

Der Einsatz von Modellen zum Erkenntnisgewinn

Eine Unterrichtseinheit zur Förderung der Modellkompetenz im Kontext „Batterie“ unter explizitem Einbezug von Schülervorstellungen

Ira Caspari,*^[a] Gisela Weber-Peukert und Nicole Graulich

Zusammenfassung: Die Modellkompetenz bedarf als Standbein der Erkenntnisgewinnung einer gezielten Förderung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Angelehnt an ein Modell der Modellkompetenz aus der Biologiedidaktik liefert die hier skizzierte Unterrichtskonzeption ein praxiserprobtes Beispiel, wie dies im Chemieunterricht umgesetzt werden kann. Ausgehend von phänomenologischen Betrachtungen des Leitungsmechanismus im Elektrolyten und der chemischen Abläufe in handelsüblichen Batterien entwickeln Lernende eigene Modelle, denen alternative Schülervorstellungen und -konzepte zugrunde liegen. Darauf basierend stellen die Lernenden Hypothesen über das jeweilige Original auf. Durch das experimentelle Überprüfen können schülereigene Hypothesen und Modelle und gleichzeitig die zugrunde liegenden Vorstellungen bestätigt oder falsifiziert und geändert werden. So gelingt es in dieser Unterrichtskonzeption, die Förderung der Modellkompetenz und den Umgang mit Schülervorstellungen lernförderlich zu kombinieren.

Stichworte: Batterie · Modellkompetenz · Schülervorstellungen

Using models in scientific inquiry learning – fostering model competence in the context “battery” including students’ alternative conceptions

Abstract: Model competence is an essential part of scientific inquiry that must be fostered purposefully in science education. The teaching concept presented in this article offers a practical example of how a framework for model competence in biology education can be applied in chemistry classes. Students are engaged in creating their own models based on phenomenological observations of the conduction mechanism in an electrolyte and chemical processes in commercial batteries. Students’ alternative conceptions are often incorporated in this process. Based on these models students develop hypotheses about the corresponding original. Testing these hypotheses experimentally confirms, falsifies and changes students’ models and their respective conceptions. Consequently, this teaching concept provides the opportunity to promote model competence and refine conceptions simultaneously.

Keywords: battery · model competence · students’ conceptions

1. Einleitung

Die Beziehung zwischen einer Uhrbatterie und ihrem Modell besteht darin, dass „sie die gleiche Sache zeigen“. Man erkennt, dass eine Redoxreaktion stattfindet, denn „eine Redoxreaktion läuft immer mit dem Oxid eines Metalls und einem einfachen Metall ab, es entsteht immer ein neues Oxid“. Modelle dienen dazu, dass „man Einzelheiten besser sehen kann, die man bei dem Original nicht gut erkennen kann“. So wird beispielsweise im Modell deutlicher, dass im Elektrolyten der Batterie „Elektronen durch das Wasser fließen“.

Diese Zitate stammen aus den Diagnoseergebnissen der Versuchsgruppe (Jahrgangstufe 10, G8) vor Beginn der in diesem Beitrag geschilderten Unterrichtseinheit. Die Antworten zeigen beispielhaft, dass viele Lernende typische literaturbekannte Schülervorstellungen zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten [1] und zum Redoxbegriff [2] hatten, die nur unter gezielter Berücksichtigung im Unterrichtsverlauf anschlussfähig für ein wissenschaftliches Konzeptverständnis sind. Außerdem sahen in Übereinstimmung mit aktuellen Forschungsergebnissen [3–7] viele Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe Modelle als Medien der Veranschaulichung an. Diese Perspektive ist keineswegs „falsch“ und Modelle werden im Chemieunterricht häufig zur Veranschaulichung verwendet, aber diese Nutzung schöpft das naturwissenschaftliche Potenzial – Modelle zum Erkenntnisgewinn einzusetzen – nicht aus.

Durch eine aus der Biologiedidaktik adaptierte Strukturierung des Modellbildungsprozesses [8,9] können die Förderung der Modellkompetenz und der explizite Umgang mit alternativen Schülervorstellungen miteinander verzahnt werden. Dies führt zu einer Win-Win-Situation für die im Folgenden geschilderte Unterrichtseinheit. Dadurch, dass Modelle auf Grundlage persönlicher Vorstellungen der Lernenden selbstständig entwickelt werden, entstehen tatsächliche hypothetische Konstrukte im wissenschaftlichen Sinne. Das Ableiten von Hypothesen ausgehend von diesen Modellen und die anschließende experimentelle Überprüfung stellen eine wissenschaftliche Testung der Modelle dar und bieten die Chance, Modelle und damit auch persönliche Vorstellungen weiterzuentwickeln.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Förderung von Modellkompetenz unter explizitem Einbezug von Schülervorstellungen

In der Wissenschaft werden Modelle anhand experimenteller Daten hypothetisch konstruiert und genutzt, um weitere Hypothesen bezüglich zu erwartender experimenteller Ergebnisse vorauszusagen. Durch die experimentelle Überprüfung werden die Modelle selbst und damit die ihnen zugrunde liegenden theoretischen Konstrukte bestätigt oder widerlegt und angepasst. Dieser Modellbildungsprozess setzt sich zyklisch fort.

[a] I. Caspari, G. Weber-Peukert, Prof. Dr. N. Graulich
 Institut für Didaktik der Chemie
 Heinrich-Buff-Ring 17
 35392 Gießen
 * E-Mail: ira.caspari@didaktik.Chemie.uni-giessen.de

Die Förderung von Modellkompetenz bisheriger chemie- und physikdidaktischer Ansätze [z.B. 10,11] nimmt selbstständige Modellierung der Lernenden anhand von Phänomenen als auch Reflexion bezüglich der hypothetischen Konstruktion in den Fokus. Jedoch wird das Modell als theoretisches Konstrukt nicht unmittelbar experimentell widerlegt und verändert. Damit bleibt die Förderung der Modellkompetenz zunächst unabhängig vom expliziten Einbezug alternativer Schülervorstellungen.

Diese Verknüpfung bietet sich jedoch im Kontext „Batterie“ an, da sowohl zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten als auch zum Redoxbegriff zahlreiche alternative Vorstellungen bzw. Konzepte von Lernenden bekannt sind. In diesem Kontext sind zu nennen: das Verständnis des Redoxbegriffs als Sauerstoffübertragung [2] sowie die Erklärung des Leitungsmechanismus im Elektrolyten über Elektronenfluss, über Ionenbewegung unabhängig vom Ladungszustand der Ionen und über die Huckepack-Theorie (Kationen transportieren Elektronen) [1]. Bisherige Ansätze wie „Choice2learn“ [12] oder „Chemie des Lebens“ [13,14] zielen darauf ab, durch experimentelle Ergebnisse oder theoretische Informationen Widersprüche zu vorherrschenden Schülervorstellungen zu erzeugen und diese dadurch in wissenschaftlich anschlussfähigere Vorstellungen zu verändern. Bei diesen Konzepten ist jedoch eine Förderung der Modellkompetenz wenn dann nur auf der Ebene der Anwendung von Modellen zur Beschreibung und Erklärung chemischer Sachverhalte für die praktische Umsetzung ausgearbeitet [12]. Modelle werden selbst nicht getestet und verändert.

Die hier beschriebene Unterrichtseinheit ist nach unserem Kenntnisstand der erste Unterrichtsvorschlag für den Chemieunterricht im deutschsprachigen Raum, der die konzeptuelle Arbeit mit alternativen Schülervorstellungen und die Förderung der Modellkompetenz im wissenschaftlichen Sinne explizit verknüpft. Dies geschieht, wie von Marx [15] für den Chemieunterricht bereits angedacht, durch Rekonstruktion von modellbasierten Forschungsprozessen mit einem über mehrere Zyklen stattfindenden Wechselspiel aus Datenerhebung, Modellentwicklung und Modellüberprüfung. Damit ist nicht das Nachvollziehen einer historischen Entwicklung von Modellen gemeint, sondern das schrittweise Weiterentwickeln von Modellen als tatsächliche hypothetische Konstrukte der Lernenden, basierend auf ihren persönlichen Vorstellungen. Dadurch kann das in den Bildungsstandards formulierte Ziel der „Verknüpfung gewonnener Erkenntnisse mit bereits geläufigen Konzepten, Modellen und Theorien“ [16] in besonderem Maße angestrebt werden. Curriculare Vorgaben für die gymnasiale Oberstufe wie beispielsweise das hessische Kerncurriculum betonen das Ziel eines wissenschaftlichen Modellverständnisses: „Die Lernenden entwickeln Modelle bzw. verändern bestehende Modelle [...]. Sie verwenden geeignete Modelle, um Prognosen in einem definierten Bereich abzuleiten und diese zu diskutieren. Weiterhin erläutern sie Funktionen und Eigenschaften naturwissenschaftlicher Modelle“ [17]. Aufgrund dieser Zielsetzung wurde die Unterrichtseinheit, basierend auf einem aus der Biologiedidaktik stammenden Modell der Modellkompetenz [9], entwickelt, welches Teilkompetenzen beschreibt, die direkt mit den Schritten der modellbasierten Erkenntnisgewinnung im wissenschaftlichen Sinne in Verbindung stehen [8] (Abb. 1.).

2.2 Förderungsschritte der Modellkompetenz im Modellbildungsprozess

Der Modellbildungsprozess lässt sich in verschiedene Förderungsschritte einteilen, die in Abb. 1 dargestellt und im Folgenden beschrieben sind.

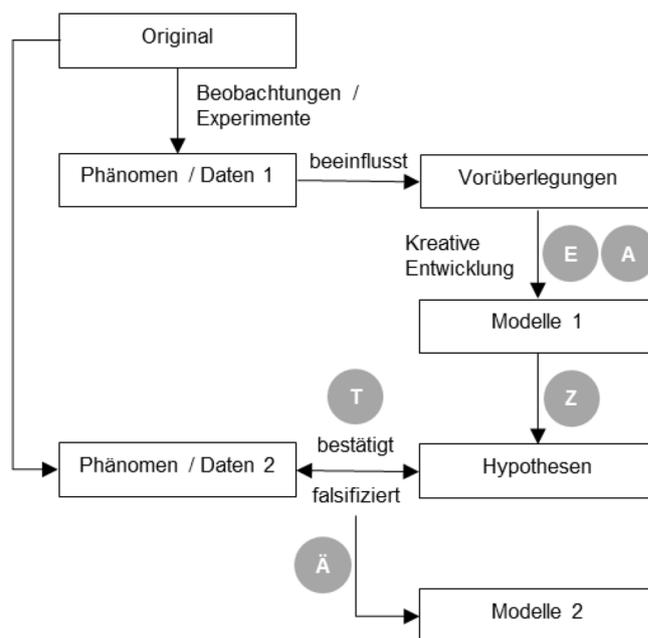


Abb. 1: Der Modellbildungsprozess [8]. E = Eigenschaften von Modellen, A = Alternative Modelle, Z = Zweck von Modellen, T = Testen von Modellen, Ä = Ändern von Modellen.

Eigenschaften von Modellen und Alternative Modelle: Lernende stellen aus Beobachtungen am Original Vorüberlegungen an und entwickeln darauf basierend selbst ein Modell. Alternative Schülervorstellungen führen zu alternativen Modellen.



Ira Caspari studierte 2008 bis 2013 die Fächer Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 2015 legte sie am Studienseminar Gießen das 2. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien ab. Seit 2015 promoviert sie am Institut für Didaktik der Chemie der Justus-Liebig Universität Gießen. Sie ist Mitglied der AG Bildungsstandards der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh.



Gisela Weber-Peukert ist Ausbilderin für die fachdidaktischen Chemiemodule und für das pädagogische Modul „Diagnostizieren, Fördern und Beurteilen“ am Studienseminar für Gymnasien in Gießen. Sie unterrichtet die Fächer Biologie und Chemie am Landgraf-Ludwigs-Gymnasium in Gießen und ist Mitglied der AG Bildungsstandards der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh.



Nicole Graulich studierte Chemie und Französisch für das Lehramt an Gymnasien. Sie wurde 2011 an der Justus-Liebig-Universität Gießen im Arbeitskreis von Prof. Schreiner promoviert. 2012 legte sie das 2. Staatsexamen ab und folgte 2014 einem Ruf auf die W1 Juniorprofessur an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Sie ist Mitglied der AG Bildungsstandards der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh.

Das Modellverständnis als theoretisches Konstrukt sowie das Verständnis der Existenz alternativer Modelle im wissenschaftlichen Sinne, basierend auf unterschiedlichen Vorstellungen, können so gefördert werden.

Zweck von Modellen: Lernende leiten von selbst entwickelten Modellen Hypothesen über weitere Experimente am Original ab. Das Verständnis, dass Modelle dazu dienen, Hypothesen über das Original abzuleiten, kann dadurch gefördert werden.

Testen von Modellen: Lernende überprüfen ihre an Modellen aufgestellten Hypothesen durch Beobachtungen am Original. Dies kann das wissenschaftliche Verständnis des Testens von Modellen fördern, besonders deshalb, weil nicht nur Hypothesen und Modelle bestätigt, sondern auch auf alternativen Schülervorstellungen basierende Modelle und davon abgeleitete Hypothesen falsifiziert werden können.

Ändern von Modellen: Die Lernenden ändern falsifizierte Modelle ab. Das Verständnis, dass Modelle auf Grund falsifizierter Hypothesen geändert werden, kann so gefördert werden. Gleichzeitig können die zugrunde liegenden alternativen Schülervorstellungen zu wissenschaftlich anschlussfähigeren Vorstellungen erweitert werden.

Das Kompetenzraster in Tab. 1 zeigt die Einteilung dieser Teilkompetenzen in Niveaustufen. Das Kompetenzraster basiert auf zwei sehr ähnlichen praxiserprobten Kompetenzrastern der Biologiedidaktik [8,18], die sich in der Detailliertheit der Beschreibung der einzelnen Teilkompetenzen unterscheiden. Hier wurde jeweils die inhaltliche Ausführung gewählt, die die Ziele der im Folgenden beschriebenen Unterrichtseinheit am besten widerspiegelt, ohne inhaltliche Änderungen vorzunehmen. Die Teilkompetenzen der Modellkompetenz werden in dem Kompetenzraster jeweils in drei Niveaustufen eingeteilt, zuzüglich eines Niveaus 0. Bei der ersten Niveaustufe wird die Aufmerksamkeit vollständig auf das Modellobjekt gelenkt. Bei der zweiten Stufe liegt sie auf dem Ausgangsphänomen und dem Vergleich zwischen Modell und Wirklichkeit. Die dritte Niveaustufe bildet das wissenschaftliche Verständnis des Modellbildungsprozesses ab, welches Förderziel der Unterrichtseinheit ist. Dieses Kompetenzraster dient für die Lehrkraft sowohl als Basis für die Förderung (Kapitel 3) als auch für die Diagnose der Modellkompetenz der Lernenden (Kapitel 4).

3. Die Umsetzung der Unterrichtskonzeption

Die Unterrichtseinheit, die bereits in einer 10. Jahrgangsstufe (G8 Hessen, 1. Halbjahr der gymnasialen Oberstufe) erprobt wurde, ist in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt ist der Leitungsmechanismus im Elektrolyten Grundlage der Modellarbeit. Im zweiten Abschnitt stellen verschiedene Batterien die Originale für die Modellarbeit dar. Zur Verdeutlichung des Modellbildungsprozesses (s. Abb. 1) wird ein einheitliches Reflexionsschema eingesetzt (z. B. Abb. 2, 3). Diese wiederkehrende Visualisierung der Teilschritte des Modellbildungsprozesses erhöht für Lernende die Transparenz.

Die Verzahnung von Förderung der Modellkompetenz und konzeptueller Arbeit mit alternativen Schülervorstellungen findet in den beiden Unterrichtsabschnitten auf ganz unterschiedliche Weise statt. Im ersten Unterrichtsabschnitt entwickeln die Lernenden, basierend auf verschiedenen Vorstellungen, Modelle zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten. Über Hypothesenbildung, ausgehend von den Modellen, werden durch experimentelle Überprüfung schrittweise die Modelle und damit die zugrunde liegenden Vorstellungen überprüft und weiterentwickelt. In diesem Abschnitt der Unterrichtseinheit können alle fünf Teilkompetenzen der Modellkompetenz gefördert werden.

Im zweiten Unterrichtsabschnitt werden nacheinander Modelle zu unterschiedlichen Batterien entwickelt. Von einem Modell werden Hypothesen über eine allgemeine funktionsfähige Batterie abgeleitet und anhand des jeweils folgenden Modells zu einer anderen Batterie überprüft und verändert. Das Konzept der Funktionsweise einer Batterie inklusive des Leitungsmechanismus im Elektrolyten und des Redoxbegriffs drückt sich in den Hypothesen aus. Über eine modellbasierte Hypothesenüberprüfung findet eine Konzepterweiterung statt. Hier können insbesondere die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Testen von Modellen* gefördert werden. Tab. 2 ordnet den einzelnen Lernschritten der Unterrichtseinheit die Teilkompetenzen der Modellkompetenz zu. Eine Tabelle mit der Angabe aller verwendeten Materialien sowie die Materialien selbst befinden sich in der *Online-Ergänzung*. Im Folgenden wird der unterrichtspraktische Teil ausführlich erläutert, um zu zeigen, wie einzelne Teilkompetenzen in der beabsichtigten Weise gefördert werden können.

Tab. 1: Kompetenzraster zur Modellkompetenz (inhaltlich übernommen aus [8,18]). In den Teilkompetenzen „Alternative Modelle“, „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ wird wie von Grünkorn et al. [18] vorgeschlagen, den drei Niveaustufen des Kompetenzmodells der Modellkompetenz von Upmeyer zu Belzen und Krüger [9] ein basales Niveau (Niveau 0) hinzugefügt

	Niveau 0	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Eigenschaften von Modellen (E)		Modell als Kopie oder mit großer Ähnlichkeit	Modell ist in Teilen eine Kopie, Modell als fokussierte Darstellung bzw. idealisierte Repräsentation	Modell als hypothetische Darstellung bzw. theoretische Rekonstruktion
Alternative Modelle (A)	Verschiedene Modelle zu unterschiedlichen Originalen, nur ein endgültiges und richtiges Modell	Unterschiedliche Modellobjekteigenschaften	Unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte	Modell für unterschiedliche Vorstellungen
Zweck von Modellen (Z)		Modell zur Darstellung bzw. Beschreibung des Originals	Modell zum Erklären des Originals	Modell zum Ableiten von Hypothesen über das Original
Testen von Modellen (T)	Keine Testung des Modells	Überprüfung des Modellobjektes (z. B. Material)	Vergleich zwischen Original und Modell	Überprüfen von aus Modellen abgeleiteten Hypothesen durch Beobachtungen am Original
Ändern von Modellen (Ä)	Kein Anlass für eine Änderung, Ändern zur Darstellung unterschiedlicher Originale	Ändern zur Verbesserung des Modellobjektes	Ändern bei mangelnder Passung mit dem Original bzw. bei neuen Erkenntnissen über das Original	Modell für etwas aufgrund falsifizierter Hypothesen revidieren

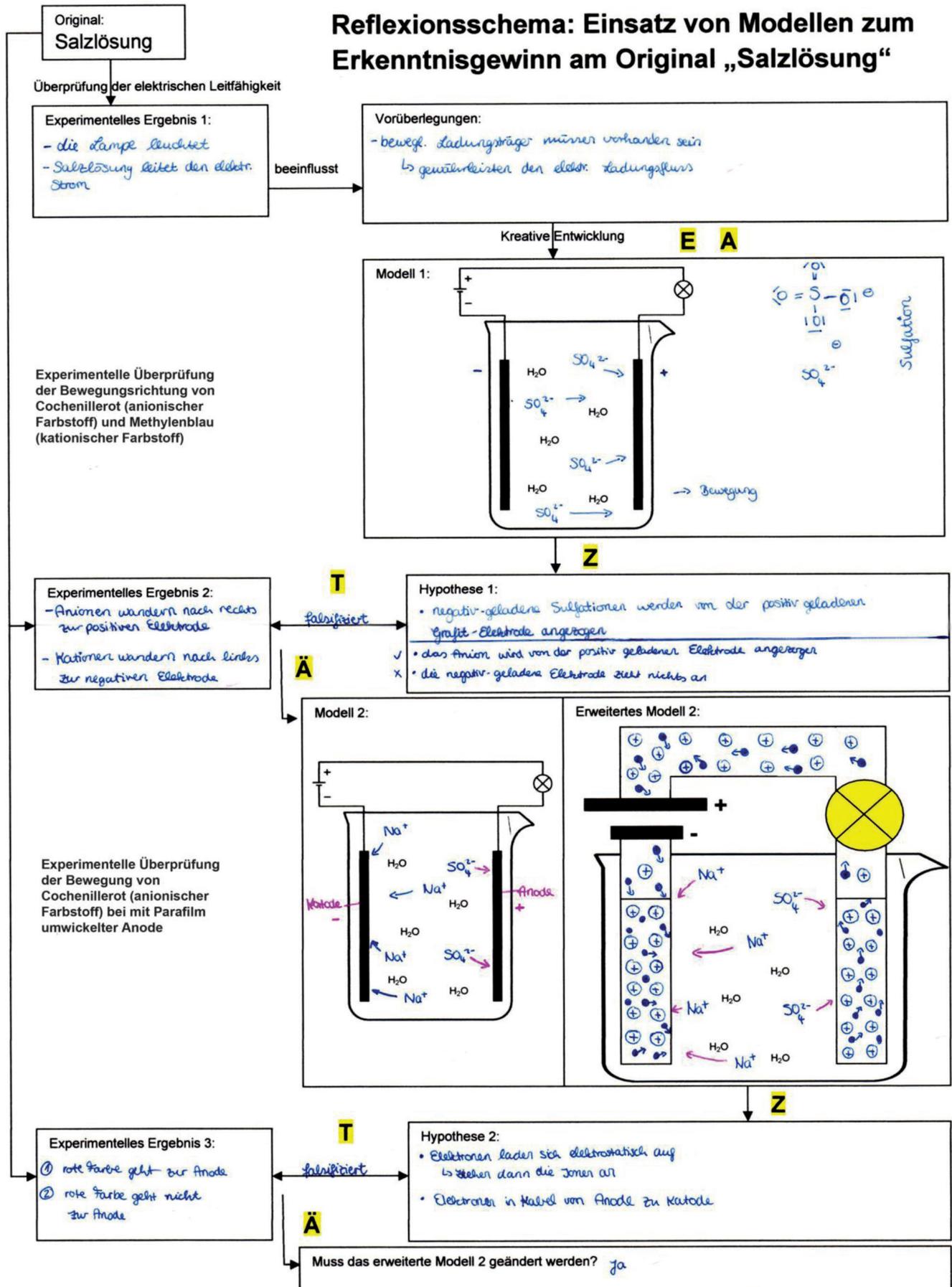


Abb. 2: Reflexionsschema „Salzlösung“ für die Lernschritte 1.1. bis 1.3., ausgefüllt von einer Schülerin der Versuchsgruppe. E = Eigenschaften von Modellen, A = Alternative Modelle, Z = Zweck von Modellen, T = Testen von Modellen, Ä = Ändern von Modellen.

Tab. 2: Übersicht über die Unterrichtseinheit

1. Unterrichtsabschnitt: Leitungsmechanismus im Elektrolyten	
Lernschritte	Teilkompetenzen
1.1. Experimentelle Untersuchung des Originals Natriumsulfatlösung Notieren von Vorüberlegungen basierend auf alternativen Vorstellungen zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten Entwicklung alternativer Modelle als hypothetische Konstrukte	<i>Eigenschaften von Modellen</i> <i>Alternative Modelle</i>
1.2. Aufstellen von Hypothesen über die Bewegungsrichtung von Cochenillerot und Methylenblau anhand des eigenen Modells Experimentelle Überprüfung des Modells Änderung falsifizierter Modelle	<i>Zweck von Modellen</i> <i>Testen von Modellen</i> <i>Ändern von Modellen</i>
1.3. Erweitern des Modells bezüglich des Aufbaus von Kabel und Elektroden Aufstellen von Hypothesen bezüglich der Frage, was die Ionen anzieht Experimentelle Überprüfung des Modells Entscheidung über Änderung des Modells	<i>Zweck von Modellen</i> <i>Testen von Modellen</i> <i>Ändern von Modellen</i>
2. Unterrichtsabschnitt: Batterien	
Lernschritte	Teilkompetenzen
2.1. Experimentelle Untersuchungen von Zink-Silberoxid-Knopfzellen Aufstellen der Reaktionsgleichungen an den Elektroden als Vorüberlegungen Entwicklung eines Modells der Zink-Silberoxid-Knopfzelle Aufstellen von Hypothesen über den allgemeinen Aufbau einer funktionstüchtigen Batterie	<i>Eigenschaften von Modellen</i> <i>Zweck von Modellen</i>
2.2. Experimentelle Untersuchungen von Zink-Luft-Batterien Aufstellen der Reaktionsgleichungen an den Elektroden als Vorüberlegungen Entwicklung eines Modells der Zink-Luft-Batterie Bestätigen/Falsifizieren/Verallgemeinern der Hypothesen über den allgemeinen Aufbau einer funktionstüchtigen Batterie	<i>Eigenschaften von Modellen</i> <i>Testen von Modellen</i>
2.3. Experimentelle Untersuchungen von Zink-Iod-Batterien Aufstellen der Reaktionsgleichungen an den Elektroden als Vorüberlegungen Entwicklung eines Modells der Zink-Iod-Batterie Bestätigen/Falsifizieren/Verallgemeinern der Hypothesen über den allgemeinen Aufbau einer funktionstüchtigen Batterie	<i>Eigenschaften von Modellen</i> <i>Testen von Modellen</i>

3.1 Erster Unterrichtsabschnitt: Leitungsmechanismus im Elektrolyten

Der Leitungsmechanismus im Elektrolyten wird im ersten Unterrichtsabschnitt zunächst getrennt von den restlichen Prozessen in einer Batterie behandelt, weil angemessene Vorstellungen bezüglich des Leitungsmechanismus essentielle Voraussetzungen für das Verständnis Galvani'scher Zellen sind [13]. Da Lernende bezüglich des Aufbaus einer Salzlösung an sich und des Leitungsmechanismus in einer Salzlösung typischerweise viele alternative Vorstellungen haben [1,19], was sich auch in der Versuchsgruppe zeigte, ist diese vorangeschaltete konzeptuelle Auseinandersetzung mit alternativen Schülervorstellungen durch die Modellarbeit unbedingt erforderlich. Durch ein Reflexionsschema (Abb. 2) wird die Modellarbeit zum Original Salzlösung strukturiert, bei der die Lernenden den Modellbildungsprozess (Abb. 1) insgesamt zweimal durchlaufen.

Lernschritt 1.1

Im ersten Lernschritt dieses Unterrichtsabschnittes überprüfen die Lernenden zunächst experimentell die Leitfähigkeit einer Natriumsulfatlösung. Sie stellen Vorüberlegungen an, wie der elektrische Stromfluss in der Salzlösung zustande kommt. Zusammen mit Gruppenmitgliedern, die nach der

Ausgangsdiaagnose ähnliche Vorstellungen zum Leitungsmechanismus in der Salzlösung haben, entwickeln sie ein Modell. Bei diesem stellen sie zunächst nur die Salzlösung auf Modellenebene dar und behandeln Elektroden, Kabel und Stromversorgungsgerät als *black box*. Hierbei entstehen, basierend auf den zugrunde liegenden Schülervorstellungen [1,19], verschiedene Modelle.

Mithilfe des Satzanfangs E (Tab. 3) reflektieren die Lernenden nach der Modellentwicklung die *Eigenschaften von Modellen*. Um transparent zu machen, welcher Schritt des Modellbildungsprozesses Rückschlüsse auf die Reflexion der jeweiligen Teilkompetenzen zulässt, ist die jeweilige Stelle auf den Arbeitsmaterialien (z.B. Abb. 2) mit dem Anfangsbuchstaben gekennzeichnet. Anschließend präsentieren die Gruppen ihre Modelle im Plenum. Dabei vergleichen die zuhörenden Gruppen das vorgestellte Modell mit ihrem eigenen und vervollständigen für Modelle, die vom eigenen Modell abweichen, den Satzanfang A zur Teilkompetenz *Alternative Modelle* (Tab. 3). Tab. 4 ordnet den Modellen, die in der Versuchsgruppe entwickelt wurden, typische Schülervorstellungen zu.

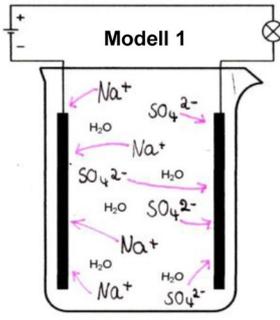
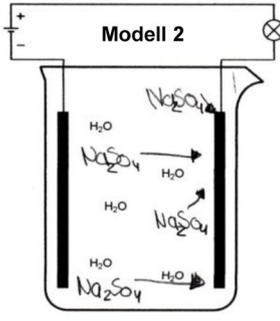
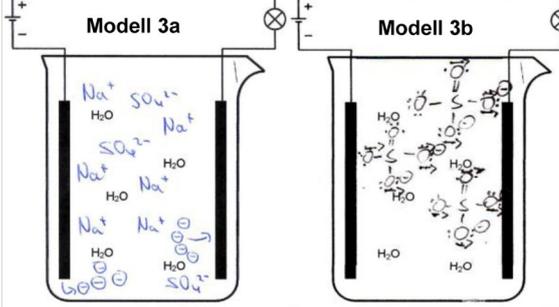
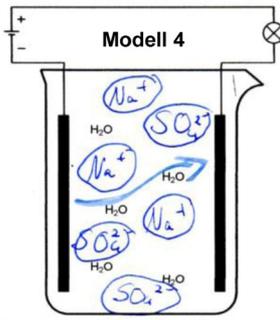
Lernschritt 1.2

Im zweiten Lernschritt stellen die Lernenden anhand ihrer Modelle Hypothesen über die Bewegungsrichtung von Coche-

Tab. 3: Satzanfänge zur Reflexion und Diagnose der Teilkompetenzen der Modellkompetenz [18]

Teilkompetenz der Modellkompetenz	Satzanfang zur Diagnose und Reflexion
Eigenschaften von Modellen (E)	Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass...
Alternative Modelle (A)	Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...
Zweck von Modellen (Z)	Modelle dienen dazu, dass...
Testen von Modellen (T)	Modelle überprüft man, indem...
Ändern von Modellen (Ä)	Modelle werden verändert, weil...

Tab. 4: Typische Schülervorstellungen [1, 19] und darauf basierende Modelle zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten in Lernschritt 1.1. sowie abgeleitete Hypothesen über die Wanderungsrichtung von Ionen in Lernschritt 1.2. Das mit Cochenillerot bzw. Methylenblau eingefärbte Garn befand sich auf einem Objektträger, auf dem ein mit Natriumsulfatlösung getränktes Filterpapier zwischen den Elektroden eingespannt war.

Typische Schülervorstellungen	Von Lernenden der Versuchsgruppe entwickelte Modelle und die abgeleiteten Hypothesen (Anode im experimentellen Aufbau rechts, Katode links)	
<p>Der Stromfluss kommt durch die Bewegung von Ionen in Abhängigkeit von ihrem Ladungszustande.</p>		<p>Hypothese: Vom rot gefärbten Garn aus bildet sich ein roter Farbstreifen nach rechts, weil Anionen nach rechts wandern. Vom blau gefärbten Garn aus bildet sich ein blauer Farbstreifen nach links, weil Kationen nach links wandern.</p>
<p>In einer Salzlösung liegen Na_2SO_4-Moleküle vor.</p>		<p>Hypothese: Es bilden sich keine Farbstreifen, weil das Na_2SO_4-Molekül neutral geladen ist.</p>
<p>Der Stromfluss kommt durch die Bewegung freier Elektronen im Elektrolyten zustande.</p>		<p>Hypothese: Es bilden sich keine Farbstreifen, weil sich nur die Elektronen bewegen.</p>
<p>Der Stromfluss kommt durch die Bewegung von Ionen zustande. Diese bewegen sich jedoch unabhängig von ihrem Ladungszustand.</p>		<p>Hypothese: Von beiden Garnen bildet sich ein Farbstreifen in die gleiche Richtung, weil alle Ionen in diese Richtung wandern.</p>
<p>Der Stromfluss kommt dadurch zustande, dass Kationen an der Katode Elektronen aufnehmen, sie zur Anode transportieren, dort abgeben, und sich zur Katode zurück bewegen (Huckepack-Theorie).</p>		<p>Hypothese: Vom rot gefärbten Garn aus bildet sich kein Farbstreifen, weil die Anionen nicht wandern. Vom blau gefärbten Garn aus bildet sich ein Farbstreifen in beide Richtungen, weil sich die Kationen in beide Richtungen bewegen.</p>

nillerot (anionischer Farbstoff) und Methylenblau (kationischer Farbstoff) in einem vorgegebenen Experiment auf (Versuch 4a und 4b in [13]). Tab. 4 zeigt die Hypothesen, die Lernende der Versuchsgruppe sinngemäß in Abhängigkeit von ihren auf unterschiedlichen Vorstellungen basierenden Modellen aufstellten. Anschließend reflektieren die Lernenden mit dem Satzanfang Z den *Zweck von Modellen*.

Durch die Beobachtung des Experimentes bestätigen oder falsifizieren die Lernenden im nächsten Arbeitsschritt ihre Hypothesen. Da sich ein roter Farbstreifen zur Anode und ein blauer Farbstreifen zur Katode bilden, können nur Modelle, die auf der Vorstellung von Ionenbewegung in Abhängigkeit vom Ladungszustand beruhen (Tab. 4), bestätigt werden. Die Lernenden reflektieren mit dem Satzanfang T das *Testen von Modellen*.

Jetzt entscheiden die Lernenden, ob sie ihr Modell ändern müssen, reflektieren mit Satzanfang Ä den Grund für das *Ändern* (oder Nichtändern) *von Modellen* und ändern ihr Modell, wenn nötig.

Abschließend stellen die Lernenden den Abschnitt des Modellbildungsprozesses, ausgehend von der Hypothesenbildung bis zum veränderten Modell (Modell 2 in Abb. 2), im Plenum vor. Das hohe Maß an gedanklicher Verknüpfung der einzelnen Phasen des Modellbildungsprozesses bei diesen Vorträgen kann sich förderlich auf die Modellkompetenz auswirken. Da die Ausgangsdiagnose in der Versuchsgruppe zeigte, dass viele Lernende nicht nur eine, sondern mehrere alternative Vorstellungen besitzen, ist es sinnvoll, alle Gruppen, deren Modelle auf unterschiedliche Vorstellungen zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten basieren, ihre Ergebnisse präsentieren zu lassen. Reflexionsaufträge für die Zuhörer bezüglich der inhaltlichen Schlüssigkeit der Modelle und der abgeleiteten Hypothesen sowie hinsichtlich des Versuchsergebnisses und des geänderten Modells unterstützen die konzeptuelle Arbeit mit alternativen Schülervorstellungen und machen das Aufdecken von Denkfehlern möglich.

Expliziter Umgang mit Schülervorstellungen im Lernschritt 1.2

In diesem zweiten Lernschritt ist der explizite Umgang mit den Schülervorstellungen wichtig. Folgende Beobachtungen in der Versuchsgruppe zeigen exemplarisch, wie mit auftretenden Lernschwierigkeiten umgegangen werden kann.

Die Gruppe, deren Modell auf der Vorstellung von Na_2SO_4 -Molekülen beruhte (Modell 2, Tab. 4), stellte in der Gruppenarbeit zunächst die Hypothese auf, dass sich Natriumsulfat zur positiven Seite bewege, weil es negativ geladen sei. Bei dem Vortrag der Gruppe gaben die Zuhörenden die Rückmeldung, dass die Hypothese der Gruppe nicht schlüssig aus dem Modell abgeleitet sei, denn läge Natriumsulfat als Molekül vor, so bestünde es nicht aus Anionen und Kationen, sondern wäre neutral geladen und würde somit weder zur Anode noch zur Katode wandern. Der restliche Modellbildungsprozess konnte dann, ausgehend von der logisch geschlussfolgerten Hypothese, dass sich kein Farbstreifen bilden würde (Tab. 4), im Plenum noch einmal gemeinsam durchlaufen werden.

In der Plenumsphase äußerten die Lernenden auch kritische Beiträge bezüglich der Aussagekraft des Experimentes (Bewegungsrichtung von Cochenillerot und Methylenblau). Eine Schülergruppe kritisierte, dass das Experiment zwar beweise, dass Anionen und Kationen in eine definierte Richtung wanderten, dass jedoch ihrer Meinung nach nicht widerlegt sei, dass trotzdem der Stromfluss durch Elektronenfluss zustande käme, da man die Elektronen bei dem Versuch nicht habe sehen können.

Zunächst wurden die Lernenden auf Grundlage des Modells, bei dem die Außenelektronen der Anionen frei durch die

Lösung wanderten (Modell 3b, Tab. 4), aufgefordert, die Bewegung der Anionen vorauszusagen. Die Lernenden schlussfolgerten, dass sich die Anionen nicht bewegen würden, da sie nach der Abgabe zweier Außenelektronen nicht mehr geladen seien. Somit konnte das Versuchsergebnis auch dieses Modell eindeutig widerlegen.

Als nächstes wurden die Lernenden aufgefordert, anhand des Modells, bei dem aus den Elektroden kommende freie Elektronen den Stromfluss schlossen (Modell 3a, Tab. 4), eine Hypothese über die Leitfähigkeit von destilliertem Wasser aufzustellen. Dies führte zur Hypothese, dass auch destilliertes Wasser den Strom leiten müsse, was im Experiment widerlegt werden konnte¹.

Letztlich konnten die Modelle 2 bis 5 (Tab. 4) und somit die zugrunde liegenden alternativen Schülervorstellungen widerlegt und zu Modell 1 (Tab. 4) geändert werden.

Lernschritt 1.3

Es schließt sich eine Unterrichtsphase an, in der zum selben Original der Modellbildungsprozess erneut durchlaufen wird. Die Lernenden erhalten die Aufgabe, das bestehende Modell zu erweitern, indem sie zusätzlich zur Salzlösung auch den Aufbau von Kabel und Elektroden auf Teilchenebene darstellen und die Bewegung von Ladungsträgern durch Pfeile markieren (Abb. 2, erweitertes Modell 2). Anhand dieses erweiterten Modells stellen sie eine Hypothese darüber auf, was die Ionen anzieht. Dabei ist das Aufstellen der Hypothese wahrscheinlich, dass die Elektroden elektrostatisch aufgeladen werden und die Ionen anziehen. Da der Versuchsgruppe keine weiteren Informationen durch die Lehrkraft an die Hand gegeben wurden, waren die Schülerinnen und Schüler nicht in der Lage die Elektrodenreaktionen in ihre Modellierung mit einzubeziehen. Alle Schülergruppen stellten die Hypothese der elektrostatischen Aufladung auf. Die „Provokation“ dieser Hypothese ist jedoch aus zwei Gründen legitim: In der Diagnose der Lernausgangslage zeigte sich die zugrunde liegende alternative Schülervorstellung bei 21 von 24 Schülerinnen und Schülern. Außerdem entspricht das entwickelte Modell der tatsächlichen Vorstellung der Lernenden zu diesem Zeitpunkt, es ist ihr persönliches hypothetisches Konstrukt.

Dies macht diese Unterrichtssituation für die Förderung der Modellkompetenz besonders fruchtbar. Die Hypothese überprüfen die Lernenden, indem sie bei dem Experiment mit Cochenillerot eine Elektrode im Bereich, in dem sie mit dem Elektrolyten in Berührung kommt, mit Parafilm umwickeln. Dadurch findet die Ionenwanderung nicht mehr statt, obwohl im Vorversuch Anziehungskräfte eines Magneten durch den Parafilm wirken. Magnetische und elektrostatische Anziehungskräfte werden hier im Sinne der didaktischen Reduktion nicht unterschieden. So können die Hypothese der elektrostatischen Aufladung und das Modell widerlegt werden.

Am Ende dieses Unterrichtsabschnitts steht damit die Entscheidung, dass das Modell geändert werden muss. An den entsprechenden Stellen des Modellbildungsprozesses reflektieren die Lernenden wiederum den *Zweck*, das *Testen* und das *Ändern von Modellen* mit den jeweiligen Satzanfängen (Tab. 3).

An dieser Stelle wird der Leitungsmechanismus im Elektrolyten nicht weiter an dem Beispiel der Elektrolyse erarbeitet, sondern die folgende Konzepterweiterung findet am Beispiel von Batterien statt. Hier kann die sehr detaillierte experimentell gestützte Modellarbeit wesentlich alltagsnäher gestaltet

¹ Die elektrische Leitfähigkeit von destilliertem Wasser aufgrund der Autoprotolyse des Wassers wird im Sinne der didaktischen Reduktion nicht thematisiert. Im Falle der Versuchsgruppe war diese mit den zur Verfügung stehenden Geräten auch nicht messbar.

werden. Im Anschluss an den zweiten Unterrichtsabschnitt wurden in der Versuchsgruppe die Reaktionsprodukte der Elektrolyse einer Natriumsulfatlösung experimentell nachgewiesen (Versuch 6 in [13]) und die Lernenden erstellten ein Modell der Elektrolyse analog zu den Batteriemodellen.

3.2 Zweiter Unterrichtsabschnitt: Batterien

Zur Konzepterweiterung des Leitungsmechanismus im Elektrolyten als auch des Redoxbegriffes, der den Lernenden der Versuchsgruppe zu Beginn der Unterrichtseinheit als Sauerstoffübertragungsreaktion bekannt war, eignet sich die Untersuchung handelsüblicher Batterien [14], eingebettet in den Modellbildungsprozess. Durch das eigenständige Entwickeln von Modellen zu einem Batterietyp, das Ableiten allgemeiner Hypothesen über eine funktionsfähige Batterie und anschließende Hypothesenüberprüfung durch Modellentwicklung weiterer Batterietypen im zweiten Unterrichtsabschnitt kann diese Konzepterweiterung den Lernenden in besonderem Maße transparent gemacht und zusätzlich die Modellkompetenz gefördert werden.

Lernschritt 2.1

Der Unterrichtsabschnitt beginnt mit der experimentellen Untersuchung einer Zink-Silberoxid-Batterie, da hier der Redoxbegriff als Sauerstoffübertragungsreaktion aufgegriffen und so eine schrittweise Konzepterweiterung angestrebt werden kann. Verschiedene experimentelle Beobachtungen einer geladenen und einer entladene Uhrbatterie [vgl. 14] machen das Aufstellen der Reaktionsgleichungen an den Elektroden als Vorüberlegungen für die Modellentwicklung möglich. Schrittweise entwickeln die Lernenden in Gruppen ein Modell einer Zink-Silberoxid-Knopfzelle:

- Durch die Darstellung der Edukte und Produkte sowie des Elektrolyten auf Teilchenebene in ein vorgegebenes Schema (Abb. 3) modellieren die Lernenden den Aufbau der Batterie.
- Durch Verwendung von prozessbezogenen Symbolen modellieren sie die Funktionsweise der Batterie (Abb. 3).

Diese komplexe Modellentwicklung dient der Förderung der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen*. Durch die detaillierte Modellentwicklung werden außerdem Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler aufgedeckt und können behoben werden. Beispielsweise zeigte sich, dass einige Lernende in der Versuchsgruppe Oxidationen mit Sauerstoffmolekülen verwechselten.

Im zweiten Teil des Lernschrittes 2.1 stellen die Gruppen anhand ihres Modells Hypothesen darüber auf, wie eine funktionstüchtige Batterie allgemein aufgebaut sein müsste. Tab. 5 zeigt die Hypothesen, die in der Versuchsgruppe aufgestellt wurden, sinngemäß. Sie verdeutlichen, worauf die Phase inhaltlich hinausläuft. Durch das Bereitstellen von Hilfen für die Hypothesenbildung, beispielsweise in Form von Satzanfängen, Satzbruchstücken, inhaltlichen Schlagwörtern oder Lückentexten, können Lernende in dieser Phase unterstützt werden. Das Ableiten der Hypothesen macht den wissenschaftlichen *Zweck von Modellen* deutlich.

Lernschritt 2.2

Die phänomenologische Betrachtung einer geladenen und einer entladene Zink-Luft-Batterie [vgl. 14], wie sie in Hörgeräten Verwendung findet, führt auch in diesem Lernschritt zum Aufstellen der Elektrodenreaktionen als Vorüberlegungen für die Modellentwicklung. Durch das Entwickeln eines Modells dieses Batterietyps nach dem bereits bekannten Schema und einer anschließender Reflexion (Tab. 3) kann die Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* gefördert werden.

Als nächstes bestätigen bzw. falsifizieren die Lernenden mithilfe ihrer Modelle zur Zink-Luft-Batterie die am Modell der Zink-Silberoxid-Batterie aufgestellten Hypothesen über eine funktionstüchtige Batterie. Falsifizierte Hypothesen verallgemeinern sie wenn möglich so, dass sie für beide Modelle zutreffen (Tab. 5). Die wesentliche Verallgemeinerung, die sich durch das Modell der Zink-Luft-Batterie ergibt, ist, dass nicht das Material der Katode und der Anode Elektronen aufnehmen bzw. abgeben muss (Hypothese 4a, Tab. 5), sondern dass diese Prozesse lediglich an den Elektroden stattfinden (Hypothese 4b, Tab. 5). Gehen die Lernenden wie in der Versuchsgruppe von einer Definition von Oxidation und Reduktion als Sauerstoffübertragung aus (Hypothese 3a, Tab. 5), führt das Modell der Zink-Luft-Batterie bei den Lernenden zu einer Unsicherheit, ob es sich bei der Reaktion an der Katode noch um eine Reduktion handelt. In der Versuchsgruppe wurde so verfahren, dass der Begriff Reduktion in der Hypothese mit Fragezeichen versehen wurde und die „Vernichtung“ von Sauerstoff an der Katode als Begründung für die Hypothese angeführt wurde (Hypothese 3b, Tab. 5). Es empfiehlt sich, eine Hypothese dieser Art so stehen zu lassen, da sie bei den Lernenden einen kognitiven Konflikt erzeugt, der auf die Konzepterweiterung anhand des nächsten Batteriemodells vorbereitet. Diese Phase der Hypothesenbildung dient in Kombination mit der anschließenden Reflexion (Tab. 3) der Förderung der Teilkompetenz *Testen von Modellen*. Der Ablauf dieses Lernschrittes ist dem Ablauf in Lernschritt 2.1 sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, dass die bereits am Modell der Zink-Silberoxid-Batterie aufgestellten Hypothesen durch die Beobachtungen am Original Zink-Luft-Batterie und die darauf basierende Modellentwicklung überprüft werden. Dadurch rückt das *Testen von Modellen* stärker in den Fokus als der *Zweck von Modellen*.

Lernschritt 2.3

Das letzte Original stellt die Zink-Iod-Batterie dar, die die Lernenden im Lernschritt 2.3. als Beispiel für eine ungiftige Zink-Halogen-Batterie nach Anleitung aus einem Zinkblech, einem Iodkristall und einem in Kaliumnitratlösung getränkten Filterpapier bauen [vgl. 14]. Wiederum dienen die experimentellen Beobachtungen zum Aufstellen der Reaktionsgleichungen an den Elektroden als Vorüberlegungen für die Modellentwicklung nach der gleichen Vorgehensweise wie bei den beiden Modellen zuvor.

Anhand des Modells bestätigen oder widerlegen und ggf. verallgemeinern die Lernenden wieder die Hypothesen über eine funktionstüchtige Batterie. Tabelle 5 zeigt, welche Hypothesen bestätigt, welche falsifiziert und welche verallgemeinert werden können. Auf Grundlage ihrer bisherigen Definition falsifizieren die Lernenden zunächst Hypothese 3b, dass eine Oxidation und eine Reduktion stattfinden müssen. Die Schlussfolgerung der Lernenden, dass alle Reaktionen an der Katode gemeinsam haben, dass Elektronen aufgenommen werden, und alle Reaktionen an der Anode, dass Elektronen abgegeben werden, liegt nahe. Daraufhin kann die Lehrkraft die Definition von Oxidation und Reduktion über Elektronenabgabe und -aufnahme einführen und darauf hinweisen, dass es sich bei den Reaktionen mit Sauerstoff nur um eine spezielle Form der Redoxreaktion handelt. So kann die Hypothese 3b zu Hypothese 3c (Tab. 5) verallgemeinert und die Konzepterweiterung bezüglich des Redoxbegriffs vollzogen werden.

Das Modell der Zink-Iod-Batterie ermöglicht es den Lernenden, Hypothese 2a (Tab. 5) bezüglich des Leitungsmechanismus, die sich vorher nur auf die Katode bezogen hat, mit den Prozessen an der Anode zu erweitern zu: Durch die Reaktionen an den Elektroden müssen Teilchen entstehen, die Ionen anziehen bzw. abstoßen, weil erst dann der Stromkreis ge-

Tab. 5: Inhaltliche Zusammenfassung der Hypothesen der Versuchsgruppe über den allgemeinen Aufbau einer funktionstüchtigen Batterie in Lernschritt 2.1. bis 2.3.

Aufgestellte Hypothesen ausgehend von der Zink-Silberoxid-Knopfzelle Lernschritt 2.1.	Testung der Hypothesen ausgehend von der Zink-Luft-Batterie Lernschritt 2.2.	Testung der Hypothesen ausgehend von der Zink-Iod-Batterie Lernschritt 2.3.
1) Der Elektrolyt muss Hydroxid-Ionen enthalten, weil dadurch eine Redoxreaktion stattfinden kann.	→ ✓ bestätigt	→ X falsifiziert
2a) Bei der Reaktion an der Katode müssen Teilchen entstehen, die Kationen anziehen und Anionen abstoßen, weil erst dann der Stromkreis geschlossen ist.	→ ✓ bestätigt	→ X falsifiziert und verallgemeinert: 2b) Durch die Oxidation an der Anode müssen entweder Kationen entstehen oder Anionen durch Reaktion dem Elektrolyten entzogen werden, weil dann Anionen angezogen werden und Kationen abgestoßen werden, was für einen geschlossenen Stromkreis notwendig ist. Durch die Reduktion an der Katode müssen entweder Anionen entstehen oder Kationen durch Reaktion dem Elektrolyten entzogen werden, weil dann Kationen angezogen werden und Anionen abgestoßen werden, was für einen geschlossenen Stromkreis notwendig ist.
3a) An der Anode muss eine Oxidation und an der Katode eine Reduktion stattfinden, weil an der Anode Zink zu Zinkoxid wird und dabei Sauerstoff aufnimmt und an der Katode Silberoxid zu Silber reagiert und dabei Sauerstoff abgibt.	→ X falsifiziert und verallgemeinert: 3b) An der Anode muss eine Oxidation und an der Katode eine Reduktion (???) stattfinden, weil an der Anode Zink zu Zinkoxid wird und dabei Sauerstoff aufnimmt und an der Katode Sauerstoff vernichtet wird.	→ X falsifiziert und verallgemeinert: 3c) An der Anode muss eine Oxidation und an der Katode eine Reduktion stattfinden, weil eine Oxidation definiert ist als eine Reaktion, bei der Elektronen abgegeben werden, und eine Reduktion als eine Reaktion, bei der Elektronen aufgenommen werden.
4a) Das Material der Katode muss Elektronen aufnehmen können und das Material der Anode muss Elektronen abgeben können, weil dies für die Erzeugung der Elektronenbewegung über das Kabel notwendig ist.	→ X falsifiziert und verallgemeinert: 4b) An der Katode müssen Elektronen aufgenommen werden und an der Anode abgegeben werden, weil dies für die Erzeugung der Elektronenbewegung über das Kabel notwendig ist.	→ ✓ bestätigt
5) Der Elektrolyt muss frei bewegliche Ionen enthalten, weil dies für den Stromfluss notwendig ist.	→ ✓ bestätigt	→ ✓ bestätigt

geschlossen ist. Ein Rückblick auf das Modell der Zink-Silberoxid-Batterie zeigt jedoch, dass diese Hypothese nicht allgemein gültig ist, da sie hier für die Anode nicht gilt. Die Lehrkraft fordert die Lernenden daraufhin auf, zu überlegen, ob auch an der Anode Anionen angezogen und Kationen abgestoßen werden. Dies führte in der Versuchsgruppe zu der Idee, dass an der Anode der Zink-Silberoxid-Knopfzelle Hydroxidionen durch Reaktion dem Elektrolyten entzogen werden und somit Kationen verbleiben und diese Anionen anziehen und Kationen abstoßen würden. Dieser Gedankengang macht eine Verallgemeinerung der Hypothese 2a zu 2b möglich (Tab. 5). So kann am Ende der Unterrichtseinheit auch der Leitungsmechanismus im Elektrolyten aufgeklärt werden.

Das Reflektieren bezüglich der Eigenschaften von Modellen und dem Testen von Modellen mit den Satzanfängen (Tab. 3) an den entsprechenden Stellen des Modellbildungsprozesses dient zur Unterstützung der Förderung dieser beiden Teilkompetenzen. Dabei kann auch eine durch gezielte Impulssetzung stärker angeleitete Reflexion stattfinden, wie in der Versuchsgruppe zu den Eigenschaften des Modells der Zink-Iod-Batterie umgesetzt (Abb. 4). Diese zielorientiertere Reflexion leitet

den Blick noch stärker auf den Prozess der Modellbildung als auf die Inhalte.

4. Evaluation und Fazit

Um das Förderziel Modellkompetenz zu überprüfen, fand in der Versuchsgruppe vor Beginn der Unterrichtseinheit, nach dem ersten Unterrichtsabschnitt zum Leitungsmechanismus im Elektrolyten und nach dem zweiten Unterrichtsabschnitt zu den Batterien jeweils eine Diagnose statt. Dazu erhielten die Lernenden die Satzanfänge zu den fünf Teilkompetenzen der Modellkompetenz (Tab. 3) und vervollständigten diese in Einzelarbeit. Weitere Unterfragen zu den einzelnen Teilkompetenzen, wie sie zur Förderung der Modellkompetenz in den reflexiven Gruppenphasen eingesetzt wurden (Abb. 4), erhielten die Lernenden nicht. Die Antworten wurden anschließend von der Lehrkraft mithilfe des Kompetenzrasters (Tab. 1) ausgewertet.

Tab. 6 zeigt, wie viele Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe sich in der Ausgangs- (Au), in der Zwischen- (Z) und in der Abschlussdiagnose (Ab) in den einzelnen Teilkompe-

Reflexionsschema: Einsatz von Modellen zum Erkenntnisgewinn am Original „Zink-Silberoxid-Knopfzelle“

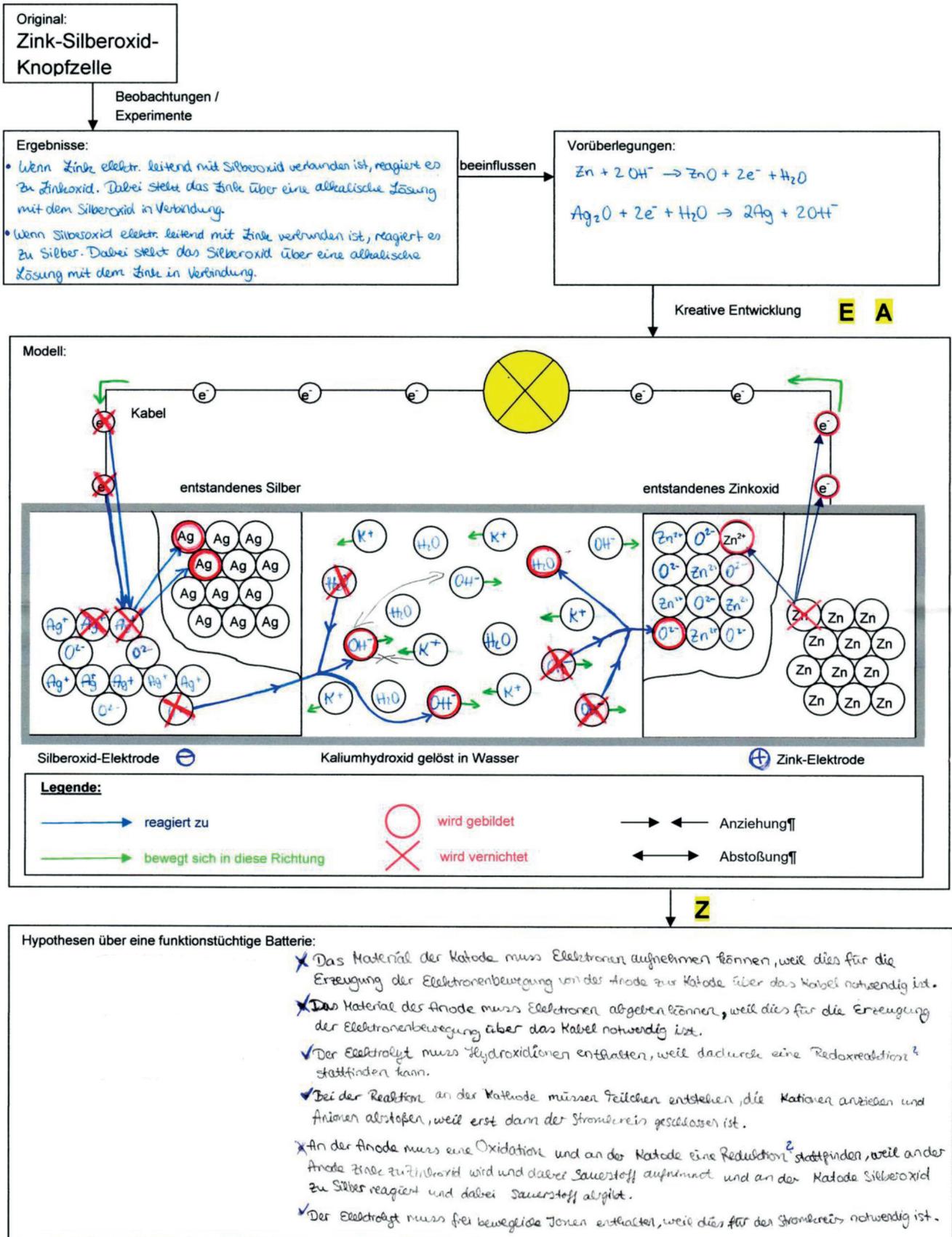


Abb. 3: Reflexionsschema „Zink-Silberoxid-Knopfzelle“ für Lernschritt 2.1., ausgefüllt von einer Schülerin der Versuchsgruppe. E = Eigenschaften von Modellen, A = Alternative Modelle, Z = Zweck von Modellen, T = Testen von Modellen, Ä = Ändern von Modellen.

- 4.) Beschreibt die „Eigenschaften“ des Modells. Beantwortet dazu folgende Fragen:
- Was haben Modell und Original gemeinsam? Was unterscheidet sie?
 - An dem Original konnte man viele Dinge des Modells z.B. die Entstehung von Zinkionen und Iodidionen nicht sehen. Warum habt ihr sie trotzdem im Modell dargestellt? Was bedeutet dies für die „Eigenschaft“ des Modells?
 - Kommentiert folgende Aussage: „Das Modell ist ein Abbild der Zink-Iod-Batterie“.

• bei dem Modell ist es auf Teilenebene dargestellt
 • Modell zeigt unsere Vorstellung bei der Reaktion
 • Gleicher Prozess, Stoffe
 • Unterschiedliche Ebenen
 • es ist kein Abbild, da es ja nicht so aussieht

Abb. 4: Durch gezielte Impulssetzung angeleitete Reflexion bezüglich der Eigenschaften von Modellen am Beispiel Zink-Iod-Batterie in Lernschritt 2.3

tenzen auf welchem Niveau befanden. Die Einstufung in die Niveaustufen erfolgte ausschließlich basierend auf der Analyse der vervollständigten Satzanfänge der Diagnose. Insgesamt konnte in der Unterrichtseinheit in allen Teilkompetenzen der Modellkompetenz entweder von der Ausgangs- zur Zwischendiagnose oder von der Zwischen- zur Abschlussdiagnose eine Steigerung der Modellkompetenz erzielt werden.

Eine besonders deutliche Kompetenzsteigerung fand in den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen*, *Testen von Modellen* und *Ändern von Modellen* statt.

Vor Beginn der Unterrichtseinheit befanden sich die meisten Schülerinnen und Schüler in der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* auf Niveau I und äußerten sich ähnlich wie folgende Schülerin: Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass „das Modell eine möglichst genaue (meist etwas vergrößerte) Kopie des Originals darstellt“. Am Ende der Unterrichtseinheit erreichte die Hälfte aller Lernenden Niveau III, was beispielsweise so ausgedrückt wurde: Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass „das Modell nur unsere Vorstellung zeigt, wie es im Original sein könnte“.

In der Teilkompetenz *Testen von Modellen* befanden sich die Lernenden vor der Unterrichtseinheit bereits mehrheitlich auf

Niveau II, was sich zum Beispiel durch folgende Äußerung zeigte: Modelle überprüft man, indem „man googelt ;-), im Buch nachliest, wie das Original ist, und die Eigenschaften vergleicht“.

Nach der Unterrichtseinheit erreichte fast die Hälfte der Lernenden Niveau III. Ein Schüler schrieb zum Beispiel: Modelle überprüft man, indem „man Hypothesen über einen Versuch anhand des Modells aufstellt und am Original überprüft“.

Zum Zeitpunkt der Ausgangsdiagnose äußerte die Hälfte der Lernenden auf dem Niveau der folgenden Schüleraussagen, dass Modelle verändert werden, weil „sich auch die Stoffe ändern“ (Niveau 0) oder „man verschiedene Möglichkeiten des Aufbaus bzw. der Funktion testen möchte“ (Niveau I). Bei der Abschlussdiagnose befanden sich fast alle Lernenden auf Niveau II und vervollständigten den Satzanfang z.B. damit, dass Modelle verändert werden, weil „sie nicht alle Eigenschaften des Originals richtig darstellen“.

Insgesamt hat der Einsatz des einheitlichen Reflexionsschemas (Abb. 1, 2, 3) wesentlich zur Förderung der Modellkompetenz beigetragen. Dies kann auch daraus geschlossen werden, dass die Lernenden der Versuchsgruppe gegen Ende der Unterrichtseinheit qualitativ sehr hochwertige Vorträge zur Verortung des Standes im Modellbildungsprozess hielten. Diese Unterrichtseinheit zeigt, dass sich die Konzepte zur Förderung der Modellkompetenz aus der Biologiedidaktik [8,9] auf den Chemieunterricht am Kontext „Batterie“ übertragen lassen. Alternative Schülervorstellungen können als Grundlage für die Modellbildung in den Modellbildungsprozess einbezogen werden, was die Chance erhöht, Modelle zu erhalten, die im Modellbildungsprozess tatsächlich falsifiziert und geändert werden können. Gleichzeitig kann so bei den Lernenden ein Umdenken bzw. eine Erweiterung in Bezug auf ihre Vorstellungen und Konzepte initiiert werden.

Die AG Bildungsstandards der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh beschäftigt sich mit der Entwicklung und Erprobung weiterer Unterrichtseinheiten zur Förderung der Modellkompetenz. Dies wird zeigen, ob sich der hier gezeigte Modellbildungsprozess auch in anderen Themengebieten des Chemieunterrichts umsetzen lässt.

Tab. 6: Evaluation der Entwicklung der Modellkompetenz in der Versuchsgruppe. Die Zahlen geben an, wie viele Schülerinnen und Schüler zum Zeitpunkt der Ausgangsdiagnose (Au), Zwischendiagnose (Z) und Abschlussdiagnose (Ab) in die jeweiligen Niveaus eingestuft wurden. Die deutlichsten Kompetenzsteigerungen von der Ausgangs- zur Abschlussdiagnose sind durch grüne Pfeile markiert (Zunahme der Anzahl der Lernenden von mehr als 10 in Niveau II oder III). Die Diagnose wurde zu allen drei Messzeitpunkten mit 24 Schülerinnen und Schülern einer Klasse durchgeführt. Die geringe Anzahl der Schülerinnen und Schüler, die jeweils zu einer Teilkompetenz keine oder keine mit dem Kompetenzraster auswertbare Antwort gaben, wurde in dieser Darstellung nicht mit aufgenommen.

	Niveau 0	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Eigenschaften von Modellen (E)		Au: 17 Z: 18 Ab: 10	Au: 5 Z: 6 Ab: 0	Au: 0 Z: 0 Ab: 12 
Alternative Modelle (A)	Au: 2 Z: 4 Ab: 3	Au: 12 Z: 13 Ab: 8	Au: 6 Z: 4 Ab: 5	Au: 0 Z: 2 Ab: 8
Zweck von Modellen (Z)		Au: 12 Z: 6 Ab: 10	Au: 12 Z: 12 Ab: 11	Au: 0 Z: 6 Ab: 2
Testen von Modellen (T)	Au: 0 Z: 0 Ab: 0	Au: 1 Z: 0 Ab: 0	Au: 19 Z: 14 Ab: 13	Au: 0 Z: 8 Ab: 11 
Ändern von Modellen (Ä)	Au: 5 Z: 0 Ab: 0	Au: 7 Z: 1 Ab: 2	Au: 8 Z: 18 Ab: 19 	Au: 0 Z: 4 Ab: 2

Literatur

- [1] Marohn, A. (1999). Falschvorstellungen von Schülern in der Elektrochemie – eine empirische Untersuchung. Universität Dortmund, Dissertation.
- [2] Schmidt, H.-J. (1994). Der Oxidationsbegriff in Wissenschaft und Unterricht. *Chemie in der Schule* **1/41**, 6–10.
- [3] Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *Int. J. Sci. Educ.* **11/5**, 514–529.
- [4] Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *J. R. Sci. Teach.* **28/9**, 799–822.
- [5] Grünkorn, J., Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *Int. J. Sci. Educ.* **36/10**, 1651–1684.
- [6] Terzer, E., Patzke, C., Upmeyer zu Belzen, A. (2012). Validierung von Multiple-Choice Items zur Modellkompetenz durch lautes Denken. In: Harms, U., Bogner, F. X. (Hrsg.). *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*. Studienverlag, Innsbruck, 45–62.
- [7] Trier, U., Upmeyer zu Belzen, A. (2009). „Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist.“: Schülervorstellungen zu Modellen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* **8**, 23–37.
- [8] Fleige, J., Seegers, A., Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. (Hrsg.) (2012). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7–10*. Auer Verlag, Donauwörth.
- [9] Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN* **16**, 41–5.
- [10] Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *ZfDN* **12**, 91–109.
- [11] Stäudel, L. (2012). Von der Modellnutzung zum Modellieren. Was der naturwissenschaftliche Unterricht vom Mathematikunterricht gelernt hat. *NiU-Unterricht Chemie* **132**, 17–22.
- [12] Marohn, A., (2012). Wie ‚kommt‘ der Strom durch die Lösung? Choice2learn - Diagnose und Veränderung. In: Wambach, H. & Wambach-Laicher, J. (Hrsg.). *Individualisieren und Aktivieren im Chemieunterricht SII Band 1*, Aulis, 83–93.
- [13] Flint, A. (2013). „Chemie fürs Leben“. *Elektrochemie*. 1. Konzeptbaustein: Von der „Strom leitenden“ Kartoffel zur Elektrolyse. Einführung in die Elektrochemie. Ein schülerorientiertes Konzept zur Behandlung des Themas Elektrochemie. Universität Rostock Institut für Chemie. <http://www.chemie1.uni-rostock.de/didaktik/pdf/elektrochemie1.pdf> (letzter Zugriff am 24.03.2016).
- [14] Rossow, M., Flint, A. (2009). Die „Erweiterung“ des Redox-Begriffs mit Stoffen aus dem Alltag. *CHEMKON* **16/2**, 83–89.
- [15] Marx, L. (2016). Modelle in der Chemie – Das Modellverständnis im Chemieunterricht fördern. *PdN-ChiS* **65/2**, 23–26.
- [16] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (Hrsg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Luchterhand Verlag, Neuwied, 12. http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf (letzter Zugriff am 24.03.2016).
- [17] Hessisches Kultusministerium (HKM) (Hrsg.) (2015). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe Chemie*. Wiesbaden, 20. <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kgco-ch.pdf> (letzter Zugriff am 24.03.2016).
- [18] Grünkorn, J., Lotz, A., Terzer, E. (2014). Erfassung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *MNU* **67/3**, 132–138.
- [19] Barke, H.-D., Selenski, T., Sopandi, W. (2003). Mineralwasser und Modellvorstellungen. *PdN-ChiS* **52/2**, 15–18.

Eingegangen am 23. Juni 2016

Angenommen am 10. Dezember 2016

Online veröffentlicht am 2. November 2017

Neugierig?



Erlebnis Wissenschaft



GERD GANTEFÖR
**Wir drehen am Klima
– na und?**

ISBN: 978-3-527-33778-1
September 2015 238 S. mit 50 Abb.
Gebunden € 24,90

Das neue Buch von Gerd Ganteför provoziert: Ohne Klimakontrolle durch den Menschen können wir den Klimawandel nicht beherrschen! Gerd Ganteför vertritt in seinem Buch zwei starke und umstrittene Thesen. Erstens: Die Energiewende als Mittel gegen die Klimaerwärmung versagt. Zweitens: Wir brauchen einen Plan B, die aktive, zielgerichtete Klimakontrolle.

Klimakontrolle befindet sich derzeit noch im Experimentierstadium. Vorreiter auf diesem Gebiet ist die Volksrepublik China, die mit einem staatlichen „Wetteränderungsamt“ beispielsweise bei den Olympischen Spielen in Peking 2008 für Schönwetter sorgte, in dem eine durch Flugzeuge versprühte Chemikalie die Regenwolken „manipulierte“.

Provokant, meinungsstark, einzigartig – das erste Buch, das eine aktive Klimakontrolle propagiert!

NEU


Auch als
E-Books unter:
www.wiley-vch.de/ebooks/

www.wiley-vch.de/sachbuch

Irtrum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: August 2015.

Wiley-VCH • Postfach 10 11 61 • D-69451 Weinheim
Tel. +49 (0)6201-606400 • e-mail: service@wiley-vch.de

WILEY-VCH