

ANNETTE MAROHN

„Choice2learn“ – eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht

„Choice2learn“ – an approach to explore and change students' alternative conceptions in science education

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Entwicklung und Vorerprobung von „choice2learn“ – einer Konzeption zur Exploration und Veränderung von Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Grundlage der Konzeption bilden empirisch entwickelte Multiple-Choice-Aufgaben, die Lehrkräften helfen, Vorstellungen der eigenen Lerngruppen zu erkennen und es Lernern¹ ermöglichen, sich eigener Vorstellungen bewusst zu werden. Im Rahmen von „choice2learn“ werden diese Aufgaben durch Lernimpulse erweitert, um Diskussionsprozesse anzuregen und eine Veränderung von Vorstellungen zu initiieren.

Kapitel 3 illustriert am Beispiel einer Studie mit 15785 Schülern der Jahrgangsstufen 11 bis 13, in welcher Weise Multiple-Choice-Aufgaben zur Exploration von Vorstellungen entwickelt werden können. Kapitel 4 erläutert vor dem Hintergrund einer konstruktivistischen Sichtweise des Lernens die verschiedenen Phasen von „choice2learn“ und schildert erste Erfahrungen einer Vorerprobung in 43 Kleingruppen der Jahrgänge 9 bis 12 zweier Gymnasien. Um zu entscheiden, an welchen Stellen ein Einsatz der Konzeption sinnvoll erscheint, wird ein Kriterienkatalog zur Identifizierung *elementarer* Vorstellungen entwickelt, die eine besondere Aufmerksamkeit im Unterricht erfordern. Schlüsselwörter: Schülervorstellungen, Konzeptwechsel, naturwissenschaftlicher Unterricht, Konstruktivismus, Multiple-Choice-Aufgaben, Argumentation

Abstract

The article is about the development and trial of „choice2learn“ – an approach to explore and change students' alternative conceptions in science education. The approach is based on empirical developed multiple-choice-questions that can be used not only for exploring alternative conceptions but also for making students become aware of them. The multiple-choice-tasks are supported by learning impulses for initializing processes of discussion and conceptual development.

In Chapter 3 the development of suitable multiple-choice-tasks is illustrated by a study with 15785 secondary-school students. Against the background of a constructivist oriented view of learning the following chapter explains the phases of „choice2learn“ and describes experiences from a pre-study with 43 groups of 9 to 12th grade-students. A list of criteria for identifying *meaningful* conceptions can help to decide, at which point „choice2learn“ may be useful.

Keywords: alternative conceptions, conceptual change, science education, constructivism, multiple-choice-tasks, argumentation

1 Einleitung

„Dummköpfe gibt es immer wieder unter den Schülern.“ – „Durch meine Folien haben es alle Kinder verstanden.“ – „Ich bemühe mich immer, auf die Schwierigkeiten der Schüler

einzugehen, weiß aber nicht, wie ich allen Vorstellungen gerecht werden soll.“

Eine Interviewstudie mit zehn Chemielehrkräften von Gymnasien und Gesamtschulen offenbart unterschiedliche Haltungen gegenüber den Ergebnissen der Vorstellungs-

¹ Der Ausdruck "Lerner" bzw. "Schüler" ist geschlechtsneutral zu verstehen.

forschung (Cibis, 2006, 51-54). Einige Lehrer signalisieren Ablehnung: wer die fachlichen Inhalte nicht versteht, „gehört nicht aufs Gymnasium“. Andere äußern Skepsis, dass die beschriebenen Vorstellungen auch im eigenen Unterricht eine Rolle spielen könnten. Sie glauben, man müsse die fachlichen Konzepte nur übersichtlich und anschaulich genug vermitteln (im zitierten Fall durch Folien mit Darstellungen der Aggregatzustände), um zu vermeiden, dass Schüler alternative Vorstellungen entwickeln. Demgegenüber äußern manche Lehrkräfte großes Interesse an der Vorstellungsforschung, betonen aber auch, wie schwierig es sei, die individuellen Vorstellungen in ihren Lerngruppen zu erkennen und angemessen zu berücksichtigen. Sie fühlen sich angesichts der Fülle der in der Literatur beschriebenen Schüler- vorstellungen überfordert und fragen nach einem Konzept, wie mit Vorstellungen im Unterricht umzugehen sei.

Die Ergebnisse der zitierten Befragung sind nicht repräsentativ; allerdings stimmt die Beobachtung, dass einige Lehrkräfte nicht wissen, wie sie Kenntnisse über Schüler- vorstellungen in den Unterricht umsetzen können, mit den Erfahrungen anderer Autoren überein (Gilbert, Justi, van Driel, Jong & Treagust, 2004). Trotz jahrzehntelanger Vorstellungsforschung scheint es bislang nicht ausreichend gelungen zu sein, die Ergebnisse derart an Lehrkräfte heranzutragen, dass sie als Hilfe bei der Gestaltung von Unterricht empfunden werden.

Der Beitrag entwickelt vor dem Hintergrund einer konstruktivistisch orientierten Sichtweise des Lernens eine Konzeption für den Umgang mit Lernervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Konzeption beruht auf dem Einsatz von empirisch entwickelten Multiple-Choice-Aufgaben. Diese können Lehrkräften helfen, Vorstellungen der eigenen Lerngruppen zu erkennen und es Lernern ermöglichen, sich eigener Vorstellungen bewusst zu werden. Die Aufgaben werden durch vielfältige Lernimpulse erweitert, um Diskussionsprozesse und Konzeptentwicklungen zu initiieren.

Obwohl sich das vorgestellte Beispiel auf einen Inhalt des Chemieunterrichts bezieht, ist die entwickelte Konzeption nicht „chemiespezifisch“; eine Übertragung auf andere naturwissenschaftliche Unterrichtsfächer ist denkbar.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Vorstellungen

Die konstruktivistische Sichtweise beschreibt Lernen als einen aktiven und situativen, aber auch emotionalen und sozialen Prozess, in dem der Lerner sein Wissen selbst gesteuert konstruiert (u.a. Gerstenmeier & Mandl, 1995, Reinmann & Mandel, 2001). Vorstellungen können als individuelle Konstrukte (Kelly, 1963) aufgefasst werden; sie sind notwendig für die Orientierung in der Umwelt und das (psychosoziale) Überleben des Menschen (Roth, 1997). Roth beschreibt Vorstellungen als einen Bestandteil einer Vielzahl mentaler und psychischer Zustände, die in ihrer Gesamtheit das formen, was umgangssprachlich als „der Geist“ des Menschen bezeichnet wird. Dazu zählen u.a. das Erleben von Wahrnehmungsinhalten, das Vorstellen, Erinnern, Wollen sowie Gefühle. Aus neurophysiologischer Sicht werden Vorstellungen durch neuronale Aktivitätsmuster bzw. Erregungszustände begleitet. Kognitive Strukturen beruhen auf neuronalen Netzwerken; dabei werden im Gedächtnis „all diejenigen Verknüpfungen niedergelegt, die sich irgendwann einmal bewährt haben“ (Roth, 1997, 266). Im Rahmen dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass Vorstellungen prinzipiell „verfügbar“ sind, jedoch nicht in jeder Situation gleichermaßen „aktiviert“ bzw. „erlebt“ werden. Z.B. wird das Wort „Gleichgewicht“ in einem lebensweltlichen Umfeld möglicherweise mit anderen Vorstellungen verknüpft als in einem wissenschaftlichen Kontext. Auch innerhalb der Wissenschaften kann derselbe Ausdruck (etwa „Potential“) mit unterschiedlichen Vorstellungen einhergehen.

Vorstellungen gründen in Erfahrungen, d.h. sie basieren auf Wechselwirkungen zwischen Individuum und Umwelt. Um die Genese von Lernervorstellungen zu analysieren, kann es hilfreich sein, zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen zu differenzieren. Eine solche Unterscheidung impliziert keine Bewertung; lebensweltliche Vorstellungen sind nicht „falsch“, wissenschaftliche nicht „richtig“. Mit dem Ausdruck „wissenschaftlich gültig“ werden im Rahmen dieser Arbeit Vorstellungen beschrieben, über die – nach Analyse anerkannter Fachbücher – zur Zeit offenbar ein Konsens herrscht.

In vielen Fällen lassen sich Verknüpfungen von wissenschaftlichen und lebensweltlichen Vorstellungen beobachten. Beispielsweise beschreiben zahlreiche Schüler den Stromfluss in einer Salzlösung als eine Kombination aus Elektronen- und Ionenbewegung, die sich in einer einzigen Fließrichtung von einer Elektrode zur anderen vollzieht (siehe Kapitel 3.2). Hier verbinden sich die wissenschaftlichen Vorstellungen von der Elektronenbewegung in metallischen Leitern und der Ionenbewegung in Lösungen mit der lebensweltlichen Erfahrung, dass ein Fluss stets in einer bestimmten Bewegungsrichtung (von A nach B) fließt.

Vorstellungen, die auf Erfahrungen basieren, werden im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson, 1980, Lakoff, 1987) als „verkörpert“ bezeichnet. Verkörperte Vorstellungen beruhen zum einen auf Basis-Begriffen (wie Baum, Mensch, Haus, ...), zum anderen auf kinästhetischen Schemata (wie oben-unten, außen-innen, Start-Weg-Ziel, ...). Die geschilderte Erfahrung der Fließrichtung eines Flusses lässt sich als Bestandteil des Start-Weg-Ziel-Schemas auffassen. Die „verkörperten“ Vorstellungen bilden nach Lakoff und Johnson die Basis für „imaginative Vorstellungen“. Diese beziehen sich auf Bereiche, in denen keine unmittelbaren Erfahrungen vorliegen. Um diese Bereiche zu verstehen, werden Vorstellungen aus einem „Ursprungsbereich“, in dem direkte Erfahrungen

vorliegen, in einen „Zielbereich“ übertragen. Verstehen wir den elektrischen Strom als Fluss, so übertragen wir die mit einem Fluss verknüpften Vorstellungen auf den Zielbereich „elektrischer Strom“. Demnach müssen sich bei Stromfluss Elektronen („Wasserteilchen“) in einer einzigen Fließrichtung vom Minus- zum Pluspol (von der „Quelle“ bis zur „Mündung“) bewegen. Das später vermittelte Konzept der sich entgegengesetzt bewegenden Ionen in wässrigen Lösungen ist mit dieser Übertragung nicht vereinbar und wird folgerichtig nicht als Stromfluss begriffen (Marohn, 1999).

Lakoff und Johnson (1980, 1987) beschreiben derart projizierte begriffliche Strukturen wie die des Flusses als „metaphorisch“. Sie betrachten Denken und Sprache als weitgehend metaphorisch strukturiert und gehen davon aus, dass die Analyse von Sprache einen Rückschluss auf die kognitiven Strukturen (die Vorstellungen) zulässt. So lässt sich auch die gedankliche Verknüpfung der Worte *Fluss* bzw. *fließen* mit der Vorstellung einer Bewegungsrichtung von A nach B aus zahlreichen sprachlichen Wendungen ablesen: „Der Stau nach Hannover hat sich aufgelöst, der Verkehr fließt wieder.“ „Die Gelder sind auf geheime Konten geflossen.“ Die kognitionslinguistische Analyse (Gropengießer, 1999) kann dazu beitragen, Einblick in die Genese von Lernervorstellungen zu gewinnen. Im Rahmen von „choice2learn“ dient sie dazu, Hinweise für die Gestaltung der Lernimpulse zu erhalten, die den Einsatz der Multiple-Choice-Aufgaben begleiten (Kapitel 4.3).

2.2 Veränderung von Vorstellungen

Versteht man Wissenserwerb als individuellen Konstruktionsprozess, so wird verständlich, dass Vorstellungen nicht einfach auf eine andere Person übertragen werden können. Ebenso ist es nicht möglich, eine Vorstellung in einem simplen „Austauschprozess“ durch eine andere zu ersetzen. „Lernen“ bedeutet vielmehr die Veränderung vorhandener Strukturen, wobei sich

aus neurophysiologischer Sicht die „Qualität“ und Anzahl neuronaler Verknüpfungen erhöht (Kandel & Jessell, 2000). Ein Lernprozess muss daher stets an den „verfügbaren“ Strukturen bzw. Vorstellungen ansetzen.

In der Literatur finden sich variierende Bezeichnungen wie *conceptual change*, *conceptual development* oder *conceptual reconstruction*, an denen sich ein unterschiedliches Verständnis bezüglich der Veränderung von Vorstellungen festmachen lässt. *Conceptual change* beschreibt in der ursprünglichen Bedeutung einen radikalen Wandel im Sinne eines Kuhnschen Paradigmenwechsels (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982), während *development* eine schrittweise Entwicklung von Konzepten bezeichnet. Der Ausdruck *reconstruction* legt demgegenüber den Fokus auf den aktiven Konstruktionsprozess (Krüger, 2007). Im Rahmen dieser Arbeit wird neben dem Begriff „Konzeptentwicklung“ der Begriff „Veränderung“ verwendet, der sowohl eine grundlegende Änderung als auch eine kleinschrittige Weiterentwicklung umfassen kann. Es wird davon ausgegangen, dass eine Veränderung von Vorstellungen in der Regel nicht mit einem „Verschwinden“ der alten Konzepte einhergeht. Wie das Beispiel des Stromflusses in wässrigen Lösungen zeigt, führt Lernen nicht selten zu einer Verknüpfung verschiedener Konzepte. Oftmals spiegeln sich in Aussagen von Lernern auch gegensätzliche Vorstellungen wider, die gleichberechtigt nebeneinander „existieren“.

In den letzten Jahrzehnten haben sich unterschiedliche theoretische Ansätze zur Beschreibung von Wissensstrukturen sowie der Veränderung solcher Strukturen herausgebildet. Dazu zählen u.a. der Kategorisierungsansatz von Chi (1992), der Rahmentheorieansatz von Vosniadou (1994) oder auch situierte Modelle, die die Kontextabhängigkeit von Konzepten betonen (u.a. Caravita & Halldén, 1994). Die theoretischen Beschreibungen von Wissensveränderungen werfen die Frage auf, in welcher Weise Lernumgebungen gestaltet werden müssen, damit Konzeptänderungen gefördert werden. Erste instruktionspsychologische Überlegungen werden 1982 von

Posner et al. formuliert. Sie nennen vier Bedingungen, die für einen Konzeptwechsel erforderlich sind: die Unzufriedenheit mit der alten Vorstellung sowie die Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit des neuen Konzeptes. Eine Möglichkeit, Unzufriedenheit herzustellen, ist der kognitive Konflikt, der sich nach Duit (1995) in drei Kategorien unterteilen lässt: Widerstreit zwischen Erwartung und Experimentalergebnis; Konflikt zwischen Schülervorstellung und wissenschaftlicher Vorstellung; Konflikt zwischen den Vorstellungen verschiedener Schüler. Pintrich, Marx und Boyle (1993) kritisieren die „cold-cognition“-Perspektive des kognitiven Konflikts und betonen die Bedeutung von motivationalen und kontextuellen Faktoren. Wissensveränderung erfordert demnach einen „herausfordernden, authentischen und persönlich bedeutsamen Kontext in Verbindung mit einem kooperativen, ermutigenden Klassenklima“ (Schnotz, 2006). Weitere Kriterien für die Gestaltung konstruktivistischer Lernumgebungen finden sich bei Taylor und Fraser (1991). Zu diesen zählen unter anderem die Anknüpfung an das Vorwissen (prior knowledge), das selbstbestimmte, lehrerunabhängige Arbeiten der Schüler (autonomy) sowie die Interaktion, das „Aushandeln“ verschiedener Standpunkte und die Konsensbildung (negotiation). Situierte Konzepte wie der *Cognitive Apprenticeship*- (Collins, Brown & Newman, 1989), *Cognitive Flexibility*- (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1992) und *Anchored Instruction*-Ansatz (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1997) wählen authentische Problemsituationen als Ausgangspunkt des Lernens und betonen die Bedeutung möglichst vielfältiger Kontexte und Perspektiven. Reinmann und Mandl (2001) kritisieren die fehlende Anleitung der Lernenden in situierten Lernumgebungen und weisen auf die Notwendigkeit instruktionaler Unterstützung neben dem eigenständigen Lernen hin.

Widodo und Duit (2004) identifizieren anhand ausgewählter Veröffentlichungen eine Reihe von Kennzeichen konstruktivistischer Lernumgebungen, die sie fünf Kategorien

zuordnen. Auch hier finden sich bereits beschriebene Kriterien wieder, wie etwa die Exploration der Vorstellungen und Denkweisen der Schüler, die Bewusstmachung des Lernerstatus, die Berücksichtigung von Lernbedürfnissen, der Austausch zwischen Schülern sowie das selbst-regulative und reflektierte Handeln. Erweitert werden die genannten Kennzeichen durch Aspekte zur „Nature of Science“, zu denen z.B. die Anerkennung der Vorläufigkeit von Wissenschaft zählt. In einer weiteren Metaanalyse von Veröffentlichungen zu konstruktivistischen Lehr-Lern-Sequenzen unterscheiden Widodo und Duit (2005) zwischen „evolutionären“ Strategien, die eine schrittweise Veränderung von Vorstellungen anstreben und „revolutionären“ Ansätzen, die auf kognitive Konflikte setzen. Als Gemeinsamkeit der betrachteten Sequenzen werden fünf Phasen identifiziert, die im Verlauf des Lehr-Lern-Prozesses durchlaufen werden: die Orientierung, das Erkunden von Schülervorstellungen, die Umstrukturierung von Schülervorstellungen, das Anwenden sowie das Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellungen.

Sozio-konstruktivistische Ansätze heben die Bedeutung der Interaktion für die kognitive Entwicklung des Einzelnen hervor. Grundlegerend ist der von Piaget geprägte Begriff des sozio-kognitiven Konflikts, der verschiedene Antworten und Standpunkte umfasst und die individuelle Leistung fördert (Dillenbourg, Blaye & O'Malley, 1995). Die Teilnahme an sozialen Interaktionen führt zu neuen individuellen Entwicklungszuständen, die wiederum soziale Interaktionen auf einer höher entwickelten Stufe ermöglichen. Gruppeninteraktionen führen demnach zu „einer effektiveren Aufgabenbewältigung im Gegensatz zur Einzelarbeit“ (Böttger et al., o.J.).

Kapitel 4 erläutert, welche der beschriebenen Kennzeichen konstruktivistischer Lernumgebungen im Rahmen der hier vorgestellten Konzeption Berücksichtigung finden, welche Bedeutung der Gruppenarbeit zukommt und in welchen Aspekten sich die Konzeption von bisherigen Strategien unterscheidet.

2.3 Aufgaben

Aufgaben können allgemein als „wohldefinierte Probleme“ charakterisiert werden, „die (mindestens) eine Lösung haben und deren Bearbeitung in relativ kurzer Zeit möglich ist“ (Häußler & Lind, 1998, 3). Im Bereich des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird häufig zwischen Aufgaben zum Lernen und Aufgaben zum Leisten unterschieden. Büchter und Leuders (2006) beschreiben diesen Unterschied anhand mehrerer Charakteristika (Tabelle 1), die als „Leitmodell für die Einschätzung, Auswahl und Entwicklung von Aufgaben“ in der Schulpraxis dienen sollen (S.10). Die aufgeführten Kriterien beschreiben Unterschiede sowohl in Bezug auf das Erleben einer Aufgabe durch den Lerner, als auch in Bezug auf die Einsatzform, die Gestaltung und die unterschiedlichen Zielsetzungen von Leistungs- und Lernaufgaben.

Diagnoseaufgaben werden von den Autoren den Aufgaben zum Leisten gleichgesetzt. Tatsächlich können jedoch *Multiple-Choice-Aufgaben zur Diagnose von Schülervorstellungen* im Unterricht Kennzeichen beider Aufgabentypen aufweisen. Ziel der Aufgaben ist die Exploration von Vorstellungen, damit Lehr-Lern-Prozesse an diesen anknüpfen können. „Fehler“ im Sinne von alternativen Vorstellungen werden somit als Chance betrachtet. Auch wenn die Bearbeitung der Diagnoseaufgaben dem „äußeren“ Anlass „Exploration von Vorstellungen“ entspringt, besitzen Multiple-Choice-Fragen aufgrund der polarisierenden – und manchmal auch mehrfach plausiblen – Distraktoren einen deutlichen Aufforderungscharakter. Sind die Fragestellungen derart formuliert, dass sie zu einer möglichst ausführlichen Begründung der gewählten Auswahlantwort auffordern, beinhalten die Aufgaben nicht nur ein produktorientiertes, sondern auch ein prozessorientiertes Element. Da sie dazu anregen sollen, Vorstellungen zu begründen und Denkwege offen zu legen, liegt der Schwerpunkt eindeutig auf dem, „was im Kopf der Schüler stattfindet“.

Im Rahmen einer Nutzung derartiger Diagnoseaufgaben zur Initiierung von Argumentations- und Konzeptentwicklungsprozessen gewinnen die Fragestellungen endgültig den Charakter einer Lernaufgabe. Hier stehen die Kommunikation und Kooperation der Schüler im Vordergrund. Der Verlauf des Diskussionsprozesses ist offen; die Denkwege und Strategien der Schüler,

um zu einer Einigung zu gelangen, können sehr unterschiedlich verlaufen.

Die Frage „Was ist eine gute Aufgabe?“ beantworten Büchter und Leuders mit „Das kommt darauf an!“. Kapitel 3.2 und 3.3 beschreiben exemplarisch die Entwicklung einer Aufgabe zur Diagnose von Schülervorstellungen und geben eine Übersicht über Kriterien, die eine solche Aufgabe erfüllen sollte.

Tab. 1: Kennzeichen von Aufgaben zur Diagnose von Schülervorstellungen im Vergleich zu Aufgabencharakteristika nach Büchter und Leuders (2006)

Aufgaben für das Leisten	Aufgaben für das Lernen	Aufgaben zur Diagnose von Vorstellungen
Leistungserwartung/-erleben	Neugier, Entdecken	Bewusstwerden von Vorstellungen
Fehler vermeiden	Fehler als Chance	„Fehler“ als Chance
Äußerer Anlass	Aufforderungscharakter	Aufforderungscharakter
Einzelleistung und Auswertbarkeit	Kooperation und Kommunikation	Einzelleistung und Auswertbarkeit
Produktorientiert	Prozessorientiert	Prozess- und produktorientiert
„Wichtig ist, was Schüler aus ihren Kompetenzen machen.“	„Wichtig ist, was im Kopf der Schüler stattfindet.“	„Wichtig ist, was im Kopf der Schüler stattfindet.“

3 Entwicklung von Multiple-Choice-Aufgaben zur Exploration von Vorstellungen

Folgt man der konstruktivistischen Sichtweise, dass Lerner ihr Wissen individuell konstruieren, müssen Konzeptveränderungen an den Vorstellungen des einzelnen Lerners ansetzen. Eine Thematisierung von in der Literatur beschriebenen Schülervorstellungen im Unterricht ist daher wenig Erfolg versprechend, solange die Schüler keinen Zusammenhang zu ihren persönlichen Vorstellungen erkennen. Es fehlt ein Instrument, das es Schülern ermöglicht, sich eigener Vorstellungen bewusst zu werden

und Lehrkräften hilft, die tatsächlich bestehenden Vorstellungen ihrer Lerngruppe zu erkennen. Die Konzeption „choice2learn“ beruht auf der Idee, *Multiple-Choice-Aufgaben* zu diesem Zweck einzusetzen.

Doch wie gelangt man zu adäquaten Aufgaben? Der Versuch, Multiple-Choice-Aufgaben mit eigenen Antwortalternativen zu kreieren, kann leicht scheitern – etwa weil die Formulierungen nicht dem Sprachgebrauch der Lernenden entsprechen oder weil die Vorstellungen der Schüler nicht durch die gegebenen Alternativen erfasst werden. Damit sind bereits zwei Kriterien zur Gestaltung „guter“ Multiple-Choice-Aufgaben benannt.

Im Folgenden wird ein Verfahren zur Generierung von Multiple-Choice-Aufgaben beschrieben, die im Rahmen der Konzeption „choice2learn“ verwendet werden sollen. Das Verfahren wird am Beispiel einer Studie mit 15785 Schülern illustriert, in der Aufgaben zum Themenfeld *Elektrochemie* konzipiert wurden (Marohn, 1999, Marohn & Schmidt, 2003, 2004, Schmidt, Marohn & Harrison, 2007). Die folgenden Abschnitte beschreiben anhand eines Aufgabenbeispiels zum Aspekt „Stromfluss in wässrigen Lösungen“, in welcher Weise Multiple-Choice-Aufgaben zur Diagnose von Lernervorstellungen entwickelt werden können und welche Kriterien sie erfüllen sollten. Die relevanten Ergebnisse der Studie im Hinblick auf die Entwicklung der „choice2learn“-Konzeption werden unter 3.4 zusammengefasst. Das gewählte Aufgabenbeispiel wird im Rahmen der Vorerprobung der Konzeption (Kapitel 4.3 und 4.4) wieder aufgegriffen.

3.1 Design

Die Studie verfolgte zwei Ziele: häufig auftretende Schülervorstellungen im Bereich der Elektrochemie zu erforschen und geeignete Aufgaben zur Identifizierung dieser Vorstellungen zu entwickeln, deren Auswahlantworten die ermittelten „typischen“ Schülervorstellungen widerspiegeln.

Die Entwicklung von Multiple-Choice-Aufgaben setzt ein zyklisches Untersuchungsdesign voraus, um eine schrittweise Annäherung an die Lernervorstellungen (Gott & Johnson, 1996) und eine Weiterentwicklung von Fragestellungen zu ermöglichen. Das Ziel, häufig auftretende Vorstellungen zu identifizieren, erfordert zudem eine große Zahl an Probanden aus unterschiedlichen Lerngruppen. Die Studie umfasste daher fünf aufeinander aufbauende schriftliche Erhebungen mit Schülern des gesamten Bundesgebiets (Marohn, 1999).

In jeder Erhebung wurden 120 Aufgaben zu sechs verschiedenen Themenfeldern (eines davon Elektrochemie) eingesetzt.

Jeder Schüler erhielt einen Satz aus sechs Aufgaben. Dieser wurde ergänzt durch einen Fragebogen zu persönlichen Daten (Schulart, Jahrgangsstufe, Grund-/Leistungskurs, Geschlecht, letzte Chemienote) sowie ein Anschreiben, das die Schüler über die Zielsetzung der Studie aufklärte und sie bat, ihre Antworten möglichst ausführlich zu begründen.

Die Zusammenstellung der Aufgabensätze erfolgte mit Hilfe eines Programms, das zufällig eine Fragestellung aus jedem der sechs Themenfelder auswählte und innerhalb des Satzes positionierte. Auf diese Weise wurde jede Aufgabe mit annähernd gleicher Häufigkeit erprobt. Zudem konnte durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Aufgabensätze ein „Abschreiben“ der Schüler weitgehend ausgeschlossen werden.

Jeweils 25 Aufgabensätze wurden zu einem Klassensatz zusammengestellt. Die Klassensätze wurden pro Erhebung an 500 zufällig ausgewählte Chemielehrer im Bundesgebiet versendet, mit der Bitte, diese in ihren Chemiekursen der Jahrgangsstufen 11-13 einzusetzen. Die Bearbeitung erfolgte in Einzelarbeit im Verlauf einer Schulstunde, ohne Verwendung von Hilfsmitteln. Eine Vorbereitung der Schüler durch gezielte Wiederholungen von Fachinhalten sollte nicht stattfinden. Da eine Aufgabe im Schnitt nur 1,25 mal pro Klassensatz eingesetzt wurde, konnte jede Aufgabe an Schülern unterschiedlicher Lerngruppen aus ganz Deutschland erprobt werden. Auf diese Weise war es möglich, Vorstellungen von Schülern mit unterschiedlichem „Lernhintergrund“ (Unterricht durch verschiedene Lehrkräfte) zu ermitteln.

Nach Rücksendung der Aufgabensätze wurden die bearbeiteten Bögen zu jeder Aufgabe zunächst nach den gegebenen Antworten der Schüler sortiert (z.B. „Elektronen“), anschließend innerhalb der Antworten gemäß der gegebenen Begründungen kategorisiert (z.B. „Hinweis auf Definition im Physikunterricht“). Die Auswertung erfolgte durch zwei unabhängige Personen; unterschiedliche Zuordnungen wurden im anschließenden Gespräch geklärt. Antwort-

ten, Begründungen und persönliche Schülerdaten wurden anonymisiert erfasst und quantifiziert. Zu jeder Begründung wurden Beispielaussagen festgehalten (z.B. „In der Lösung fließen Elektronen, weil wir im Physikunterricht gelernt haben, dass Stromfluss = Elektronenfluss ist.“).

Im Verlauf der fünf Erhebungen nahmen insgesamt 15785 Schüler aus 1052 unterschiedlichen Lerngruppen teil.

3.2 Aufgabenentwicklung

Der Entwicklung erster Fragestellungen gingen verschiedene Untersuchungen voraus (Marohn, 1999): Durch eine *Curricula-Analyse* wurden Unterrichtsinhalte und verwendete Fachbegriffe des Themenfeldes identifiziert. Im Rahmen einer *Fachlichen Klärung* wurden Darstellungen dieser Inhalte in anerkannter Fachliteratur in Bezug auf die darin enthaltenen Vorstellungen bzw. mögliche Unterschiede analysiert. Da *Schulbücher* von Lehrkräften als vorrangiges Mittel zur Unterrichtsvorbereitung eingesetzt werden

(Beerenwinkel, 2006), wurden die in hoher Auflage erscheinenden Schulbücher im Hinblick auf die zuvor identifizierten Inhalte und Fachbegriffe untersucht, um Hinweise auf die Art der Vermittlung und mögliche lernhinderliche Darstellungen zu erhalten. Eine *Metaanalyse bereits veröffentlichter Studien* sowie eine Durchsicht der Ergebnisse von 200 Prüfungsaufgaben britischer und amerikanischer *Examination Boards* lieferten Informationen über bereits identifizierte Lernervorstellungen. Durch einen wechselseitigen Vergleich aller erhaltenen Informationen konnten erste Aufgaben gestaltet werden, die in der Regel keine Auswahlantworten vorgaben.

Ein Beispiel bildet Aufgabe 1 (Anhang 1). Diese wurde von 315 Schülern bearbeitet. Trotz der unterschiedlichen „Lernhintergründe“ ließen sich nur wenige Antworten unterscheiden: Ionen (67%), Elektronen (19%), Protonen (4%) und Moleküle (3%). Weitere 7% entfielen auf unbearbeitete Fragebögen oder nur einmal genannte Antworten wie „Teilchen“, „Zucker“ oder Salz“. Das Antwortmuster machte es möglich, eine Mul-

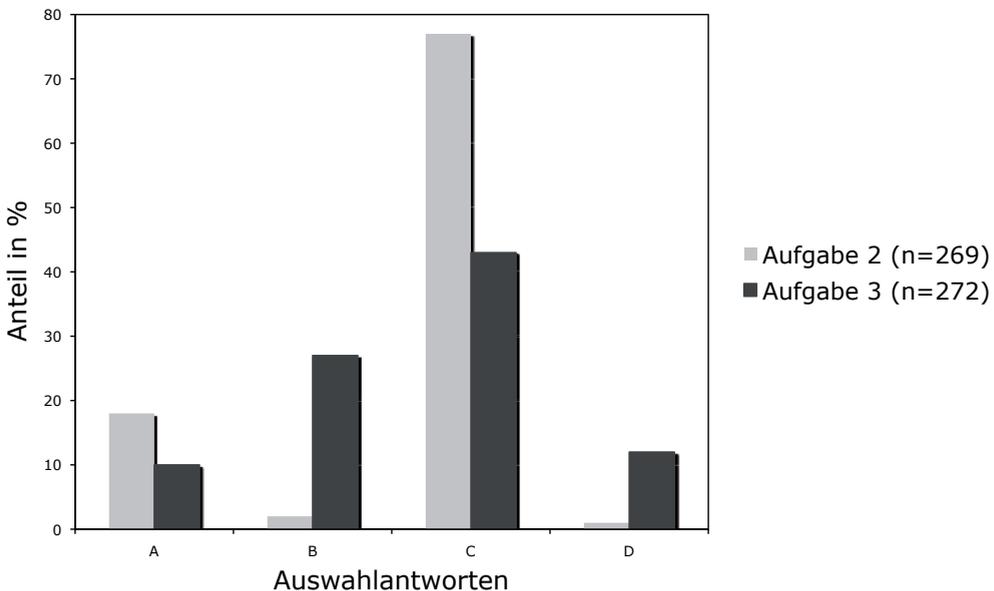


Abb.1: Antwortmuster zu Aufgabe 2 und Aufgabe 3 der schriftlichen Erhebung (Schüler der Jgst.11 bis 13)

multiple-choice-Aufgabe zu formulieren, die die häufigsten Antworten als Distraktoren aufgreift (Anhang 1, Aufgabe 2). Die Erprobung von Aufgabe 2 in der nachfolgenden Erhebung führte dazu, dass die Schüler ihre Vorstellungen vom Stromfluss differenzierter beschrieben. Die Ausführungen zeigten, dass sich hinter der Wahl der Antwort „Ionen“ zu 50% die Vorstellung verbirgt, Ionen dienen dazu, Elektronen („den Strom“) durch die Lösung zu transportieren. Die Schüler beschrieben dabei zwei unterschiedliche Mechanismen des Elektronentransports (Marohn, 1999, Marohn & Schmidt 2004, Schmidt, Marohn & Harrison 2007). Offenbar differenzieren die Auswahlantworten von Aufgabe 2 nicht ausreichend zwischen wissenschaftlich gültigen und alternativen Vorstellungen. Die Fragestellung wurde daher in der nachfolgenden Erprobung derart abgewandelt, dass die Auswahlantworten zwischen der gültigen Vorstellung (entgegen gerichtete Ionenbewegung) und den von den Schülern beschriebenen Mechanismen unterscheiden (Anhang 1, Aufgabe 3). Durch die Erprobung von Aufgabe 3 im nachfolgenden Untersuchungszyklus konnte geprüft werden, ob und wie viele Schüler sich trotz der „angebotenen“ wissenschaftlichen Beschreibung des Ladungstransports für eine der alternativen Antworten entscheiden. Obwohl es sich bei dem Aspekt „Stromfluss in wässrigen Lösungen“ um einen Inhalt des Mittelstufenunterrichts handelt, wählten insgesamt 49% der Schüler einen der Distraktoren (Abb.1). Die Vorstellungen vom Elektronenfluss bzw. Elektronentransport haben sich demnach in vielen Fällen gegenüber der gültigen Vorstellung behauptet. Die Begründungen der Schüler boten zudem Einblick in ihre Denkwege. Dabei bestätigte sich die unter 2.1 beschriebene gedankliche Verknüpfung des Stromflusses mit einer einzigen Bewegungsrichtung (Beispielaussage: „Antwort 3 beschreibt zwei Fortbewegungsrichtungen. Der Strom kann aber immer nur in eine Richtung fließen.“ Jgst.12, Grundkurs).

Die Ergebnisse jeder Multiple-Choice-Aufgabe wurden auf unterschiedliche Weise überprüft: durch Variation der Aufgabenstellung (z.B. Vorgabe konkreter Elektrolytlösungen), durch Einbindung des Fachinhalts in andere thematische Zusammenhänge (z.B. Stromfluss in galvanischen Zellen), durch die erneute Erprobung einer Aufgabe in weiteren Erhebungen und damit in anderen Lerngruppen sowie durch den Einsatz problemzentrierter Interviews (Marohn 1999, Burger, 2000).

3.3 Aufgabenkriterien

Die entwickelten Multiple-Choice-Aufgaben sollen es ermöglichen, alternative Vorstellungen anhand der gewählten Distraktoren zu identifizieren, zu quantifizieren und auf ihre „Stabilität“ gegenüber der wissenschaftlich gültigen Antwort zu prüfen. Im Hinblick auf diese Zielsetzungen müssen die Aufgaben derart ausdifferenziert sein, dass jede Auswahlantwort nur eine Vorstellung repräsentiert. So sollten Schüler nicht – wie in Aufgabe 2 – aufgrund von alternativen Vorstellungen zur wissenschaftlich gültigen Lösung gelangen können. Die Auswahlantworten müssen zudem voneinander unabhängig sein und sich gegenseitig ausschließen. Darüber hinaus darf die Aufgabe keine Anhaltspunkte enthalten, die auf eine Lösung hindeuten oder zum Ausschluss bestimmter Auswahlantworten führen, ohne dass eine inhaltliche Auseinandersetzung mit der Fragestellung notwendig wird. Ein solcher Hinweis kann die außergewöhnliche Länge oder Konstruktion einer Auswahlantwort sein oder auch der Gebrauch „verdächtiger“ Wörter wie *immer*, *sehr* oder *nie*. Tabelle 2 fasst die entwickelten und unter Marohn (1999) und Marohn & Schmidt (2003) beschriebenen Aufgabenkriterien zusammen. Aufgabe 3 erfüllt die genannten Kriterien in hohem Maße. Sie beinhaltet darüber hinaus die in Tabelle 1 aufgeführten Kennzeichen einer Diagnoseaufgabe. Da sie – neben dem produktorientierten Antwortteil

- die Aufforderung enthält, die gewählte Antwort möglichst ausführlich zu begründen, umfasst sie auch ein prozessorientiertes Element, das Einblick in die Denkwege der Schüler und die Ursachen von Vorstellungen liefert.

Tab. 2: Aufgabenkriterien nach Marohn (1999) und Marohn & Schmidt (2003)

Kriterien für eine Multiple-Choice-Aufgabe zur Diagnose von Schülervorstellungen:
<ul style="list-style-type: none"> • Die Fragestellung beruht auf einem einzelnen Problem. • Es existiert eine eindeutige Lösung. • Die Distraktoren wurden durch eine analoge offene Aufgabe empirisch ermittelt. • Jeder Distraktor repräsentiert nur eine Vorstellung. • Die „richtige“ Lösung repräsentiert nur die wissenschaftlich gültige Vorstellung. • Die Anzahl der Auswahlantworten ist überschaubar (ca. drei bis fünf). • Die Auswahlantworten sind voneinander unabhängig und schließen sich gegenseitig aus. • Die Auswahlantworten sind bezüglich Länge, Konstruktion und Sprache in etwa vergleichbar. • „Verdächtige“ Wörter wie „immer“ oder „nur“ werden vermieden. • Das verwendete Vokabular ist einfach und vertraut.

3.4 Ergebnisse im Hinblick auf die Konzeption „choice2learn“

Im Verlauf der Studie konnten 44 alternative Vorstellungen im Bereich der Elektrochemie aufgezeigt und 25 Multiple-Choice-Aufgaben entwickelt werden (Marohn, 1999, Schmidt, Marohn & Harrison 2007). Die Entwicklung von Multiple-Choice-Aufgaben war möglich, weil sich die Antworten der Schüler in den erprobten offenen Fragestellungen auf nur wenige Aussagen konzentrierten (siehe Abschnitt 3.2, Aufgabe 1). Obwohl die Probanden von einer Vielzahl unterschiedlicher Lehrkräfte unterrichtet wurden, hatten sie offenbar „vergleichbare“ Vorstellungen verinnerlicht (Marohn, 1999). Die Begründungen der Schüler machten deutlich, dass dies auf ähnliche lebensweltliche und unterrichtliche Erfahrungen zurückgeht (z.B. die Bewegungsrichtung eines Flusses; die Definition des elektrischen Stroms im Physikunterricht).

Im Hinblick auf die Entwicklung einer Konzeption zum Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht bedeutet dies, dass sich die scheinbar unüberschaubare Vielzahl situierter Konzepte – für bestimmte Aufgabenstellungen – auf ein überschaubares und prognostizierbares Maß reduziert. Da die Aufgaben an einer großen Zahl an Probanden unterschiedlicher Lerngruppen erprobt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass die meisten Schüler einer Lerngruppe bei einem späteren Unterrichtseinsatz ihre Vorstellungen in den gebildeten Distraktoren wiederfinden werden. Die Aufgaben eröffnen Lehrkräften somit eine einfache und zeitsparende Möglichkeit, sich einen ersten Einblick in Konzepte und Denkwege der eigenen Lerngruppe zu verschaffen. Neben dem Faktor „Zeitersparnis in der Auswertung“ bieten Multiple-Choice-Aufgaben einen weiteren Vorteil gegenüber offenen Fragestellungen: Sie erfordern einen Entscheidungsprozess und damit eine Abwä-

gung von alternativen und wissenschaftlich gültigen Antworten. Auf diese Weise können Vorstellungen identifiziert werden, die sich im Vergleich mit den gültigen Konzepten behaupten und daher für den Lernprozess von besonderer Bedeutung sind. Die Abwägung zwischen verschiedenen Auswahlantworten erfordert zudem eine gedankliche Auseinandersetzung mit der Fragestellung und kann zu einer Bewusstwerdung eigener Vorstellungen beitragen.

Durch die Erprobung der Fragestellungen in den höheren Schuljahrgängen 11 bis 13 war es möglich, Vorstellungen zu ermitteln, die trotz vorangegangener Vermittlung eines Fachinhalts auftraten (Marohn, 1999). Der Aspekt „Stromfluss in wässrigen Lösungen“ bildet hierfür ein Beispiel. Dies bedeutet, dass die Multiple-Choice-Aufgaben nicht nur während der Erarbeitung eines Fachinhalts, sondern auch im Rückblick auf einen Unterrichtsinhalt eingesetzt werden können. Im Blick auf die „choice2learn“-Konzeption bilden die Fragestellungen somit ein zeitlich variabel verwendbares Instrument.

Gegenüber dem Einsatz von Multiple-Choice-Aufgaben kann zu Recht eingewendet werden, dass die Antwortmöglichkeiten durch die Vorgabe von Distraktoren eingeschränkt sind. Auch wenn die Zahl der abweichenden Antworten in den erprobten Fragestellungen gering war, ist es möglich, dass einzelne Schüler ihre Vorstellungen nicht in den Auswahlantworten wiederfinden. Um diesen Schülern gerecht zu werden, kann die Fragestellung derart abgewandelt werden, dass offen bleibt, ob die gegebenen Auswahlantworten bereits das wissenschaftlich gültige Konzept enthalten. In diesem Fall werden die Auswahlantworten durch einen „freien Distraktor“ ergänzt, der es den Schülern erlaubt, eine eigenständige, von den vorgegebenen Auswahlantworten abweichende Antwort zu formulieren.

4 Die Konzeption „choice2learn“

4.1 Vorüberlegungen und Anforderungen

So wie Schülervorstellungen nicht einfach ausgetauscht werden können, können auch Lehrerperspektiven auf Unterricht nicht von heute auf morgen ersetzt werden. Die Implementierung eines Unterrichtskonzeptes sollte daher an vertrauten Bereichen ansetzen und zunächst nur geringe Veränderungen notwendig machen (Northfield, Gunstone & Erickson, 1996). Eine „praktikable“ Konzeption sollte somit nicht darauf abzielen, dass Lehrkräfte ihren vertrauten Unterrichtsgang bei der Vermittlung bestimmter fachlicher Inhalte vollständig umstellen müssen. Sie soll vielmehr ein variabel einsetzbares Instrument darstellen, das an vertraute Methoden anknüpft und fertige Materialien zur Verfügung stellt.

Die zweite Anforderung an die Entwicklung einer Konzeption beruht auf der Erfahrung, dass zahlreiche Vorstellungen auch nach dem Unterricht noch vorhanden sind (Duit, 1995). Konzeptwechselprozesse sollten daher auf die Veränderung dieser „harträckigen“ Vorstellungen zielen.

Dritter Ansatzpunkt ist die Beobachtung, dass Konzeptwechseltheorien zwar die Bedeutung des eigenständigen Lernens hervorheben, die Rolle des Lehrers jedoch in vielen konstruktivistischen Ansätzen dominant bleibt. Dies wird auch bei der Beschreibung der Phasen des konstruktivistischen Referenzmodells für Lehr-Lern-Sequenzen augenfällig (Widodo & Duit, 2005): Die Lehrkraft *erläutert, erklärt, konfrontiert, bittet nachzudenken, hält Rückschau, fordert auf*. Im Gegensatz dazu soll die hier beschriebene Konzeption das eigenständige Lernen stärker betonen. Gerade im Hinblick auf ein offenes Lernklima, in dem Schüler ohne Angst vor Bewertungen Vorstellungen verbalisieren können, scheint eine besondere Zurückhaltung der Lehrkraft angezeigt.

Den vierten Anknüpfungspunkt bildet die unter 2.2 beschriebene Annahme, dass die Kontrastierung von Standpunkten im Rah-

men von Gruppenprozessen die individuelle kognitive Entwicklung fördert. Die Konzeption möchte daher einen diskursiven Austausch über eine Fragestellung ermöglichen.

Wie unter 3.4 beschrieben bilden die entwickelten Multiple-Choice-Aufgaben aus mehreren Gründen einen sinnvollen Ausgangspunkt für Konzeptveränderungen: Sie sind ein zeitökonomisches Diagnoseinstrument; sie bieten die Möglichkeit der Bewusstwerdung eigener Vorstellungen und damit der Stärkung metakonzeptueller Kompetenzen; sie fokussieren aufgrund der eng gefassten Fragestellungen auf ein „überschaubares Maß“ an Vorstellungen; sie zielen auf die zitierten „hartnäckigen“ Vorstellungen, die trotz vorangegangener Behandlung eines Fachinhalts beobachtet werden können und sind damit – zeitlich variabel – auch im Rahmen einer rückblickenden Vertiefung einsetzbar.

Da Multiple-Choice-Aufgaben aufgrund der konträren Auswahlantworten zudem ein polarisierendes Element beinhalten, stellt sich die Frage, ob sie über die Funktion der Bewusstmachung von Vorstellungen hinaus geeignet sind, Diskussionsprozesse und vielleicht sogar Veränderungen von Vorstellungen zu initiieren. Zu diesem Zweck wurde Aufgabe 3 in acht Lerngruppen der Jahrgangsstufen 11 bis 13 eingesetzt. Aufgabe der Schüler war es, sich in Kleingruppen über die Auswahlantworten auszutauschen, den eigenen Standpunkt zu begründen und sich – wenn möglich – auf eine Antwort zu einigen. Die Erprobung zeigte zwei Schwierigkeiten auf: In sechs Kleingruppen kam der Gesprächsprozess sehr schnell zum Erliegen, da die Gruppenmitglieder von Beginn an gleiche Positionen vertraten. Eine verbesserte Konzeption erfordert daher optimierte Gruppenzusammenstellungen. In den übrigen 20 Kleingruppen war zwar ein reger diskursiver Austausch zu beobachten, allerdings waren nur 11 Gruppen in der Lage, eine Strategie zu entwickeln, um die Frage für sich zu klären und zu einer Einigung zu gelangen. Diese Gruppen fertigten z.B. Zeichnungen elek-

trochemischer Zellen an und „spielten“ die verschiedenen Versionen des Stromflusses modellhaft an diesen Beispielen durch. Um es allen Gruppen zu ermöglichen, eigene Vorstellungen weiterzuentwickeln und eine Fragestellung zu klären, sind offenbar zusätzliche Impulse notwendig.

Erfahrungen mit dem Einsatz von Fragestellungen zur Initiierung von Argumentationsprozessen werden von Osborne, Simon & Eduran (2004a,b) beschrieben. Die vorgestellten Materialien beinhalten im Blick auf die hier angedachte Konzeption einige „Nachteile“: Die vorgegebenen Distraktoren wurden nicht empirisch ermittelt, sondern von Lehrern und Didaktikern als „plausible“ Antwortmöglichkeiten entwickelt; sie beschreiben damit nicht notwendigerweise die häufigsten und aus Schülersicht tatsächlich plausiblen Vorstellungen. Zudem findet die Gruppenzusammensetzung keine Berücksichtigung. Demgegenüber möchte das hier vorgestellte Verfahren durch die Positionierungsphase und die Gruppenzusammenstellung (Kapitel 4.2) sicherstellen, dass die Schüler im Verlauf der Diskussionen tatsächlich eigene Vorstellungen repräsentieren und im diskursiven Austausch „verteidigen“.

Ein zweiter Unterschied zur Studie von Osborne et al. (2004a,b) liegt darin, dass die Argumentationen der Schüler zwar durch die Vorgabe von „Evidenzen“ gestützt, nicht jedoch durch vielfältige Lernimpulse begleitet werden. Demgegenüber soll die entwickelte Konzeption möglichst unterschiedliche Anreize für Konzeptentwicklungen oder kognitive Konflikte bieten. Im Hinblick auf die geforderte Eigenständigkeit der Schüler sollen die Impulse nicht im Verlauf eines Unterrichtsgesprächs gesetzt, sondern von den Schülern selbstständig im Rahmen der Gruppendiskussionen hinzugezogen werden können.

4.2 Phasen der Konzeption

Die Konzeption „choice2learn“ gliedert sich in verschiedene Phasen:

Kontextualisierung: Da Conceptual-Change-Ansätze die Berücksichtigung von Lernbedürfnissen und die Bedeutung lebensweltlicher Erfahrungen betonen, wird die Multiple-Choice-Aufgabe in einen möglichst alltagsnahen Kontext eingebunden. Dieser Kontext kann sowohl im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs thematisiert, als auch der Fragestellung schriftlich vorangestellt werden.

Positionierung: Diese Phase dient der Bewusstwerdung eigener Vorstellungen. Zu diesem Zweck wird die Multiple-Choice-Aufgabe zunächst in Einzelarbeit bearbeitet. Neben der Bewusstwerdung der eigenen Position zu der bearbeiteten Fragestellung werden die Schüler durch den Begründungsteil der Aufgabe dazu angeregt, die Hintergründe ihres Standpunktes zu reflektieren und erste Begründungen zu formulieren. Damit die Bearbeitung der Aufgaben in Bezug auf die Lehrkraft anonym bleibt, werden die Aufgabenzettel mit einer Codierung versehen. Durch die Anonymisierung soll von Beginn der Unterrichtseinheit an signalisiert werden, dass es nicht um die Kontrolle von Wissensdefiziten geht, sondern um die Initiierung von Lern- und Verstehensprozessen. Dies ist im Hinblick auf ein unbelastetes Lernklima entscheidend.

Polarisierung: Anhand der gewählten Distraktoren und Codierungen werden die Schüler anschließend derart zu Kleingruppen zusammengefasst, dass „Repräsentanten“ unterschiedlicher Auswahlantworten miteinander ins Gespräch kommen. Die Gruppen bestimmen einen Diskussionsleiter, der auf die Einhaltung der Regeln achtet und den Diskussionsverlauf in der Reflexionsphase vorstellt. Im Rahmen der ersten „Polarisierungsphase“ legt zunächst jeder Schüler seinen Standpunkt dar und versucht ihn zu begründen. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Vorstellungen aller Schüler eingebracht werden.

Argumentation und Diskurs: Diese Phase dient dazu, die verschiedenen Vorstellungen gegeneinander abzuwägen, d.h. auf ihre „Brauchbarkeit“ und Grenzen zu überprüfen. Dazu soll auf alle Überlegungen Bezug genommen werden, indem diese entweder weitergedacht oder Argumente dagegen angeführt werden. Als Strukturierungshilfe dient ein tabellarischer Begleitbogen, in den Argumente für oder gegen ein Konzept eingetragen werden können. Ziel der Diskussion ist es, sich – wenn möglich – auf einen Standpunkt zu einigen. Durch diese Zielsetzung wird gefördert, dass Schüler die verschiedenen Argumentationen bewerten und eine Strategie entwickeln, wie der Sachverhalt *geklärt* werden kann. Im Idealfall wird die Phase hier soweit geöffnet, dass Schüler auch experimentelle Wege gehen können, um Sachverhalte zu klären. Dies erfordert allerdings einen größeren Zeitrahmen als die anvisierte Doppelstunde.

Um zu verhindern, dass sich Schüler in dieser Phase ohne weitere Überlegungen dem Standpunkt eines Gruppenmitglieds anschließen (etwa weil sie diesem die größere Expertise zutrauen), soll im Rahmen der späteren Reflexionsphase nicht einfach das *Gruppenergebnis* präsentiert, sondern der *Einigungsprozess* beschrieben werden. Auf diese Weise wird ein positives Signal gesetzt, dass jede eingebrachte Überlegung wichtig ist, unabhängig davon, zu welchem Ergebnis die Gruppe gelangt. Die gestellte Aufgabe ist somit – im Sinne eines kooperativen Lernens (Cohen, 1994) – nur zu lösen, wenn jedes Gruppenmitglied eigene Beiträge einbringt.

Lernimpulsphase: Wie unter 4.1 beschrieben, gelingt es nicht allen Schülern ohne weitere Hilfestellungen, Argumentationen bzw. Strategien zur Klärung des Sachverhalts zu entwickeln. Zur Unterstützung des Diskussionsprozesses werden daher Lernmaterialien bereitgestellt, die Impulse für den weiteren Gesprächsverlauf setzen sollen. Da die inhaltliche Auseinandersetzung mit den einzelnen Materialien in den Gruppen

unterschiedlich lang dauern kann, können die Gruppen die Zeitpunkte selbst bestimmen, an denen sie die nachfolgenden Materialien hinzuziehen; die Reihenfolge der Lernmaterialien ist dabei vorgegeben. Da empirisch bislang nicht geklärt ist, welche Mittel tatsächlich am besten geeignet sind, Konzeptentwicklungen zu fördern, sollen möglichst verschiedenartige Lernimpulse gesetzt werden.

Die Materialien können Modelle, Sachinformationen, Fragen, aber auch einfache Experimente umfassen. In die Gestaltung der Impulse fließen Erkenntnisse der schriftlichen Erhebungen sowie der kognitionslinguistischen Betrachtung von Begriffen mit ein. Als Kriterium für die Konzeption der Lernmaterialien gilt, dass sich Widersprüche oder auch stützende Aussagen zu einzelnen Auswahlantworten aus ihnen ableiten lassen, ohne dass diese jedoch zu offensichtlich erkennbar sind. Die Materialien dienen vielmehr als Impulse, die von den Schülern selbstständig in Beziehung zu den Auswahlantworten gesetzt werden müssen. Dadurch soll eine tiefere Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Vorstellungen gefördert und eine Konzeptentwicklung in Richtung auf das wissenschaftlich gültige Konzept initiiert werden. Bezüglich des Anforderungs- und Wissensniveaus sollen die Lernimpulse in etwa dem entsprechen, was die Schüler aufgrund ihres Kenntnisstandes auch ohne Anleitung leisten könnten (vgl. 4.3).

Reflexion und Klärung: Nach Beendigung der Gruppenarbeitsphasen werden Diskussionsverlauf und Ergebnis von den Diskussionsleitern im Plenum vorgestellt. Unterschiedliche Interpretationen und offene Fragen werden geklärt; die wissenschaftlich gültige Vorstellung im gemeinsamen Austausch gesichert.

Anwendung: Die Schüler bearbeiten in Partnerarbeit eine Fragestellung, die die wissenschaftlich gültige Vorstellung in einen anderen Kontext einbindet. Sinn der Partnerarbeit ist es, einen Austausch zu ermöglichen,

ohne zu sehr von eigenen Überlegungen abzulenken. Die Schüler werden aufgefordert, ihr Ergebnis mit ihrer Bearbeitung der ersten Aufgabe zu vergleichen. Auf diese Weise soll eine mögliche Änderung des eigenen Konzepts bewusst werden.

Die Konzeption fokussiert auf kleine Zeiteinheiten von üblicherweise einer Doppelstunde. In welchen Jahrgängen eine Fragestellung eingesetzt werden kann, hängt vom thematisierten Fachinhalt und den unterrichtlichen Voraussetzungen einer Lerngruppe ab. Ob eine Lerngruppe entsprechende fachliche Vorkenntnisse mitbringt, um sich sinnvoll mit einer Fragestellung auseinanderzusetzen zu können, muss demnach von der Lehrkraft im Einzelfall beurteilt werden. Die Schüler sollten in jedem Fall mit grundlegenden naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen vertraut sein. Von einem Einsatz im ersten Unterrichtsjahr Chemie ist daher abzuraten.

Die Tabellen 3 und 4 beschreiben zusammenfassend die Phasen sowie die wesentlichen Kennzeichen der Konzeption.

4.3 Materialbeispiel

Anhang 2 beinhaltet den zu Aufgabe 3 entwickelten Kontext sowie sechs Lernmaterialien. Anhang 3 gibt die Struktur des Argumentationsbogens wieder, in den die Kleingruppen Argumente für bzw. gegen eine Auswahlantwort eintragen und bewerten können.

Bei der Gestaltung der Lernimpulse wurden die unter 4.1 und 4.2 entwickelten Kriterien berücksichtigt. Die Materialien beinhalten eine möglichst große Vielfalt unterschiedlicher Impulse; darunter ein Experiment, ein Modell, an dem die verschiedenen Mechanismen des Stromflusses erprobt werden können sowie Sachinformationen, die helfen, alternative Vorstellungen anhand des Modells auszuschließen. Der zweite Lernimpuls (Modell) greift die unter 4.1 beschriebene Beobachtung auf, dass Schüler Zeichnungen elektrochemischer Zellen anfertigten, um die verschiedenen Leitungs-

Tab. 3: Phasen der Konzeption

Phasen der Konzeption „choice2learn“	
Kontextualisierung	Unterrichtsgespräch oder Anbindung an die Aufgabe
Positionierung	Einzelarbeit
Polarisierung Argumentation / Diskurs Lernimpulsphase	Kleingruppenarbeit
Reflexion / Klärung	Unterrichtsgespräch
Anwendung	Partnerarbeit

Tab. 4: Charakteristika der Konzeption

Charakteristika der Konzeption „choice2learn“
<ul style="list-style-type: none"> • Förderung metakonzeptuellen Bewusstseins durch Nutzung empirisch entwickelter Multiple-Choice-Aufgaben • Einbindung der Multiple-Choice-Aufgaben in alltagsnahe Kontexte • Nutzung der Aufgaben zur Initiierung von Diskussions- und Konzeptentwicklungsprozessen • Unterstützung des Diskussionsprozesses durch vielfältige Lernimpulse (Experiment, Modell, Sachinformation, Frage, ...) • Schaffung verschiedener Anlässe für kognitive Konflikte (Widerspruch zu Vorstellungen bzw. Argumentationen von Mitschülern; - zu wissenschaftlich gültigem Konzept; - zu Experimentalergebnis; - zu Sachinformation) • Ermöglichung von <i>evolutionären</i> und <i>revolutionären</i> Veränderungen von Vorstellungen (Kapitel 4.4) • Ausgeglichenheit zwischen eigenständigem Lernen und Impulssetzung • Betonung kooperativen Lernens • Schaffung einer Lernatmosphäre ohne Bewertungsdruck • Förderung kommunikativer / argumentativer Kompetenzen • Förderung einzelner Elemente naturwissenschaftlichen Arbeitens (Bewerten von Fakten und Argumentationen; Finden einer Lösestrategie zur Klärung der Fragestellung) • „Anwendung“ und Sicherung von Konzepten in verschiedenen Fragestellungen • Fokussierung auf <i>elementare</i> Vorstellungen (Kapitel 4.5)

mechanismen in der Lösung zu diskutieren. Das Anforderungsniveau des Impulses entspricht somit dem, was Schüler auch ohne Anleitung leisten können. Lernimpuls 5 beruht auf den unter 3.2 beschriebenen Ergebnissen der schriftlichen Erhebung sowie der kognitionslinguistischen Analyse des Wortes Flusses (gedankliche Verknüpfung mit einer einzigen Fließrichtung von A nach B; Kapitel 2.1). Durch den Lernimpuls soll eine vergleichende Abgrenzung der Begriffe „Fluss“ und „Stromfluss“ angeregt werden. Der Impuls zielt somit auf einen bewussteren Umgang mit Alltags- und Wissenschaftssprache. Die Lernimpulse werden ergänzt durch eine offene Frage zum Stromfluss in einer galvanischen Zelle (ohne Abb.), die am Ende der Doppelstunde im Rahmen der Anwendungsphase bearbeitet wird. Sie dient dazu, das Konzept des Stromflusses auf einen anderen Kontext anzuwenden und sich einer möglichen Änderung der eigenen Vorstellung bewusst zu werden.

4.4 Vorerprobung

Um einen ersten Einblick in die „Funktionalität“ der Konzeption zu erhalten, wurden die beschriebenen Materialien im Rahmen einer Feldstudie an 43 Kleingruppen (bestehend aus 4 bis 6 Schülern) vorerprobt. Die Kleingruppen wurden aus 10 Lerngruppen der Jahrgangsstufen 9 bis 12 zweier nordrhein-westfälischer Gymnasien gebildet. Alle Lerngruppen hatten seit dem 7. Schuljahr Chemieunterricht (mit Unterbrechung im 8. Schuljahr). In den Jahrgängen 10 bis 12 war der Aspekt „Stromfluss in wässrigen Lösungen“ bereits zu einem früheren Zeitpunkt behandelt worden; in den beiden Lerngruppen des 9. Jahrgangs wurde zuvor die Zusammensetzung von Salzlösungen, nicht jedoch der Leitungsmechanismus in wässrigen Lösungen thematisiert.

Ziel der Vorerprobung war nicht die systematische Auswertung von Gesprächsprozessen. Die Erprobung war vielmehr durch drei Fragestellungen geleitet: Erweist sich

die Konzeption als praktikabel (im Zeitrahmen einer Doppelstunde durchführbar)? Lassen sich tatsächlich Gesprächsprozesse initiieren? Gibt es Anzeichen, dass Schüler Vorstellungen verändern?

Als Hinweise zur Klärung der Fragen dienen die Bearbeitung von Aufgabe 3 im Rahmen der Positionierungsphase (Abb. 2) sowie die Auswertung der Argumentationsbögen (Anhang 3). Zudem wurde acht Wochen nach Erprobung der Konzeption ein Test durchgeführt, in dem neben Aufgabe 3 auch die offen formulierte Aufgabe 4 eingesetzt wurde (Anhang 1). In dieser Fragestellung soll der Stromfluss am Beispiel einer vorgegebenen Elektrolytlösung beschrieben werden. Die Gesprächsprozesse wurden in jeder Lerngruppe durch eine außen stehende Person sowie durch eine Lehrkraft und zwei Referendare beobachtet, die den Lerngruppen aus dem Unterricht vertraut waren. Ein Schwerpunkt der Beobachtung lag auf der Frage, ob und zu welchem Zeitpunkt Schüler ihre ursprüngliche Position wechseln.

In allen Lerngruppen wurde der Zeitrahmen eingehalten, in drei Lerngruppen endete die Erprobung bereits deutlich vor dem Ende der Doppelstunde. Die Zuordnung der Schüler zu Kleingruppen anhand der gewählten Distraktoren nahm nur wenige Minuten in Anspruch. In jeder Gruppe waren mindestens drei unterschiedliche Positionen „vertreten“.

Die Einzelbearbeitung von Aufgabe 3 zu Beginn der Doppelstunde zeigt, dass die empirisch entwickelten Auswahlantworten in allen Lerngruppen „greifen“ (Abb.2): Nach Jahrgang entscheiden sich nur zwischen 20% und 38% der Schüler für die wissenschaftlich gültige Lösung „C“. Im 9. Jahrgang dominiert die Vorstellung von einem Fluss freier Elektronen. In den Jahrgängen 10 bis 12 bildet – wie schon in der schriftlichen Erhebung – Antwort „B“ den Hauptdistraktor.

Anhang 3 gibt die Art und Anzahl der Argumente wieder, die in den 43 Argumentationsbögen am häufigsten aufgeführt werden. Die Auflistung zeigt, dass es einer Vielzahl von Gruppen gelingt, Begrün-

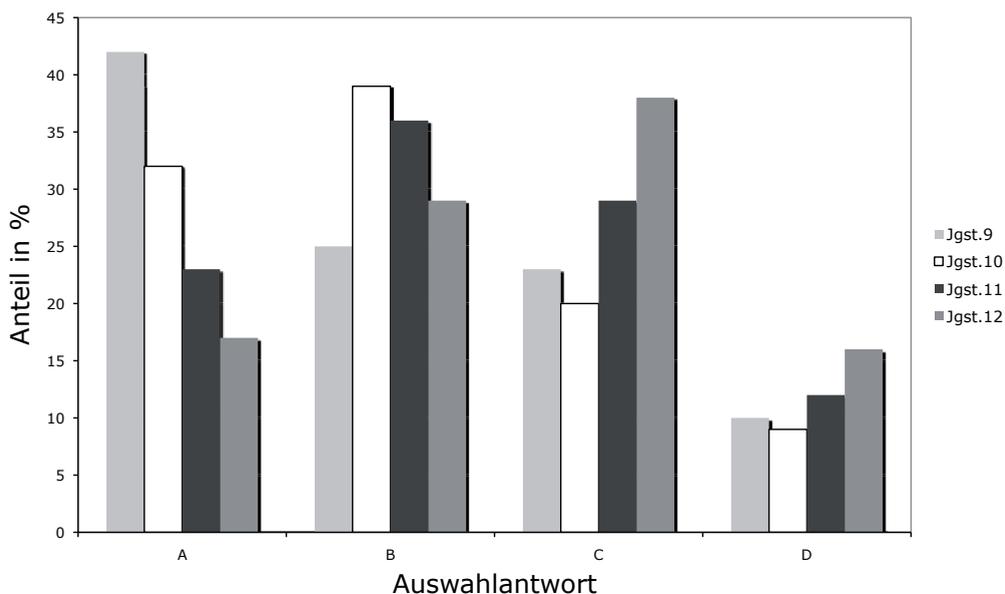


Abb.2: Antwortmuster zu Aufgabe 3 (Positionierungsphase)

dungen für bzw. gegen einzelne Auswahlantworten zusammenzutragen und Überlegungen aus den Lernimpulsen abzuleiten. Dies stimmt mit den Beobachtungen der Gruppen überein. Nur in vier Kleingruppen der Jahrgänge 9 bis 11 kam kein länger andauernder Gesprächsprozess zustande. 19 Kleingruppen entwickelten bereits im Rahmen der Argumentationsphase eine Strategie zur Klärung der Fragestellung, indem sie sich konkrete Elektrolytlösungen überlegten oder Papierkügelchen zur Darstellung von Teilchenbewegungen zu Hilfe nahmen. 39 Gruppen einigten sich am Ende der Lernimpulsphase auf die wissenschaftlich gültige Lösung C.

Die Beobachtung der Diskussionsprozesse ließ unterschiedliche Gesprächsverläufe erkennen: Einige Schüler wechselten aufgrund der Erkenntnis, dass nur ionische Lösungen den Strom leiten, sehr abrupt ihre Position von Auswahlantwort A zu Antwort C, die ihnen aufgrund der gegenseitigen Anziehung ungleichnamiger Ladungen plausibel erschien. Manche Gruppen sammelten und bewerteten systematisch und kleinschrittig

alle Begründungen und Erkenntnisse aus den Lernimpulsen und kamen erst in einer abschließenden Bewertung aller Informationen zu einer neuen Positionierung. Andere zogen mehrfach „Zwischenbilanz“, wobei einige Schüler zwischenzeitlich zu Antwort B tendierten, gegen Ende jedoch der wissenschaftlich gültigen Lösung zuneigten. Einzelne Schüler wiederum entwickelten ihr Konzept nur um einen ersten Schritt im Blick auf die wissenschaftlich gültige Vorstellung weiter, indem sie annahmen, dass der elektrische Strom „doch mit den Ionen zu tun haben muss.“ Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Konzeption unterschiedliche Wege der Veränderung von Vorstellungen ermöglicht; sie beinhaltet damit sowohl *evolutionäre* als auch *revolutionäre* Komponenten.

Da die beobachtenden Lehrkräfte die Lerngruppen kannten, konnte ein besonderes Augenmerk auf die Rolle leistungsstarker Schüler im Gruppenprozess gelegt werden. Es wurde deutlich, dass Schüler mit höherer Expertise (bessere Chemienote, Kenntnis der wissenschaftlich gültigen Lösung) nicht

zwingend das Kleingruppengespräch dominierten, da es ihnen oftmals schwer fiel, Begründungen wie die vom *geschlossenen Stromkreis* (Anhang 3) zu widerlegen. Die Auswertung der Argumentationsbögen stützt diese Beobachtung: Viele Begründungen zu alternativen Auswahlantworten werden von den Gruppen mehrheitlich als „starke“ Argumente eingestuft (Anhang 3). Die Konzeption scheint somit auch Schülern mit geringerer Expertise die Möglichkeit zu eröffnen, ihre Überlegungen als „starke“ Beiträge zu erleben.

Abb.3 stellt die Ergebnisse der Positionierungsphase und des acht Wochen später durchgeführten Tests gegenüber. Demnach hat sich die Zahl der Schüler, die den Stromfluss als entgegen gerichtete Bewegung von Ionen beschreiben, in allen Lerngruppen deutlich erhöht.

Die Ergebnisse und Beobachtungen der Vorerprobung sind als erste Hinweise auf ein „Funktionieren“ der Konzeption zu wer-

ten, die zur Validierung von „choice2learn“ beitragen. In welcher Weise die Konzeption – auch im Vergleich zu anderen Ansätzen – eine Veränderung von Vorstellungen bewirkt, bleibt im Verlauf des Forschungsprojekts zu klären.

4.5 Kriterien für den Einsatz der Konzeption

Die Entwicklung einer Konzeption erfordert Aussagen darüber, an welchen Stellen ein Einsatz sinnvoll erscheint. Welche Vorstellungen sind für den Unterricht derart *elementar*, dass sie eine besondere Aufmerksamkeit und intensive Aufarbeitung „lohn“? Diese Fragestellung soll nicht implizieren, man könne zwischen wichtigen und weniger wichtigen Lernervorstellungen unterscheiden. Die Tatsache, dass allein im Themenfeld „Elektrochemie“ 44 Vorstellungen aufgezeigt werden konnten, macht

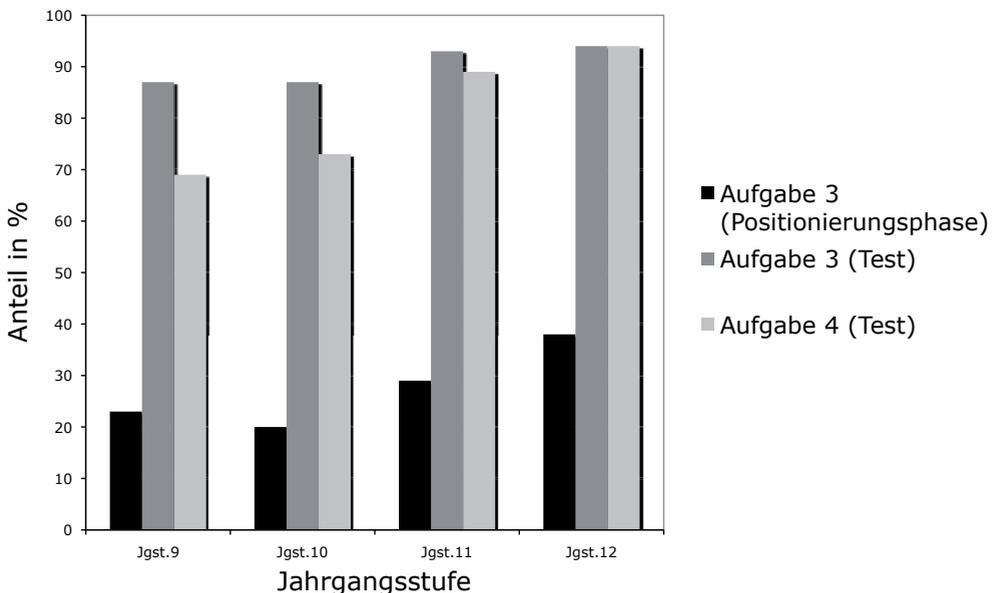


Abb.3: Anteil der Schüler, die den Stromfluss als entgegen gerichtete Bewegung von Ionen beschreiben (in der Positionierungsphase; in einem Test, acht Wochen nach Durchführung der Konzeption)

jedoch deutlich, dass nicht alle empirisch erhobenen Vorstellungen gleichermaßen im Unterricht thematisiert werden können. Das inhaltliche Kriterium „Bezug zu einem zentralen Themenfeld des Chemieunterrichts“ muss offenbar schärfer ausdifferenziert werden, um Vorstellungen zu identifizieren, auf die im Unterricht ein besonderes Augenmerk gelegt werden sollte.

Im Hinblick auf die Entwicklung weiterer Aufgaben und Lernmaterialien wurde daher ein Kriterienkatalog erstellt, der neben inhaltlichen Kriterien auch die in Kapitel 3 genannten Aspekte „Häufigkeit“ und „Stabilität“ berücksichtigt. Da Conceptual-Change-Ansätze die Bedeutung von „persönlich bedeutsamen Kontexten“, „authentischen Situationen“ und „Lernerbedürfnissen“ betonen (Kapitel 2.2), wird zudem die Lernerperspektive in den Kriterienkatalog einbezogen.

Fachinhaltliche Kriterien zur Identifizierung elementarer Vorstellungen:

Die Bildungsstandards für das Fach Chemie (KMK, 2005) definieren vier Basiskonzepte, um die fachwissenschaftlichen Inhalte zu strukturieren: das Stoff-Teilchen-Konzept, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, die chemische Reaktion und energetische Betrachtungen bei Stoffumwandlungen. Es läge nahe, Vorstellungen als *elementar* zu charakterisieren, die für das Verstehen der Basiskonzepte von Bedeutung sind oder dieses Verstehen behindern. Eine solche Definition erweist sich jedoch aus zwei Gründen als zu wenig ausdifferenziert:

Zum einen lassen sich sämtliche Fachinhalte des Chemieunterrichts (mindestens) einem Basiskonzept zuordnen. Die „Bandbreite“ an Inhalten, die ein Basiskonzept umfasst, ist somit immens groß. Gleiches gilt für die Zahl an Vorstellungen, die sich auf diese Fachinhalte beziehen. Die Suche nach Vorstellungen zu bestimmten Basiskonzepten würde somit kaum zu einer Eingrenzung auf *elementare* Vorstellungen führen.

Zum anderen zeigen Ergebnisse der Vorstellungsforschung, dass sich Schülervorstellungen nicht in gleicher Weise katego-

risieren lassen wie Fachinhalte. Untersucht man etwa Lernervorstellungen zum Aspekt „Löslichkeit von Alkanen“, so fällt dies aus fachlicher Sicht in den Bereich des Basiskonzepts „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“. Deuten Schüler den Lösevorgang jedoch als chemische Reaktion, so bezieht sich diese Vorstellung in gleicher Weise auf das Verständnis des Basiskonzepts „chemische Reaktion“. Eine einfache Zuordnung von beobachteten Schülervorstellungen zu einzelnen Basiskonzepten ist somit nicht immer möglich. Die Zuordnung einer Vorstellung (Lösevorgang = chemische Reaktion) zum *Fachinhalt* (Lösevorgang) bleibt dagegen eindeutig. Das erste Kriterium stellt daher einen etwas differenzierteren Bezug zu den Fachinhalten und Basiskonzepten her, um Vorstellungen als *elementar* zu charakterisieren: „*Bezug zu einem Fachinhalt, der im Verlauf des Unterrichts fortlaufend vertieft wird und als typisch für die Erarbeitung eines Teilkonzepts aus dem Bereich der Basiskonzepte angesehen werden kann.*“

Auch wenn eine Vorstellung das genannte Kriterium erfüllt, ist es denkbar, dass sie nur in einem einzigen Kontext (z.B. Lösen von Zucker in Wasser) beobachtet werden kann. Für den Unterricht ist eine Vorstellung jedoch umso bedeutsamer, wenn sie sich auf Lernprozesse in möglichst vielfältigen Bereichen auswirkt – sich also in mehreren Kontexten bestätigt (z.B. auch beim Lösen von Salzen in Wasser) oder sogar in unterschiedlichen Inhaltsbereichen auftritt (z.B. sowohl beim Lösen als auch beim Schmelzen von Stoffen). Als weiteres Kriterium zur Identifizierung *elementarer* Vorstellungen gilt daher das „*Auftreten bzw. Auswirken in mehreren Kontexten oder Inhaltsbereichen*“.

„Statistische“ Kriterien zur Identifizierung elementarer Vorstellungen:

Für den Unterricht erweisen sich Vorstellungen gerade dann als bedeutsam, wenn sie die Lernprozesse *vieler* Schüler *nachhaltig* beeinflussen. Diese Formulierung beinhaltet zwei Kriterien: die „*Häufigkeit des Auftretens*“ und die „*Stabilität*“ einer

Vorstellung. Eine Vorstellung soll als „stabil“ bezeichnet werden, wenn Schüler trotz vorangegangener unterrichtlicher Behandlung eines Fachinhalts an ihrer Vorstellung festhalten und wenn sich diese Vorstellung auch bei Konfrontation mit dem wissenschaftlich gültigen Konzept (z.B. im Rahmen einer Multiple-Choice-Aufgabe) behauptet.

Die „statistischen“ Kriterien bilden für sich allein kein ausreichendes Kennzeichen für die Identifizierung elementarer Vorstellungen; schließlich kann sich eine häufig auftretende und stabile Vorstellung auf einen für den Unterricht unbedeutsamen Inhalt beziehen. Die statistischen Kriterien sind daher stets im Zusammenhang mit den aufgeführten inhaltlichen Kriterien zu betrachten.

Lernerorientierte Kriterien zur Identifizierung elementarer Vorstellungen:

Neben der Frage, welche Vorstellungen sich in Bezug auf *Fachinhalte* als elementar erweisen, kann auch die Frage gestellt werden, welche Vorstellungen aus *Perspektive der Lerner* als bedeutsam empfunden werden. So sind etwa Vorstellungen zum Stromfluss in wässrigen Lösungen aus fachlicher Sicht relevant, weil sie Einfluss auf Lernprozesse

in unterschiedlichen Kontexten haben (z.B. Batterien, Brennstoffzellen, Elektrolysen); sie können jedoch aus der Perspektive eines Schülers als unwichtig erachtet werden, weil sie sich nicht auf persönlich bedeutsame Inhalte beziehen. Da das Erleben von Bedeutsamkeit individuell verschieden sein kann, ist es schwierig, derartige Inhalte allgemeingültig zu benennen. Ein Kriterium kann die „*Bedeutung für das Verstehen lebensweltlicher Phänomene*“ sein. Den Conceptual-Change-Ansätzen folgend bildet der Bezug zu persönlich bedeutsamen und „authentischen“ Kontexten eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Konzeptveränderungen.

5 Ausblick

Aus den Ausführungen ergeben sich zwei Forschungsfragen: I) Welche im oben definierten Sinne *elementaren* Vorstellungen lassen sich in verschiedenen naturwissenschaftlichen Themenfeldern identifizieren? II) In welcher Weise fördert der Einsatz von lernimpulsgestützten Multiple-Choice-Aufgaben im Rahmen der coice2learn-Konzeption eine Änderung von Vorstellungen?

Tab. 5: Kriterien zur Identifizierung elementarer Vorstellungen

Kriterien zur Identifizierung <i>elementarer</i> Vorstellungen:
<p><i>Fachinhaltliche Kriterien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bezug zu einem Fachinhalt, der im Verlauf des Unterrichts fortlaufend vertieft wird und als typisch für die Erarbeitung eines Teilkonzepts aus dem Bereich der Basiskonzepte angesehen werden kann • Auftreten bzw. Auswirken in mehreren Kontexten oder Inhaltsbereichen <p><i>Statistische Kriterien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Häufigkeit • Stabilität <p><i>Lernerorientierte Kriterien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung für das Verstehen lebensweltlicher Phänomene

Zur Klärung der ersten Fragestellung wurde eine weitere schriftliche Erhebung durchgeführt. In dieser wurden 69 Aufgaben erprobt, um *elementare* Vorstellungen in den Bereichen *Lösungen*, *Aggregatzustandsänderungen*, *Intermolekulare Kräfte* und *Energieumsatz* zu ermitteln. Teilnehmer der Studie waren 2283 Schüler der Jahrgangsstufen 11 bis 13 aus 132 Chemiekursen (101 Schulen) in Niedersachsen. Das unter 3.1 beschriebene Studiendesign wurde dabei insofern abgewandelt, dass nicht nur einzelne Aufgaben ausgewertet, sondern auch Argumentationsstrategien von Schülern durch mehrere Fragestellungen hinweg erforscht werden konnten. Neben der Identifizierung *elementarer* Vorstellungen ist es Ziel der Studie, geeignete Aufgaben für die Konzeption „choice2learn“ zu entwickeln und durch die Begründungen der Schüler Hinweise auf die Gestaltung von Lernimpulsen zu gewinnen.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage sind zwei Studien geplant: In einer Vergleichsstudie im Pre-Post-Test-Design soll untersucht werden, wie der Einsatz von lernimpuls-gestützten Multiple-Choice-Aufgaben im Vergleich zu Konzeptwechsellisten Konzeptentwicklungen fördert. Zu diesem Zweck sollen Texte zu *elementaren* Vorstellungen formuliert werden, die die Rahmenkriterien für das Design von Konzeptwechsellisten nach Beerenwinkel (2006) erfüllen.

Daneben soll in einer explorativen Studie der Zusammenhang zwischen Konzeptentwicklung und Argumentation im Rahmen der Konzeption näher erforscht werden. Durch diese Studie sollen unter anderem Erkenntnisse über den Einfluss der unterschiedlichen Lernimpulse auf die Konzeptentwicklung gewonnen werden. Die Ergebnisse sollen zur Entwicklung und Optimierung weiterer Lernmaterialien beitragen.

Literatur

- Beerenwinkel, A. (2006). *Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts*. Wuppertal, Elektronische Dissertation.
- Böttger, K., Großmann, S., Mietk, D., Piontkowsky, D., Schönebaum, J., Schukowski, B. et al. (o.J.). *Kooperatives Lernen*. Studienarbeit. Berlin: Humboldt-Universität http://hupsy03.psychologie.hu-berlin.de/arbpsy/studenten/boettger_%20u_a/instru1.htm (Stand: 28.02.08).
- Büchter, A. & Leuders T. (2006). Was ist eine gute Aufgabe? - Das kommt darauf an! *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 8(55), 9-15.
- Burger, N. (2000). *Vorstellungen von Schülern über Elektrochemie – eine Interviewstudie*. Universität Dortmund: Dissertation.
- Caravita, S. & Halldén, O. (1994). Reframing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R.N. Giere (Eds.), *Cognitive models of science* (pp. 129-186). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Cibis, S. (2006). *Die Behandlung von Aggregatzustandsänderungen im Chemieunterricht – Konzepte, Schwierigkeiten, Lösungsansätze*. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung. Universität Hannover (unveröffentlicht).
- Cohen, E.G. (1994). Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups. *Review of Educational Research*, 64, 1-35.
- Collins, A., Brown, J.S. & Newman, S.E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L.B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational Researcher*, 19(3), 2-10.
- Dillenbourg, B., Baker, M., Blaye, A. & O'Malley, C. (1995). The evolution research in collaborative learning. In: E. Spada, & P. Reimann (Eds.), *Learning in humans and machines* (pp. 189-211). Amsterdam: Pergamon Press.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr-Lern-Forschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905-926.

- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of chemical education*, 76, 548-553.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Gilbert, J.K., Justi, R., van Driel, J.H., Jong, O. de & Treagust, D.F. (2004). Securing a future of chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 5-14.
- Gott, R. & Johnson, P. (1996). Constructivism and Evidence from children's Ideas. In: H.-J. Schmidt (Ed.), *Proceedings of the International Symposium: Educational Research on Chemistry and Physics Education*. Hong Kong: International Council of Associations for Science Education.
- Gropengießer, H. (1999). Was die Sprache über unsere Vorstellungen sagt. Kognitionslinguistische Analyse als Methode zur Erfassung von Vorstellungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(2), 57-77.
- Häußler, P. & Lind, G. (1998). *Weiterentwicklung der Aufgabekultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, 1-51.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. & Jessell, T.M. (2000). *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill.
- Kelly, G.A. (1963). *A theory of personality. A psychology of personal constructs*. New York, London: Norton & Company.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In H. Vogt & D. Krüger (Eds.), *Handbuch der Theorien in der biomedizinischen Forschung* (pp. 81-92). Berlin: Springer Verlag.
- Labbé (o.J.). *zzzebra. Das Web-Magazin für Kinder*. <http://www.labbe.de/zzzebra/index.asp?thema=684&titelid=5491> (Stand: 28.02.08)
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Marohn, A. (1999). *Falschvorstellungen von Schülern in der Elektrochemie – eine empirische Untersuchung*. Universität Dortmund: Dissertation.
- Marohn, A. & Schmidt, H.-J. (2003). Mehrfachwahlaufgaben als Instrument zur Erforschung von Schülervorstellungen – zur Methodik der Entwicklung einer Mehrfachwahlaufgabe zum Aspekt ‚Stromfluss in wässrigen Lösungen‘. *Chimica didactica*, 29(91), 38-51.
- Marohn, A. & Schmidt, H.-J. (2004). Was bewegt sich hier? – Schülervorstellungen zum Ladungstransport in elektrochemischen Zellen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(2), 86-91.
- Northfield J., Gunstone R. & Erickson G. (1996). A constructivist Perspective on Science Teacher Education. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 201-211). New York: Teachers College Press.
- Osborne, J.F., Simon, S. & Eduran, S. (2004a). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Osborne, J.F., Simon, S. & Eduran, S. (2004b). *Ideas, Evidence & Argument in Science. Resources Pack*. London: King's College London, 1-65.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W. & Boyle, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception. Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (pp. 603-646). Weinheim: Beltz.
- Roth, G. (1997). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Schmidt, H.-J., Marohn, A. & Harrison, A.G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 258-283.
- Schnotz, W. (2006). Conceptual Change. In D. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 77-82). Weinheim: Beltz.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Ed.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik (Chemie/Biologie) für den mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.

- Spiro, R., Feltovich, P.J., Jacobson, M.J. & Coulson, R.L. (1992). Cognitive flexibility, constructivism and hypertext. In T.M. Duffy & D.H. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the technology of instruction* (pp. 57-75). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Taylor, P. & Fraser, B. (1991). *Development of an instrument for assessing constructivist learning environments*. Roundtable at the annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 51-67.
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 232-254.
- Widodo, A. & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 131-146.

Kontakt

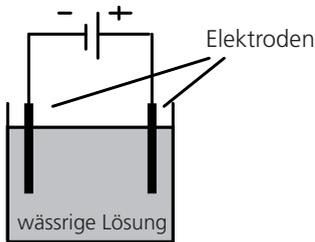
Dr. Annette Marohn
Leibniz Universität Hannover
Didaktik der Chemie
Bismarckstraße 2
30173 Hannover
Telefon: 0511 / 762 - 8566
marohn@chemiedidaktik.uni-hannover.de

Autoreninformation

Dr. Annette Marohn ist Juniorprofessorin für Didaktik der Chemie an der Leibniz Universität Hannover. Nach ihrer Promotion an der Universität Dortmund im Jahr 1999 war sie einige Jahre als Lehrerin an einem nordrhein-westfälischen Gymnasium tätig. Der Fokus ihrer Forschungstätigkeit liegt im Bereich der empirischen Lehr-Lern-Forschung mit den thematischen Schwerpunkten Lernervorstellungen, Konzeptentwicklung und Argumentation.

Anhang 1: Aufgaben

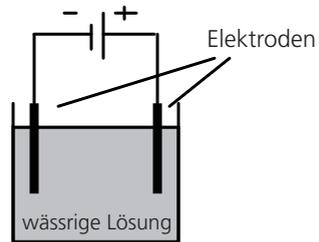
Aufgabe 1



Welche Teilchen muss eine wässrige Lösung enthalten, damit sie den elektrischen Strom leitet?

Bitte begründen Sie Ihre Antwort ausführlich!

Aufgabe 2

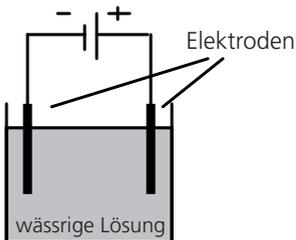


Welche Teilchen muss eine wässrige Lösung enthalten, damit sie den elektrischen Strom leitet?

- [A] Elektronen
- [B] Protonen
- [C] Ionen
- [D] Moleküle

Bitte begründen Sie Ihre Antwort ausführlich!

Aufgabe 3

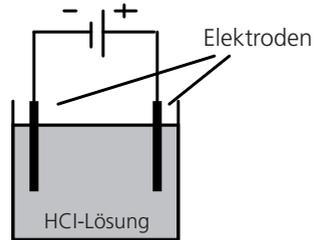


Welche der folgenden Aussagen beschreibt den Stromfluss in der wässrigen Lösung?

- [A] Elektronen bewegen sich von einer Elektrode zur anderen Elektrode durch die Lösung.
- [B] Ionen nehmen Elektronen an einer Elektrode auf und transportieren diese zur anderen Elektrode durch die Lösung.
- [C] Positive und negative Ionen bewegen sich in entgegengesetzter Richtung durch die Lösung.
- [D] Elektronen werden von einem Ion zum nächsten durch die Lösung weitergereicht.

Bitte begründen Sie Ihre Antwort ausführlich!

Aufgabe 4



Beschreiben Sie den Stromfluss in der verdünnten Salzsäure!

Bitte begründen Sie Ihre Antwort ausführlich!

Anhang 2: Kontext und Lernmaterialien zu Aufgabe 3

Kontext

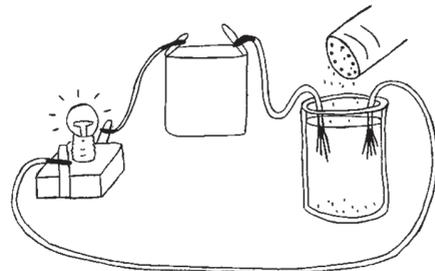
Anna hat das teure Badesalz ihrer Mutter stibitzt und es sich in der Badewanne gemütlich gemacht. Da in einer Viertelstunde ihr Lieblingskrimi im Fernsehen beginnt, beschließt sie, sich schon einmal die Haare zu föhnen. Doch als sie den neuen Föhn aus dem Karton herausholt, fällt ihr das aufgedruckte Warnsymbol ins Auge:



„Stimmt“, denkt sie, „das soll man ja eigentlich nicht machen.“ Es steht sogar in der Bedienungsanleitung:

„Achtung Stromschlaggefahr! Das Gerät nicht nass werden lassen oder in der Nähe einer gefüllten Badewanne, einer Dusche oder über einem gefüllten Waschbecken benutzen.“

Leitet das Badewasser denn wirklich den elektrischen Strom? Das lässt sich in einem Modellexperiment überprüfen (der Einfachheit halber benutzen wir dazu eine Batterie, also Gleichstrom):



(Abb. nach Labbé)

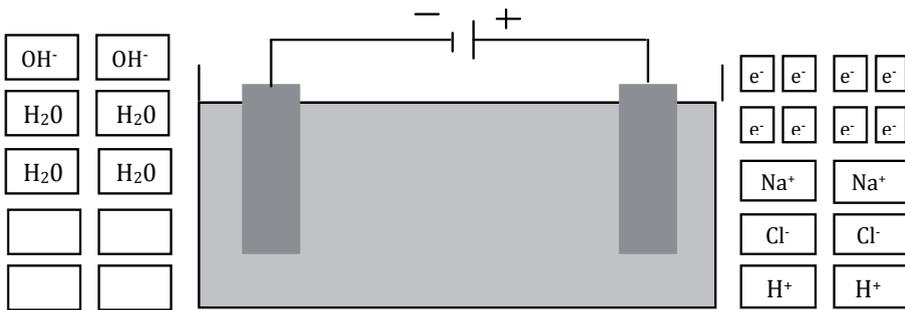
Tatsächlich: das Lämpchen leuchtet. Doch wie „kommt“ der Strom durch das Badewasser?

Lernimpuls 1

Leiten alle Lösungen den elektrischen Strom? Wenn Ihr die Frage nicht beantworten könnt, testet die Leitfähigkeit von Essig, Zuckerwasser und gelöstem Natron mit Hilfe der beiliegenden Materialien!

Worin liegen Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede der genannten Lösungen?

Was bedeutet das Ergebnis im Hinblick auf Aufgabe 3?

Lernimpuls 2

Schneidet die Kärtchen aus und testet die verschiedenen Beschreibungen des Stromflusses anhand des Modells! Die leeren Kärtchen könnt Ihr selbst beschriften.

Lernimpuls 3

Natrium (Na) ist ein weiches, an frisch geschnittener Oberfläche silbrig glänzendes Metall. Es reagiert ausgesprochen heftig und unter Freisetzung von Wärme mit Wasser. Dabei bildet sich Wasserstoff und Natronlauge. Damit es nicht mit der Luftfeuchtigkeit reagiert, wird es unter Petroleum aufbewahrt.

Wasserstoff (H₂) ist bei Raumtemperatur ein farb- und geruchloses Gas. Im Gegensatz zu anderen Gasen wie etwa Kohlenstoffdioxid besitzt Wasserstoff nur eine geringe Löslichkeit in Wasser.

Überlegt anhand der gegebenen Informationen, ob die Na⁺- bzw. H⁺-Ionen der Natriumchloridlösung (Lernimpuls 2) Elektronen durch die Lösung „transportieren“ bzw. „weiterreichen“ können.

Lernimpuls 4

Lässt man Gleichstrom durch eine Natriumchloridlösung fließen (Lernimpuls 2), dann beobachtet man an beiden Elektroden die Bildung von Gasbläschen.

An der mit dem Minuspol verbundenen Elektrode bildet sich Wasserstoff:



An der mit dem Pluspol verbundenen Elektrode bildet sich Chlor:



Überprüft anhand der gegebenen Informationen erneut die Gültigkeit der Auswahlantworten [B] und [D].

Lernimpuls 5

Versucht, eine allgemein gültige Definition des elektrischen Stromflusses zu formulieren.

Ist ein „normaler“ Fluss (wie z.B. der Rhein) ein anschauliches Bild, um sich elektrischen Strom vorzustellen?

Anwendungsphase

(nach Bearbeitung einer offenen Fragestellung zum Stromfluss in einer galvanischen Zelle)

Vergleiche die von Dir bearbeiteten Aufgaben. Hat sich Deine Vorstellung vom Stromfluss geändert?

Anhang 3: Ausgeteilter Argumentationsbogen (mit Beispielaufgaben der Schüler)

Argument	spricht für die Auswahlantwort(en):	spricht gegen die Auswahlantwort(en):	Bewertung des Arguments (stark +, mittel 0, schwach -)
<i>Stromkreis muss geschlossen sein → Elektronen aus dem Kabel müssen durch die Lösung weiter fließen</i>	A, B, D	C	+

Häufigste Argumente der Schüler in der Vorerprobung

(N = Anzahl an Bögen, in denen das Argument genannt wird; B = Anzahl an Bögen, in denen das Argument als „starkes“ Argument bewertet wird; Gesamtzahl der Bögen = 43)

Argument	N	B
Argumentationsphase:		
<i>Plus und Minus ziehen sich an / positive Ionen wandern zur negativen, negative Ionen zur positiven Elektrode</i>	39	38
<i>Stromfluss ist Bewegung von Elektronen (Definition aus Physikunterricht)</i>	35	30
<i>Elektronen wandern von Minus nach Plus / vom Elektronenüberschuss zum Elektronenmangel / werden vom Minuspol abgestoßen, vom Pluspol angezogen</i>	34	32
<i>Elektronen können nicht frei in einer Lösung existieren / sich nicht ohne Hilfe in einer Lösung bewegen</i>	30	27
<i>Der Stromkreis muss geschlossen sein → Elektronen aus dem Kabel müssen durch die Lösung weiter fließen</i>	27	25
<i>Der Strom kann nicht in zwei Richtungen fließen</i>	25	21
<i>Nur Lösungen, die Ionen enthalten, leiten Strom</i>	23	23
<i>Negative Ionen wandern zum Pluspol und geben dort ein Elektron ab</i>	18	18
<i>Positive Ionen wandern zum Minuspol und nehmen dort ein Elektron auf</i>	18	18
<i>Negative Ionen können keine Elektronen aufnehmen / transportieren</i>	14	12
<i>Wenn ein positives Ion ein Elektron aufnimmt, wird es neutral und kann nicht mehr von einer Elektrode angezogen werden</i>	11	9
<i>Positive Ionen nehmen am Minuspol Elektronen auf → werden abgestoßen / wandern zum Pluspol → geben die Elektronen wieder ab</i>	8	3
Lernimpulsphase:		
<i>Cl⁻-Ionen, OH⁻-Ionen können keine Elektronen aufnehmen (sind bereits negativ)</i>	35	35
<i>Würden Na⁺-Ionen Elektronen aufnehmen, würden sie Natrium bilden und mit Wasser reagieren → können keine Elektronen transportieren</i>	32	29
<i>Würden H⁺-Ionen Elektronen aufnehmen, würden sie zu Wasserstoffgas → dies würde aufsteigen → können keine Elektronen transportieren</i>	32	29
<i>Elektronen werden am Minuspol verbraucht ($2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$); können also nicht durch die Lösung fließen</i>	23	20
<i>Wassermoleküle können keine Elektronen aufnehmen (es gibt keine negativen H₂O-Teilchen)</i>	22	18
<i>Nur Lösungen, die Ionen enthalten, leiten Strom</i>	14	14
<i>Wenn ein positives Ion ein Elektron aufnimmt, wird es neutral und kann nicht mehr von einer Elektrode angezogen werden</i>	12	9
<i>Wenn Stromfluss Elektronenfluss wäre, müsste auch Zuckerlösung Strom leiten</i>	11	10
<i>Cl⁻-Ionen geben Elektronen ab; diese wandern durch die Lösung zum Pluspol</i>	8	2