorhandener Theorien und Studien sowie eigener Untersuchungen (siehe Abschnitte 2 und 3) werden Kriterien für die Erstellung von Aufgaben abgeleitet, die sowohl aus Sicht von Experten (z. B. Lehrkräfte, Fachdidaktiker) als auch aus der Sicht der Lernenden als motivierend und lernwirksam erachtet werden. Ausgewählte oder neu entwickelte Aufgaben werden in Unterrichts- und

Testsituationen erprobt und gemeinsam in Arbeitsgruppen [vgl. 15] als Reflexionsinstrument für die Verbesserung des Unterrichts genutzt. Zur Unterstützung dieses Prozesses werden die Lösungsvorschläge der Lernenden systematisch ausgewertet und dargestellt (siehe Abschnitt 4), so dass eine Einschätzung und eine Systematisierung von Lösungswegen als Grundlage einer Kompetenzentwicklung im Unterricht möglich werden.

## 2 Kriterien »guter Aufgaben« aus Sicht von Lehrenden und Lernenden

Kriterien »guter Aufgaben« lassen sich durch die zahlreichen empirischen Untersuchungen ableiten. Diese wurden in der Regel ermittelt, indem Aufgaben von Experten eingeschätzt wurden oder hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in verschiedenen Unterrichtssituationen getestet wurden [z. B. 6, 14]. Ziel unserer Studie war es, eine qualitativ umfassende Einschätzung von Lehrenden und Lernenden bezüglich der (wahrgenommenen) Qualität von Aufgaben vergleichend zu erfassen und diese insbesondere unter motivationalen Aspekten zu analysieren. Dazu wurde eine Interviewstudie mit 15 Lehrerinnen und Lehrern (14 Gymnasial- und 1 Realschullehrer) sowie sieben Schülerinnen und Schülern (11. Klasse, Gymnasium) durchgeführt, in denen die Beteiligten allgemein sowie anhand von konkreten Aufgaben zu »erwünschten und unerwünschten Aufgabenmerkmalen« befragt wurden. Als Diskussionsgrundlage dienten Aufgaben zu quantitativ-chemischen Fragestellungen da diese Themen zum einen vergleichsweise häufig durch den Einsatz schriftlicher Aufgaben gekennzeichnet sind und zum anderen zu den am wenigsten motivierenden Themen gezählt werden [17, 18]. Die aus den erhaltenen Daten abgeleiteten Kriterien werden derzeit zur Erstellung eines Aufgabenpools zur Stöchiometrie genutzt [vgl. 16].

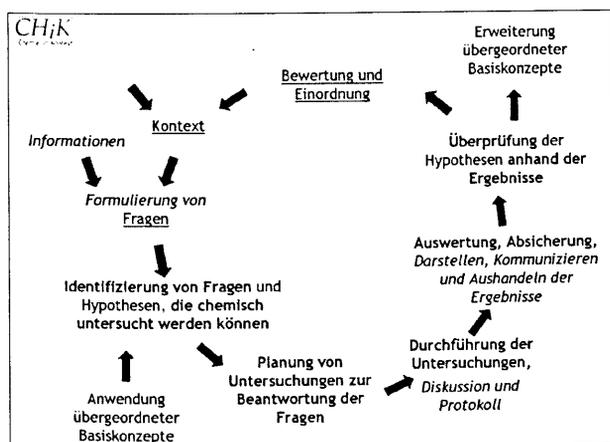


Abb. 1. Verknüpfung der vier Kompetenzbereiche der Bildungsstandards zu einem Prozess der analytisch-naturwissenschaftlichen Bearbeitung eines Kontextthemas (verändert nach [13]). Die verschiedenen Schriftarten bedeuten: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung

Die Lehrer- und Schülerinterviews wurden transkribiert und zunächst paraphrasierend codiert, diese Codes wurden dann Kategorien zugeordnet. Die Analyse der Aussagen wurde primär aus Sicht der Lernmotivation durchgeführt. In schulischen Lernsituationen steht bei vielen Schülern sicherlich oftmals eine Motivation durch die Notengebung an oberster Stelle. Aus der Forschung weitere Kriterien für die Förderung von Lernmotivation bekannt, die in der Auswertung zur Erstellung des Kategoriensystems für die Einschätzung von Aufgaben im Chemieunterricht herangezogen wurden [Kriterien 1–6 vgl. 19]:

1. **Instruktionsqualität:** Eine Aufgabe muss in ansprechender und verständlicher Form formuliert sein und das zu lösende Problem klar erkennbar werden lassen.
2. **Autonomieunterstützung:** Eine Aufgabe muss die Möglichkeit geben, eigene Ideen und Vorstellungen bei der Lösung umsetzen zu können.
3. **Kompetenzunterstützung:** Eine Aufgabe muss dem Lernenden einen Lösungszugang ermöglichen, dazu darf sie weder zu leicht noch zu schwer sein.
4. **Relevanz** als nachvollziehbare Bedeutung des Inhalts: Der Aufgabeninhalt und die Fragestellung müssen aus einem vorstellbaren und möglichst lebensweltnahen Bereich kommen. Das Ergebnis darf nicht trivial erscheinen und muss einen Wert für den Lernenden haben.
5. **Interesse der Lehrperson:** Die Lehrperson muss Interesse an der Aufgabenlösung zeigen.
6. **Soziale Eingebundenheit:** Eine Aufgabe kann gemeinsam mit anderen in einer Gruppe gelöst werden. Außerdem kann die Lösung der Aufgabe die Chance bieten, dass der Lernende durch sie seinen Platz in der Gruppe festigen oder sogar verbessern kann, zum Beispiel indem Expertise in einem bestimmten Bereich gewonnen wird.
7. **Variante reiche Aufgabenformate:** Aufgaben in unterschiedlichen Unterrichtssituationen erfordern verschiedene Aufgabenformate, diese wiederum ermöglichen das Anknüpfen an unterschiedliche Interessen hinsichtlich Kontext, Inhalt und Tätigkeit der Lernenden [vgl. 18].
8. **Einsatz von Experimenten und Anschauungsmaterialien** (z. B. Modelle): Werden zur Aufgabenlösung Experimente oder Modelle benötigt, so stellt dies ebenfalls besondere Bedingungen an eine Aufgabe, knüpft aber gleichzeitig an nachweisbare Interessen von Schülern an der Durchführung von Experimenten oder der eigenen Arbeit mit Modellen an [18].

Die Interviews haben insbesondere bei den Lehrkräften zum Teil sehr differenzierte Einschätzungen geliefert, wie das folgende Zitat andeutet:

»Es gibt Aufgaben, die in einem Kontext stehen, die von dem Schüler verlangen, dass er Wissen anwenden muss, dass er verschiedene Möglichkeiten hat, zur Lösung zu kommen, [...] dass die Lösung, zu der er dann kommt, eindeutig ist und dass die Aufgabe so formuliert sein muss, dass sie

motiviert, gelöst zu werden, dass eine Aufgabe eventuell mit einem Experiment verbunden ist, [...] also ein sehr hoher Anspruch an eine Aufgabe, die doch durchaus sehr kompakt sein kann, und trotzdem übersichtlich ist. [...] Natürlich muss es verschiedene Typen von Aufgaben geben, die haben natürlich ihren Platz, die haben sogar fast ausschließlich ihren Platz (gemeint sind hier geschlossene Übungsaufgaben, die Verf.). Die Aufgabe, von der ich eben gesprochen habe, ist für mich eine Aufgabe, die ich nirgendwo finde.« (Aussage einer Lehrerin)

Weiterhin hat sich in der Auswertung gezeigt, dass tatsächlich nahezu alle Aussagen den formulierten Kategorien zugeordnet werden können. Die übrigen Aussagen wurden in einer Kategorie »Sonstiges« zusammengefasst. Die beiden Kategorien »Interesse der Lehrperson« und »Soziale Eingebundenheit« spielten (erwartungsgemäß) für die Einschätzung von Aufga-

ben, die im derzeitigen Unterricht in der Regel allein bearbeitet werden, keine Rolle, hierzu wurden keine Aussagen getroffen. In Tabelle 1 sind daher zu den sechs häufigsten Kategorien typische Paraphrasen von Aussagen der Lehrer und Schüler formuliert. Die Zahlen geben an, wie viele der weiteren Befragten ebenfalls dazu eng verwandte Aussagen getroffen haben.

Die Gesamtauswertung zeigt ebenso wie die genannten Beispiele, dass sich viele Kategorien, die für den Unterricht als motivationsfördernd ermittelt wurden, bei den befragten Lehrern und Schülern auch bezüglich der Einschätzung von Aufgaben finden lassen, etwa die Bedeutung der Instruktionsqualität, der Kompetenzerfahrung oder die Variation von Aufgabenformaten. Zusammenfassend können die folgenden Kriterien für beide befragten Gruppen als bedeutsam erachtet werden:

Kategorie	Paraphrase/Code
<b>Instruktionsqualität</b>	
Lehrer	»Aufgabenstellungen müssen klar und eindeutig sein« oder »Verständlichkeit für die Schülerinnen und Schüler« (5)
Schüler	»Besser uninteressant und nicht so verwirrend« oder »Kurz, bündig« (6)
<b>Autonomieunterstützung</b>	
Lehrer	»Mehrere Lösungswege« oder »Entscheidungsmöglichkeiten für die Schülerinnen und Schüler« (8)
Schüler	»Eigener Lösungsweg ist nicht wichtig, Lösung der Aufgabe im Sinne der Aufgabenstellung entscheidend« (4)
<b>Kompetenzunterstützung</b>	
Lehrer	»Aufgaben müssen Teile haben, die von allen gelöst werden können« oder »Aufgaben müssen mehrschichtig sein, Teile zum Reinkommen, Teile zum Weiterdenken« (13)
Schüler	»Schlecht ist, wenn man sich lange beschäftigt und nichts rausbekommt« oder »Einfach« (5)
<b>Nachvollziehbare Bedeutung der Inhalte</b>	
Lehrer	»Kontexte müssen sinnvoll sein und sich der Aufgabeninhalt danach ausrichten« oder »Kontext muss nicht immer sein, »kontextfreie« Aufgaben auch wichtig«
Schüler	»Es geht nicht darum, was man von einer Aufgabe hat« oder »Einbettungen dürfen nicht zu lang sein« oder »Bezug zum Normalen, Alltäglichen, Chemie hat häufig so was »Fremdes«« (7)
<b>Verschiedene Aufgabenformate</b>	
Lehrer	»Es gibt verschiedene Typen, alle haben ihre Berechtigung« oder »Aufgaben sollten in einer Unterrichtsstunde, maximal einer Doppelstunde bewältigt werden können« (9)
Schüler	»Unterschiedliche Typen von Aufgaben« oder »Offene Aufgaben in Klausuren schlecht, da man in Zeitprobleme geraten kann« (5)
<b>Einsatz von Experimenten/Modellen</b>	
Lehrer	»Interessantes Experiment« oder »Reaktion muss tatsächlich schnell durchführbar sein« (4)
Schüler	»Beobachtungen nur bei Realexperimenten, nicht bei Gedankenexperimenten« oder »Offene Experimentieranweisungen bringen Jungen oft nicht viel, wird langweilig, Ergebnisse werden nicht aufgeschrieben« (3)

Tab. 1. Beispielparaphrasen zu den am häufigsten genannten Kategorien mit Angabe der Auswahl derer, die vergleichbare Aussagen gemacht haben (Zahlen in Klammern). Anzahl der Lehrer: 15, Anzahl der Schüler: 7

- Aufgaben müssen klar und präzise im Hinblick auf das Aufgabenziel formuliert sein.
- Eine Einbettung der Aufgabe in einen Kontext wird gewünscht, allerdings nicht ausschließlich und nicht im Sinne eines ausschweifenden Einleitungstextes. Sie soll vielmehr ergänzende Informationen liefern, die für die Lösung eine Bedeutung haben.
- Aufgaben mit offenen Lösungswegen müssen dennoch ein klar erkennbares Ziel aufweisen und – zum Beispiel durch gezielte Hilfen – von den Lernenden auch als lösbar eingeschätzt werden.
- Aufgaben im Chemieunterricht sollen, wann immer möglich und sinnvoll, durch anschauliche Experimente und Materialien unterstützt werden.
- Aufgaben müssen auf die jeweilige Unterrichtssituation abgestimmt sein. In Übungs- und Prüfungssituationen müssen andere (klar zielorientierte) Aufgabenformate gewählt werden, während in Einstiegs- und Erarbeitungsphasen auch offene Lernaufgaben Verwendung finden sollen.

Andere Kriterien wurden dagegen durchaus widersprüchlich eingeschätzt, wie beispielsweise die Bedeutung offener Lösungswege zur Entwicklung eigener Ideen oder das Aufzeigen der Relevanz eines Aufgabenthemas. Welche Ursachen können für die unterschiedliche Einschätzung zwischen Lehrenden und Lernenden angenommen werden? Die Aussagen der Lehrkräfte sind vermutlich (auch) durch die aktuellen Diskussionen um die Bedeutsamkeit offener und kontextbezogener Aufgaben geprägt. Sie können, anders als die Lernenden, den übergreifenden Lernwert einer Aufgabe einschätzen, die nicht primär auf das Abschneiden in der nächsten Klausur ausgerichtet ist. Sollen Schüler im Unterricht auch das Lösen realitätsnaher Probleme kennen lernen, so entsprechen diese eben nicht geradlinigen und stark vorstrukturierten Aufgabenstellungen, sondern komplexen Situationen, aus denen das »chemische Problem« sowie mögliche Lösungszugänge erst herausgearbeitet werden müssen.

Bezogen auf die Lernenden kann vermutet werden, dass sie solche Aufgaben weniger oder gar nicht kennen gelernt haben, ihre eigene Fähigkeit zur Lösung (im Sinne der Kompetenzwahrnehmung) also auch weniger einschätzen können. Weiterhin lernen Schüler Aufgaben überwiegend als Übung oder in Prüfungssituationen kennen [vgl. 5], in denen ein eindeutiger Erwartungshorizont nachvollziehbar größere Sicherheit bietet. Als letztes Argument darf vermutet werden, dass gerade für die Schüler, die kein hohes Interesse an einem Fach mitbringen, die Aufgaben am motivierendsten sind, die den geringsten Arbeitsaufwand mit sich bringen. Die beiden nachfolgenden Aussagen bestätigen diese Annahme.

»Also ich würde sagen, lieber ist mir, dass die Aufgabe klar formuliert ist und auch wenn ich dann nicht meinen persönlichen Lieblingsweg nehmen kann, dass ich dann wenigstens weiß, ich hab jetzt die Aufgabe im Sinne der Aufgabenstellung gelöst.« (Aussage eines Schülers)

»Es ist besser, wenn sie (die Aufgabe, die Verf.) uninteressanter ist und nicht so verwirrend.« (Aussage einer Schülerin)

Sollen komplexere, kontextbezogene Aufgaben, die von den Lernenden das Entwickeln eigener Lösungswege verlangen, in den Unterricht integriert werden, so müssen diese Aufgaben bzw. deren unterrichtliche Einbettung bestimmte Merkmale erfüllen:

- Auch bei offenen Aufgaben muss die Zielrichtung im Sinne der Instruktionsqualität klar erkennbar sein (s. o.).
- Um den Aspekt der Kompetenzwahrnehmung im Prozess der Aufgabenlösung zu beachten, müssen entsprechende Hilfestellungen und Überprüfungen, ob der eingeschlagene Weg Ziel führend ist, in den Lösungsprozess eingebunden werden. Dies kann durch vorbereitete Materialien [vgl. dazu 20], aber auch durch das gemeinsame Lösen in Gruppen (Soziale Eingebundenheit) erfolgen.
- Schüler müssen den Umgang mit solchen Aufgabenstellungen kennen lernen dürfen, ohne gleichzeitig unter dem Druck einer erfolgreichen Lösung zu stehen. Die von WEINERT geforderte Trennung in Lern- und Leistungssituationen ist vermutlich unerlässlich [21], wenn auch anspruchsvolle Aufgaben als motivierend empfunden werden sollen.

Ausgehend von diesen Überlegungen werden nachfolgend zwei Ansätze vorgestellt, die die Entwicklung und den Einsatz offener und kontextbezogener Lernaufgaben für den Chemieunterricht mit der Zielsetzung verfolgen, die Motivation der Schüler positiv anzusprechen und gleichzeitig einen zielgerichteten und übertragbaren Kompetenzerwerb zu ermöglichen.

### 3 Neue Wege zur Stöchiometrie?

Anknüpfend an die oben dargestellte Interviewstudie haben wir Aufgabenbeispiele entwickelt und in eine Unterrichtsreihe zur Einführung der Stöchiometrie in der 8. Jahrgangsstufe an Gymnasien eingebettet, die in Kürze ausführlich vorgestellt wird [16]. Zu Beginn dieser Einheit können die Schüler aus verschiedenen Kontextaufgaben wählen (vgl. Abb. 2), die alle auf einem gemeinsamen Grundproblem basieren: der quantitativen Betrachtung chemischer Reaktionen, also der Lösung stöchiometrischer Aufgaben. Die Schüler sollen dafür zunächst eigene Ideen entwickeln und – soweit möglich – prüfen, bevor sie in vorbereiteten Stationen systematisch zu einer Lösung geführt werden. Dieser Lösungsprozess wird in Kleingruppen bearbeitet und durch gestufte Hilfen unterstützt [vgl. 20]. Abschließend werden die Lösungen der Gruppen präsentiert und zu einem von den gewählten Kontexten losgelösten Schema abstrahiert. Ergänzende Übungsaufgaben bieten die Möglichkeit, gezielt die bekannten oder in der Lerngruppe aufgetretenen Problemstellen erneut zu bearbeiten und den Umgang mit stöchiometrischen Aufgaben zu festigen. In den Abbildungen 2 und 3 sind zwei verschiedene Aufgabentypen dieser Einheit aufgeführt.

Abbildung 2 zeigt eine kontextbezogene Aufgabe, die in der Einstiegsphase verwendet wird und die Entwicklung eigener Lösungsideen anregen soll. Diese



### Oh, Tannenbaum!

Sicherlich hattet auch ihr dieses Jahr wieder einen festlich geschmückten Weihnachtsbaum mit Lametta, Schleifen oder Engelshaar und bestimmt auch mit Christbaumkugeln. Die Idee der Christbaumkugel wurde einer Legende zu Folge aus der Not heraus um etwa 1847 geboren: Arme Glasbläser konnten sich den traditionellen Weihnachtsbaumschmuck aus Nüssen und Äpfeln nicht leisten und stellten diese aus Glas her. Heute beschäftigt sich ein ganzer Industriezweig mit der Herstellung der glitzernden Kugel – und natürlich steckt viel Chemie dahinter! Wie kommt der Glanz in die gläserne Kugel?

Die Glaskugel wird innen mit einer Schicht versehen, die wie ein Spiegel wirkt und somit Licht reflektiert, dadurch glitzert die Kugel. Um nun die Kugel innen zu verspiegeln, wird eine Silberverbindung, die in der Chemie Silbernitrat heißt, eingesetzt. Durch Zusatz eines Entwicklers (Traubenzuckerlösung) bildet sich hieraus reines Silber. Dieses scheidet sich auf dem Glas als Silberspiegel ab.

Probiere es doch einfach mal aus und stelle selbst eine Christbaumkugel her!

(Versuchsanleitung zur Herstellung eines Silberspiegels im Schülerdemonstrationsexperiment)



Formuliere die Wortgleichung deiner Reaktion, bei der neben Silber ein Rest entsteht!

Silber und seine Verbindungen sind recht teuer, ein Kilogramm Silbernitrat kostet 900 €!!!

So ist es nur verständlich, dass ein Hersteller für Christbaumkugeln aufgrund des hohen Preises nur soviel Silbernitrat einkaufen möchte, wie er für die Produktion benötigt.



#### Deine Aufgabe:

Der Hersteller »Glamour« produziert für das bevorstehende Weihnachtsfest eine Million Christbaumkugeln. Der Silberspiegel einer jeden Christbaumkugel soll dabei aus 0,2 g Silber bestehen. Wie viel Gramm Silbernitrat muss der Hersteller einkaufen? Notiere deine Lösungsidee und diskutiere sie in der Gruppe! Einige Ideen könnt ihr auch experimentell überprüfen.

Was müsstest du wissen um vorhersagen zu können, wie viel Silbernitrat man einsetzen muss?

Kontext-  
einbettung

Versuchs-  
anleitung

Versuchs-  
auswertung

Aufgaben-  
stellung

Abb. 2. Beispiel für eine Einstiegsaufgabe

Aufgaben können ebenso im Anschluss an eine einführende Einheit als Übungsaufgaben verwendet werden. Dieser Aufgabentyp soll den Lernenden über eine kurze Kontexteinbettung die tatsächliche Bedeutung einer Problemstellung aufzeigen. Danach wird die thematisierte Reaktion qualitativ im Experiment durchgeführt und ausgewertet, damit die Schüler sich ein Bild von Edukten und Produkten machen können. Erst jetzt folgt die eigentliche quantitative Fragestellung, die Bezug nimmt auf die Kontexteinbettung und ein Problem formuliert, das in der jeweiligen Situation tatsächlich auftreten kann. Ausgehend von den eigenen Ideen der Schüler wird in der nachfolgenden Stationsarbeit ein möglicher Weg der Bearbeitung strukturiert erarbeitet.

In Abbildung 3 sind zwei Beispiele für Übungsaufgaben dargestellt. Die erste Aufgabe zeigt eine »klassische« Übungsaufgabe, die gezielt einen Teilschritt

des Lösungsprozesses stöchiometrischer Aufgaben aufgreift und sichern soll: die Berechnung einer Teilchenanzahl bei gegebener Masse. Die zweite Aufgabe bringt die Schüler in die Rolle der Aufgabenentwickler und zeigt damit aus einer anderen Perspektive, ob sie die dieser Einheit zugrunde liegenden Fragestellungen erfasst haben.

Die ersten Erprobungen dieser Einheit haben gezeigt, dass insbesondere die eigene Wahl der Kontextaufgabe sowie die gemeinsame Bearbeitung in Gruppen von den Lernenden als sehr motivierend empfunden wurden. In einem als Evaluationsinstrument eingesetzten Schülerbewertungsbogen äußerten sich die Schüler insgesamt sehr positiv zu den offenen Arbeitsformen und den bereitgestellten Materialien, betonten aber ebenso die Schwierigkeiten in der mathematischen Umsetzung der Rechnungen, vor allem wegen der ungewohnten Zehnerpotenzschreibweise bei den gro-

ßen und kleinen Zahlen. Die Auswertung der von den Schülern erstellten Arbeitsmaterialien und Präsentationen zeigte ebenso wie ein Prä-Post-Test mit Multiple-Choice-Aufgaben zum Konzeptverständnis bei stöchiometrischen Problemen, dass die Schülerinnen und Schüler im Verlauf der Einheit ein grundlegendes Verständnis für relevante Größen und Zusammenhänge (Bedeutung und Unterscheidung von Teilchenmasse, Teilchenanzahl und Masse der Stoffportion) in der Stöchiometrie aufbauen konnten. Erwartungsgemäß stellte sich jedoch der Transfer dieser im Unterricht erworbenen Erkenntnisse auf andere Problemstellungen als schwierig heraus, womit die große Bedeutung intensiver Übungsphasen im Anschluss an eine einführende Einheit erneut deutlich wird.

#### 4 Von experimentellen Ideen zu einem Grundverständnis für chemisch-experimentelle Methoden?

Verschiedene Untersuchungen haben aufgezeigt, dass gerade der Einsatz des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht eine große Diskrepanz zwischen Ansprüchen und Erfolgen aufweist: Viele Lehrkräfte benennen das Experiment als das zentrale Element des Chemieunterrichts, und auch für Schüler

ist die Durchführung von Experimenten in der Regel sehr motivierend, wie oben dargelegt. Auf der anderen Seite bleiben die erhofften Lernwirkungen oftmals aus [5, 22], und auch die Entwicklung eines Grundverständnisses für die Merkmale experimenteller Untersuchungen selbst ist von vielen Fehlerquellen überlagert [23].

Ziel der nachfolgend skizzierten Untersuchung ist es daher, zunächst durch offene Aufgaben die experimentelle Vorgehensweise der Schüler anzuregen und die eingeschlagenen Lösungswege systematisch zu analysieren. Darauf aufbauend sollen gemeinsam mit Lehrkräften Strategien für die Entwicklung eines Grundverständnisses für experimentelle Problemlösungen im Chemieunterricht erarbeitet werden.

Zentraler Ansatzpunkt der Aufgaben ist nicht etwa die Steuerung auf eine gewünschte experimentelle Lösung, sondern die Sammlung und Nutzung möglichst vielfältiger Vorschläge. Gerade diese sollen im nachfolgenden Unterricht genutzt werden, um Vor- und Nachteile der jeweiligen Herangehensweisen zu diskutieren. Zunächst sollen für das konkret gestellte Problem in Sinne einer Reflexion die eigenen Ideen mit denen anderer verglichen werden. Darüber hinaus sollen die vorgeschlagenen Verfahren auf mögliche weitere Anwendungsgebiete im Sinne einer Abstraktion und Verallgemeinerung experimenteller Methoden und Verfahren in der Chemie übertragen werden.

##### Übungsaufgabe 1:

Suche dir aus den folgenden Stoffen 3 aus und berechne zu den unten angegebenen Massenportionen, wie viele Bausteine sich in dieser Portion jeweils befinden. Achte dabei auf die Einheiten. Falls du nicht mehr weißt, wie es geht, hole dir noch einmal die Hilfen zu Station 3 und 4 »Zählen mit der Waage?!« (Bestandteil der Einheit, hier nicht abgebildet!)

Stoff (Baustein)	Masse eines Bausteins in u
Kalziumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )	100
Magnesium (Mg)	24,3
Natriumhydroxid (NaOH)	40
Zinksulfat ( $\text{ZnSO}_4$ )	161,4
Schwefel (S)	32
Kalziumoxid (CaO)	56
Natrium (Na)	23
Magnesiumoxid (MgO)	40,3

Massenportionen: 5 mg, 2 g, 17,5 g, 8 kg.

Vergleiche die Lösungen auf der Lösungsdrehscheibe (hier nicht abgebildet).

##### Übungsaufgabe 2:

Setze dich mit deinem Nachbarn/deiner Nachbarin in einer 2er-Gruppe zusammen. Entwerft für den jeweils anderen anhand von im Unterricht behandelten chemischen Reaktionen zwei stöchiometrische Aufgaben, also Fragestellungen der Art: Welche Masse muss ich von Stoff ... einsetzen, um x g von Stoff ... zu erhalten? oder Welche Masse muss ich von Stoff ... einsetzen, um x g von Stoff ... umzusetzen? Löst die Aufgaben, die ihr von eurem Nachbarn gestellt bekommt und besprecht die Lösungen eurer Aufgaben gemeinsam.

Abb. 3. Übungsaufgaben zu stöchiometrischen Problemen

Im Unterricht sollen die Aufgaben damit so eingesetzt werden, dass die folgenden drei Schritte umgesetzt werden:

**1. Selbstständige Lösungsansätze**

Die Schüler entwickeln gemeinsam in kleinen Gruppen selbstständig Lösungsansätze, diskutieren diese untereinander, treffen eine begründete Entscheidung für einen dieser Ansätze und führen diesen durch.

**2. Reflexion**

Die Schüler präsentieren ihre Überlegungen, Beobachtungen sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse. Dabei soll die Eignung der einzelnen Versuchsdurchführungen bzgl. des gestellten Problems vergleichend abgewogen werden.

**3. Abstraktion**

Der prinzipielle Wert einer gewählten Methode in Bezug auf naturwissenschaftlich-chemisches Arbeiten wird herausgearbeitet und auf andere Fragestellungen bezogen.

**Brausepulver - Was braust am meisten?**

Im Supermarkt findest du viele verschiedene Arten von Brausetabletten. Sie alle sprudeln, wenn du sie in Wasser gibst, da Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird.

Plane Untersuchungsmöglichkeiten, um zu messen, welche Brausetabletten am meisten Kohlenstoffdioxid freisetzen.

1. Überlegt und bespricht dafür erst mal in der Gruppe, welche Ideen ihr habt. Macht dafür auch eine Zeichnung.
2. Einer aus eurer Gruppe holt dann die Geräte, die ihr benötigt, dann führt ihr euren Versuch durch.
3. Präsentiert hinterher euren Mitschülern euren Versuch und erklärt, warum ihr gerade so vorgegangen seid.

Abb. 4. Aufgabe zur Entwicklung experimenteller Lösungsvorschläge

Abbildung 4 zeigt eine Beispielaufgabe, wie sie in einer ersten Erprobung in zwei 9. Realschulklassen eingesetzt wurde, Abbildung 5 die Analyse der gegebenen Schülerantworten.

Der Einsatz dieser Aufgabe erfolgte in Anlehnung an die grundlegende Struktur von Chemie im Kontext und die zuvor genannten drei Bearbeitungsschritte: Ausgehend von der Problemstellung, die aus einem Kontext (hier Brausepulver) hervorgeht, entwickeln die Schüler eigene experimentelle Möglichkeiten zur Untersuchung (Schritt 1: Lösungsansätze), wobei sie bereits vorhandene Fachkenntnisse anwenden sollen. Die vorgeschlagenen Verfahren werden anschließend auf ihre Eignung zur Bearbeitung der Fragestel-

lung geprüft (Schritt 2: Reflexion) und schließlich auf einer konzeptuellen Ebene dahingehend betrachtet, welche allgemeinen Prinzipien chemischer Verfahren angewendet wurden (Schritt 3: Abstraktion).

Aus Sicht eines Experten – also zum Beispiel eines Lehrers – erscheint sicherlich das Auffangen und quantitative Bestimmen des Gases als die (einzig?) sinnvolle Lösung. Betrachtet man die anderen Vorschläge aber aus einer allgemeinen Perspektive, so liegen auch dort durchaus übliche Verfahren der Chemie zugrunde: Bestünde etwa die Möglichkeit, die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser zu Calciumcarbonat quantitativ durchzuführen, könnte das beim »Brausen« freigesetzte Kohlenstoffdioxid gravimetrisch

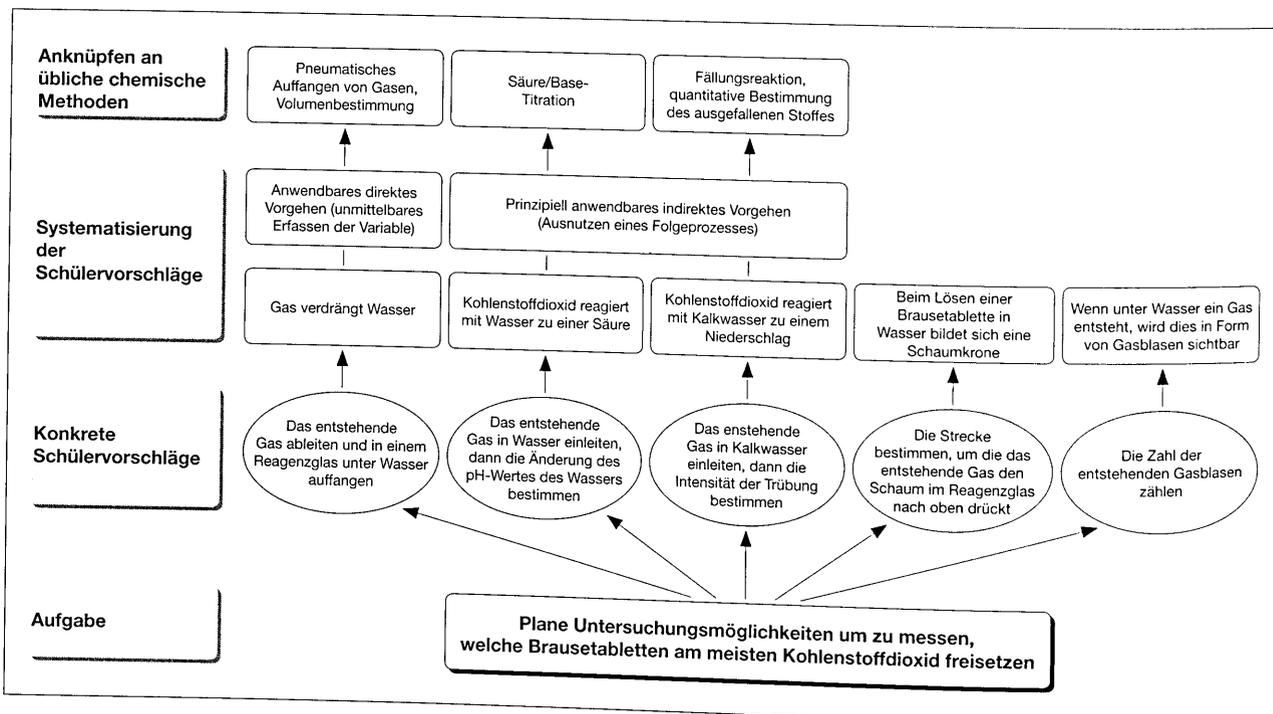


Abb. 5. Klassifizierung der Lösungsvorschläge der Schüler

bestimmt werden – ein Standardverfahren der analytischen Chemie. Auch die Verfolgung des pH-Wertes wäre anwendbar, wenn die Reaktion zwischen dem Kohlenstoffdioxid und Wasser vollständig verlief. Diese Lösungsideen der Schüler können folglich zunächst experimentell erprobt werden, darüber hinaus aber bezüglich ihrer prinzipiellen Verfahrensweise und deren Bedingungen reflektiert und dokumentiert werden. Eine wiederholte Vorgehensweise sollte dann dazu führen, dass die Schüler schon bei der Entwicklung ihrer experimentellen Überlegungen zunehmend die notwendigen Verfahren und Bedingungen hinterfragen und abwägen, somit also allmählich ein zunehmendes Grundverständnis für chemische Methoden und Verfahren entwickeln können.

## 5 Fazit und Ausblick

Mit den hier dargestellten Beispielen wurden Arbeiten vorgestellt, die den Aufgabeneinsatz im Chemieunterricht durch eine systematische Entwicklung und Auswertung verschiedener Aufgabenformate erweitern sollen. Wie dargestellt, sollten Aufgaben dabei neben ihrem bewährten Einsatz zum Üben und Testen vermehrt auch in Einstiegs- und Erarbeitungsphasen eingesetzt werden, um offene Lernsituationen mit konkreten Zielvorgaben zu verbinden und neben einer individuell motivierenden Erarbeitung eines Problems – zum Beispiel durch die eigene Auswahl einer Aufgabe – auch die systematische Verständnisentwicklung – zum Beispiel durch die Reflexion und allgemeine Betrachtung von Lösungsansätzen – zu ermöglichen. Weitere Entwicklungsschritte, unterrichtliche Erprobungen und begleitende Forschungsarbeiten (zum Beispiel durch Interviews und die Auswertung von Testaufgaben) müssen schließlich zeigen, welche Ansätze in welchen Lerngruppen tatsächlich zu den gewünschten Zielen und Ergebnissen führen.

MARTIN FACH, WILHELM KANDT & Prof. Dr. ILKA PARCHMANN, C. v. O. Universität Oldenburg, Institut für Reine und Angewandte Chemie, Didaktik der Chemie, Postfach 2503, 26111 Oldenburg; ilka.parchmann@uni-oldenburg.de

WILHELM KANDT und MARTIN FACH sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Arbeitskreis von Prof. Dr. ILKA PARCHMANN an der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg.

### Literatur

- [1] R. BRUDER: Mit Aufgaben arbeiten. – Mathematik lehren (2000) Nr. 101, 12–17.
- [2] R. BRUDER: Konstruieren – auswählen – begleiten – Über den Umgang mit Aufgaben. – Friedrich Jahresheft – Aufgaben (2003) Nr. XXI, 12–15.
- [3] A. BÜCHTER – T. LEUDERS: Mathematikaufgaben selbst entwickeln. Lernen fördern – Leistung überprüfen. – Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG 2005.
- [4] H. E. FISCHER – D. DRAXLER: Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht. – MNU 54 (2001) Nr. 7, 388–393.
- [5] I. MELLE – I. PARCHMANN – E. SUMFLETH: Kerncurriculum Chemie. – MNU 57 (2004) Nr. 3, 160–166.
- [6] Forschergruppe nwu-essen: Projekt Aufgaben: <http://www.uni-essen.de/nwu-essen/dox/13.1304.ITvsH.H.De.php> (26.03.2006)
- [7] L. STÄUDEL: Aufgaben zum Lernen – Aufgaben zum Prüfen? – NiU-Chemie 15 (2004) Nr. 82/83, 95.
- [8] V. WOEST: Aufgabenformate. – NiU-Chemie 15 (2004) Nr. 82/83, 7–13.
- [9] P. HÄUSSLER – G. LIND: »Aufgabenkultur« – was ist das? – PdN Physik 49 (2000) Nr. 4, 2–10.
- [10] J. LEISEN: Qualitätssteigerung des Physikunterrichts durch Weiterentwicklung der Aufgabenkultur. – MNU 54 (2001) Nr. 6, 401–405.
- [11] C. VON AUFSCHNAITER – S. VON AUFSCHNAITER: Einen neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht. – MNU 54 (2001) Nr. 7, 409–416.
- [12] R. DUIT – H. E. FISCHER – W. MÜLLER: Vielfalt und Anregung statt Routine – Der Physikunterricht braucht eine andere Aufgabenkultur. – NiU-Physik 13 (2002) Nr. 67, 4–7.
- [13] P. NENTWIG – D. CHRISTIANSEN – B. STEINHOFF: Eine neue Aufgabenkultur für einen neuen Chemieunterricht. – PdN-ChiS 53 (2004) Nr. 8, 21–24.
- [14] O. TEPNER – I. MELLE: Aufgaben im Chemieunterricht der S1 – lernerfolgsrelevante Faktoren. – Vortrag auf der GDGP-Jahrestagung »Lehren und Lernen mit neuen Medien« in Paderborn 2005
- [15] A. FEY – C. GRÄSEL – T. PUHL – I. PARCHMANN: Implementation einer kontextorientierten Unterrichtskonzeption für den Chemieunterricht. – Unterrichtswissenschaft 32 (2004) Nr. 3, 238–256.
- [16] M. FACH – I. PARCHMANN – W. ENDRES: Mit mathematischen Brücken Chemie verstehen – Vorschlag einer Unterrichtskonzeption zur Einführung »Erster quantitativer Betrachtungen chemischer Reaktionen« gemäß den Bildungsstandards. – NiU-Chemie 17 (2006) Nr. (im Druck),
- [17] O. TEPNER – I. MELLE: Übungen im Chemieunterricht. – NiU-Chemie 14 (2003) Nr. 74, 42–43.
- [18] W. GRÄBER: Interesse am Unterrichtsfach Chemie, an Inhalten und Tätigkeiten. – Chemie in der Schule 39 (1992) Nr. 10, 354–358.
- [19] M. PRENZEL: Zum Lernen bewegen. Unterstützung von Lernmotivation durch Lehre. – Blick in die Wissenschaft 7 (1995) Nr. 4, 58–66.
- [20] FORSCHERGRUPPEKASSEL: Archimedes und die Sache mit der Badewanne – Gestufte Hilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht. – Friedrich Jahresheft – Diagnostizieren und Fördern (2006) Nr. XXIV, 84–88.
- [21] F. E. WEINERT: Perspektiven der Schulleistungsmessung – multiperspektivisch betrachtet. – In: F. E. WEINERT (Hg.): Leistungsmessungen in Schule. – Weinheim und Basel: Beltz Verlag 2001.
- [22] V. N. LUNETTA: The school science laboratory: Historical perspectives and concepts for contemporary teaching. – In: B. J. FRASER – K. G. TOBIN (Hg.): International handbook of science education. – Dordrecht: Kluwer 1998.
- [23] M. HAMMANN: Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. – MNU 57 (2004) Nr. 4, 196–203.