

Stein, Melanie

## Ergänzung eines bestehenden Erhebungsinstruments zum Umgang von Lehrkräften mit "Fehlvorstellungen" von Schülern

Kassel : kassel university press 2016, 105 S. - (Reihe Studium und Forschung; 25)



Quellenangabe/ Reference:

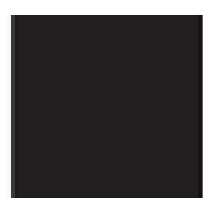
Stein, Melanie: Ergänzung eines bestehenden Erhebungsinstruments zum Umgang von Lehrkräften mit "Fehlvorstellungen" von Schülern. Kassel : kassel university press 2016, 105 S. - (Reihe Studium und Forschung; 25) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-306368 - DOI: 10.25656/01:30636

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-306368>

<https://doi.org/10.25656/01:30636>

in Kooperation mit / in cooperation with:

**kassel**  
**university**



**press**

<http://kup.uni-kassel.de>

### Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### Kontakt / Contact:

**peDOCS**  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

## Reihe Studium und Forschung | 25

*Ausgezeichnet mit dem Martin-Wagenschein-Preis 2014 des ZLB*

Melanie Stein

**Ergänzung eines bestehenden  
Erhebungsinstruments zum  
Umgang von Lehrkräften mit  
„Fehlvorstellungen“ von Schülern**

Melanie Stein

**Ergänzung eines bestehenden  
Erhebungsinstruments zum  
Umgang von Lehrkräften mit  
„Fehlvorstellungen“ von Schülern**

Ausgezeichnet mit dem  
Martin-Wagenschein-Preis 2014 des ZLB

Kassel 2016

Zentrum für Lehrerbildung der Universität Kassel (Hrsg.)  
Reihe Studium und Forschung, Heft 25

Zu dieser Publikation gehört ein **Anhang** mit den Pilotierungsbögen Nr. 1-25, der online veröffentlicht wurde bei KOBRA (Kasseler OnlineBibliothek, Repository und Archiv), dem digitalen Archiv für die wissenschaftlichen Dokumente der Universität Kassel: <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/handle/urn:nbn:de:hebis:34-2011040837235>

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-7376-5004-5

© 2016, kassel university press GmbH, Kassel  
[www.upress.uni-kassel.de](http://www.upress.uni-kassel.de)

Druck und Verarbeitung: Print Management Logistics Solutions GmbH, Kassel  
Printed in Germany

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1. Einleitung</b> .....	9
<b>2. Theoretischer Hintergrund von Schülern</b> .....	11
2.1 Zur Begriffsdefinition von „Fehlvorstellungen“ .....	11
2.2 Mögliche Ursachen für alternative Schülervorstellungen .....	12
2.3 Lerntheoretische Begründung für eine Beschäftigung mit alternativen Schülervorstellungen.....	15
2.4 Der Umgang mit alternativen Schülervorstellungen .....	18
2.4.1 Diagnose von alternativen Schülervorstellungen .....	18
2.4.2 Ansätze zur Überwindung von alternativen Schülervorstellungen .....	20
2.5 Aktuelle Forschung zum Umgang mit alternativen Schülervorstellungen – Kooperationsprojekt zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund .....	26
2.5.1 Methodik des Forschungsprojektes .....	27
2.5.2 Darlegung der Fragebogenstudie .....	28
2.5.3 Darlegung der Videostudie.....	32
<b>3. Das Thema „Redoxreaktionen“</b> .....	34
3.1 Einordnung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ in den hessischen Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs.....	34
3.2 Der Redoxbegriff.....	37
3.2.1 Theoretischer Hintergrund zur historischen Entwicklung des Redoxbegriffs.....	38
3.2.2 Schülervorstellungen zum Redoxbegriff.....	40
3.3 Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen.....	41
3.3.1 Theoretischer Hintergrund zu den Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen.....	42
3.3.2 Schülervorstellungen zu den Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen .....	45
3.4. Redoxvorgänge in elektrochemischen Zellen .....	49
3.4.1 Theoretischer Hintergrund zu den Redoxvorgängen in elektrochemischen Zellen .....	50
3.4.2 Schülervorstellungen zu den Redoxvorgängen in elektrochemischen Zellen .....	52
<b>4. Methodischer Hintergrund: Der Fragebogen als Erhebungsinstrument</b> .....	55
4.1 Qualitätsanforderungen an das Erhebungsinstrument.....	56
4.1.1 Objektivität .....	57
4.1.2 Reliabilität .....	58
4.1.3 Validität .....	58
4.2 Planung und Entwicklung von Fragebogenitems .....	60
4.2.1 Wahl der Itemformate.....	60
4.2.2 Formulierung der Fragebogenitems.....	62

<b>5.</b>	<b>Vorstellung, Analyse und Ziele der entwickelten Fragebogenitems</b> .....	65
5.1	Fragebogenitem 1 – Unterrichtsvignette .....	66
5.2	Fragebogenitem 2 – Antwort auf eine Klausuraufgabe .....	67
5.3	Fragebogenitem 3 – Concept Cartoon .....	69
5.4	Fragebogenitem 4 – Versuchsauswertung.....	71
5.5	Fragebogenitem 5 – Mehrfach-Wahlaufgabe.....	74
5.6	Fragebogenitem 6 – Mehrfach-Wahlaufgabe.....	75
<b>6.</b>	<b>Pilotierung der Fragebogenitems</b> .....	77
6.1	Pilotierungsergebnisse der Fragebogenitems mit offenem Antwortformat).....	78
6.2	Pilotierungsergebnisse der Fragebogenitems mit geschlossenem Antwortformat.....	86
<b>7.</b>	<b>Optimierte Fassung der Fragebogenitems</b> .....	90
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	94
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	98
<b>10.</b>	<b>Abbildungen</b> .....	105
<b>11.</b>	<b>Tabellen</b> .....	105

## Vorwort

Seit langem sind „alternative Vorstellungen“, „Fehlvorstellungen“ oder „misconceptions“, also Vorstellungen, die nicht mit dem aktuellen wissenschaftlichen Konsens in Einklang stehen, weltweit ein Forschungsgegenstand der Chemie-didaktik. Konstruktivistische Lerntheorien können dabei das Auftreten alternativen Vorstellungen bei Schülerinnen und Schülern ebenso erklären, wie die Tatsache, dass das Vorliegen solcher Vorstellungen für das Weiterlernen hinderlich sein kann. Auf der Basis dieses theoretischen Verständnisses wurden in der Vergangenheit eine ganze Reihe von Vorschlägen entwickelt, wie Lehrende konstruktiv mit alternativen Vorstellungen von Lernenden umgehen könnten – allerdings ohne dass sich gezeigt hätte, dass damit die unterrichtlichen Probleme, die alternative Vorstellungen mit sich bringen, merklich zurückgegangen wären.

Vor diesem Hintergrund wurde in Kooperation zwischen den Universitäten in Dortmund und Kassel ein Projekt durchgeführt, mit dem erforscht werden sollte, wie Lehrkräfte mit Fehlvorstellungen von Schülern wirklich umgehen. Um dabei nicht darauf angewiesen zu sein, bei Unterrichtsbesuchen oder -beobachtungen zufällig auf Fehlvorstellungen von Lernenden zu stoßen, wurde ein Fragebogen entwickelt, der die Reaktion der befragten Lehrkräfte auf in typische Lehrsituationen eingebettete Fehlvorstellungen abfragte. Die im Folgenden wiedergegebene wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien im Fach Chemie von Melanie Stein hatte dabei die Aufgabe, das für diese Erhebung bestehende Instrument um weitere Fragen und somit weitere eingebettete Fehlvorstellungen zu erweitern.

Dazu widmet sich Frau Stein zu Beginn ihrer Ausführungen den theoretischen Grundlagen der sogenannten „Fehlvorstellungen“ von Schülern. Sie argumentiert dabei unter Berücksichtigung aller wesentlichen Aspekte logisch äußerst stringent und führt das verfügbare Forschungswissen zu diesem Bereich sowohl allgemein theoretisch als auch vor dem Hintergrund der Aufgabe ihrer Arbeit exzellent zusammen. Besonders hervorzuheben sind die überaus gelungenen Abschnitte, in denen Frau Stein die Wechselwirkungen von Fachsprache und Fehlvorstellungen sowie von Modellen und Fehlvorstellungen bedenkt. Gerade letzteres führt sie unter Bezugnahme auf Johnstone tiefgründig aus und nimmt im Rahmen der fachlichen Erwägungen im Vorfeld der konkreten Erarbeitung von Items im praktischen Teil der Arbeit geglückt darauf Bezug. Auf äußerst hohem Niveau bewegt sich auch die Erwägung lerntheoretischer Begründungen für die Beschäftigung mit Schüler(fehl)vorstellungen.

Überaus gelungen ist die Charakterisierung diagnostischer Instrumente wie des „Concept Cartoons“, der Lernbegleitbögen sowie der Concept Maps, wo-

bei besonders hervorgehoben werden muss, dass es Frau Stein auch im Zusammenhang mit den Concept Cartoons im Laufe der Arbeit immer wieder vorbildlich gelingt, an die zusammengetragenen theoretischen Überlegungen anzuknüpfen und logisch stringent auf sie aufzubauen. Zu den Ansätzen des Conceptual Change gibt Frau Stein einen exzellenten und gerade hinsichtlich der Frage nach der Ablösung bzw. schrittweisen Veränderung bestehender Schülerkonzepte hochgradig reflektierten Überblick, der auch aktuelle Forschungen auf diesem Gebiet nicht außer Acht lässt. Hervorzuheben ist im Rahmen der hier wiedergegebenen Arbeit auch die Art und Weise, in der Frau Stein sich dem fachlichen Thema widmet, auf das sich die Fehlvorstellungen beziehen, die Gegenstand der von ihr entwickelten Erweiterung des Erhebungsinstrumentes werden soll: Sie betrachtet dazu das Thema Redoxreaktionen theoretisch und leitet zu Beginn zunächst sehr nachvollziehbar ab, warum sie sich – entgegen der thematischen Breite im bereits bestehenden Instrument – dafür entscheiden hat, sich nur eines Themas, diesem dafür aber in größerer Tiefe, zuzuwenden. Der in diesem Zusammenhang aufgestellten Behauptung, beim Thema „Redoxreaktionen“ handele es sich um ein Problemthema des Chemieunterrichts, das mit vielen Schülerfehlvorstellungen behaftet sei, verleiht Frau Stein dann – nach einer zunächst erfolgten umfassenden und zutreffenden Lehrplananalyse – eindrucksvoll Nachdruck, indem sie zu den zentralen Aspekten „Redoxbegriff“, „Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen“ sowie „elektrochemische Zellen“ eine große Zahl von Fehlvorstellungen aus der Literatur zusammenführt.

Besonders hervorzuheben sind in dieser Arbeit auch die Überlegungen hinsichtlich des methodischen Vorgehens: In hervorragend reflektierter Weise bedenkt Frau Stein hier ausführlich jeden Aspekt ihres geplanten Vorgehens, so zum Beispiel die Frage der Gütekriterien für Erhebungsinstrumente, in deren Rahmen sie insbesondere die Objektivität und Validität differenziert darstellt und vor dem Hintergrund ihrer Arbeit ausführt. Besonders eindrücklich sind zudem die Überlegungen zur Herstellung einer authentischen Situation im Kontext ihrer Erwägungen zur Validität, die sie zwanglos und logisch einwandfrei mit der Nutzung von Unterrichtsvignetten in Beziehung zu setzen versteht.

Vor dem Hintergrund all dieser Vorüberlegungen werden in der Arbeit schließlich sechs hervorragend begründete und sorgfältig konstruierte Items zur Erweiterung des bestehenden Erhebungsinstrumentes zur Erforschung des Umgangs von Lehrkräften mit Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern vorgestellt, wobei eine große Bandbreite an Itemformaten realisiert wird und die darin zu testenden Fehlvorstellungen nachvollziehbar nach Typ, Kontext und Lehrplanbezug ausgewählt und eingeordnet werden. Angesichts der Tatsache, dass für die Erstellung der vorliegenden Arbeit nur eine sehr begrenzte Zeit zur Verfügung stand, ist es schließlich hervorzuheben, dass Frau Stein



die von ihr konstruierten Items zusätzlich zu ihrer theoretischen Begründung und Konzeption in einer kleinen Pilotstudie getestet und entsprechend den Ergebnissen weiter optimiert hat.

Mit diesem vorbildlich durchgeführten Entwicklungs- und Erprobungsprojekt hat Frau Stein im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Hausarbeit somit einen bedeutsamen Beitrag zur Erforschung des Umgangs von Lehrkräften mit Schüler(fehl)vorstellungen leisten können. Dass diese Arbeit mit dem Martin-Wagenschein-Preis des Zentrums für Lehrerbildung der Universität Kassel ausgezeichnet und hier einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird, erscheint mir vor diesem Hintergrund mehr als gerechtfertigt.

Kassel, im Dezember 2015

Prof. Dr. David-S. Di Fuccia

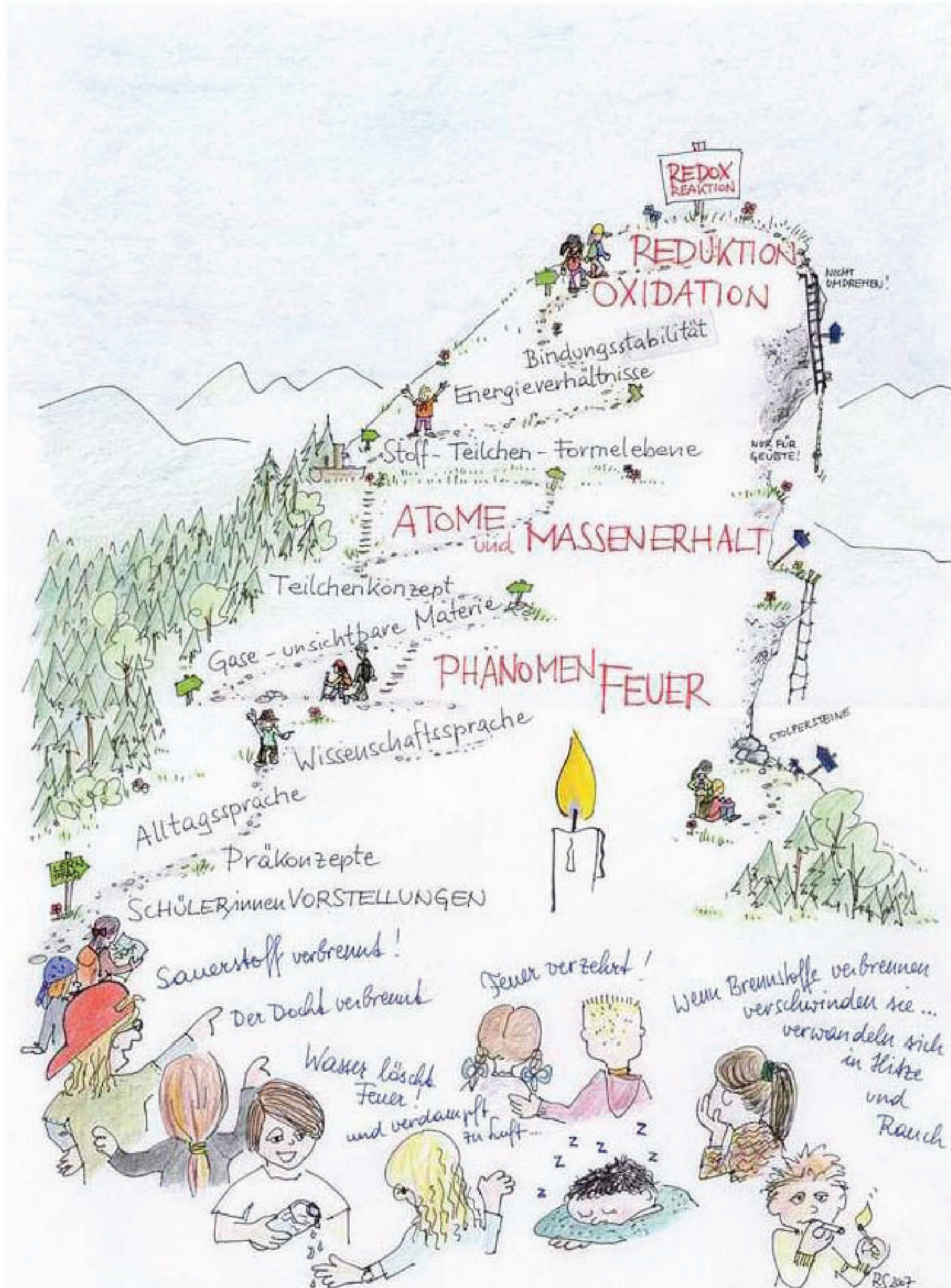


Abbildung 1: Lernwege zum Thema „Redoxreaktionen“ (entnommen: Steinger 2010, S. 90)

## 1. Einleitung

*„Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist das, was der Lernende bereits weiß.“ (Ausubel & Novak 1980, S. 5)*

Wie es dieses Zitat bereits zum Ausdruck bringt, spielt das Vorwissen von Lernenden eine entscheidende Rolle für den Lernprozess. Wissenschaftlichen Befunden zufolge prägt das, was der<sup>1</sup> Lernende bereits weiß, den Lernprozess deshalb so entscheidend, weil das Vorwissen bestimmt, welche Informationen vom Lernenden wahrgenommen und verarbeitet bzw. ob und wie sie mit bereits vorhandenen Erfahrungen und Kenntnissen vernetzt werden (Krapp & Weidemann 2006, S. 164 ff.; Petermann 2010, S. 1; Sumfleth 1992, S. 410). Das Vorwissen bildet also stets die Grundlage für die Konstruktion neuen Wissens (Häußler et al. 1998, S. 170; Marohn 2008, S. 60). Aus konstruktivistischer Perspektive ist jeder Lernprozess als ein individueller und aktiver Vorgang zu verstehen, bei dem der Lernende auf seinen bisherigen Erfahrungen beruhend Wissen konstruiert, reorganisiert und schließlich erweitert (Steininger & Lembens 2011, S. 27).

Bedingt durch Beobachtungen und Erfahrungen im Alltag besitzt jeder Lernende vielzählige und unterschiedliche Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen (Sumfleth 1992, S. 411). Allerdings weicht vieles, was der Lernende über naturwissenschaftliche Phänomene bereits vor Eintritt in den Chemieunterricht oder sogar nachdem er ihn wieder verlässt weiß, von der aktuell anerkannten naturwissenschaftlichen Denkweise ab. Da Lernende neue Informationen stets vor dem Hintergrund bereits vorhandener Kenntnisse interpretieren, kann ihr Vorwissen einerseits als Anknüpfungspunkt für neue Unterrichtsinhalte dienen und das Lernen neuer Informationen unterstützen (Möller 2010, S. 57). Demgegenüber kann jedoch das Lernen von tragfähigen Konzepten auch erschwert werden, wenn die als Wissensbasis dienenden Kenntnisse fehlerhaft sind (Steininger & Lembens 2011, S. 27; Nieswandt 2001, S. 34).

Berücksichtigt man diesen enormen Einfluss, den das Vorwissen der Schüler und somit auch deren Vorstellungen über naturwissenschaftliche Sachverhalte auf den weiteren Lernprozess hat, wird deutlich, warum sich vielzählige naturwissenschaftsdidaktische Forschungsarbeiten mit Schülervorstellungen beschäftigen. So wurde bereits in zahlreichen Studien dokumentiert, welche Schülervorstellungen zu den verschiedenen Themengebieten der Chemie existieren, wie diese diagnostiziert werden können und wie man ihnen schließlich im Unterricht begegnen und sie positiv für Lernprozesse nutzen kann (sie-

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit zur Bezeichnung von Personengruppen stets das generische Maskulinum gewählt, welches sich sowohl auf männliche als auch auf weibliche Angehörige der jeweiligen Personengruppe bezieht.

he u.a. Barke 2006; Duit 2009; Driver 1989; Horton 2007; Kind 2004; Taber 2002a; Taber 2002b).

Bislang blieb jedoch die Frage, wie Chemielehrkräfte in der alltäglichen Unterrichtspraxis mit Schülervorstellungen umgehen, weitestgehend unerforscht (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 52). Aus diesem Grund wird derzeit im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund untersucht, wie Lehrkräfte im Chemieunterricht auf jene Schülervorstellungen reagieren, die nicht mit einer modernen naturwissenschaftlichen Denkweise in Einklang zu bringen sind. Mithilfe einer Fragebogen-, Video- und Interviewstudie sollen grundlegende Daten zum Umgang von Lehrern mit Vorstellungen von Schülern erhoben werden, um die erzielten Erkenntnisse für die universitäre Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften nutzen zu können (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 51).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) für die Fragebogenstudie des Kooperationsprojektes entwickelte Erhebungsinstrument zum Umgang von Lehrkräften mit „Fehlvorstellungen“ von Schülern zu ergänzen und somit einen Beitrag zur Förderung der Qualität der Lehrerbildung und des zukünftigen Chemieunterrichts zu leisten. Die im Rahmen dieser Arbeit konzipierten Fragebogenitems sollen dazu dienen, speziell den Umgang von Lehrern mit Schülervorstellungen zum Themengebiet „Redoxreaktionen“ zu erforschen, das häufig sowohl von Schülern als auch von Lehrern als besonders herausfordernd und schwierig empfunden wird (Fiebig & Melle 2001, S. 200; Markic & Eilks 2005, S. 8).

Da die im Rahmen des oben genannten Kooperationsprojektes bisher geleistete Forschungsarbeit den Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Fragebogenitems<sup>2</sup> bildet, werden in einem ersten Schritt zunächst die theoretischen Grundlagen zu „Fehlvorstellungen“ von Schülern und der aktuelle Stand der Forschung zum Umgang von Lehrkräften mit diesen „Fehlvorstellungen“ dargelegt. Die zu entwickelnden Items sollen allesamt den Umgang von Lehrern mit Schülervorstellungen ermitteln, die bei der Behandlung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ in den Sekundarstufen I und II typischerweise auftreten. Deshalb wird eine Einordnung dieses Themengebietes in den hessischen Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs vorgenommen und eine Auswahl charakteristischer Schülervorstellungen über „Redoxreaktionen“ präsentiert. Die typischen Vorstellungen zu diesem Themengebiet dienen dazu, neue Items als Ergänzung des bereits bestehenden Fragebogens zu formulieren. Welche Qualitätsanforderungen an den Fragebogen gestellt werden und welche Aspekte bei der Planung und Entwicklung der Items bedacht werden

---

<sup>2</sup> Ein Fragebogen besteht immer aus Frage-Antwort-Einheiten. Diese werden als Fragebogenitems oder kurz als Items bezeichnet (Kallus 2010, S. 18).

sollten, wird im methodischen Teil der Arbeit erläutert. Schließlich werden die entwickelten Items, die Pilotierungsergebnisse sowie die auf deren Grundlage optimierte Fassung der Items vorgestellt.

## **2. Theoretischer Hintergrund zu „Fehlvorstellungen“ von Schülern**

Da sich die vorliegende Arbeit mit dem Umgang von Lehrkräften mit „Fehlvorstellungen“ von Lernenden beschäftigt, ist es zunächst wichtig, zu klären, was unter sogenannten „Fehlvorstellungen“ zu verstehen ist. Außerdem soll gezeigt werden, warum diese Bezeichnung einer Relativierung bedarf, wie es die Kennzeichnung des Begriffs mit Anführungszeichen im Titel bereits suggeriert (Kapitel 2.1). Weiterhin gilt es zu erörtern, welche potentiellen Entstehursachen „Fehlvorstellungen“ haben können (Kapitel 2.2). Warum eine Beschäftigung mit eben diesen aus lerntheoretischer Sichtweise sinnvoll ist und welche Handlungsmöglichkeiten für Lehrkräfte bestehen, wird Gegenstand von Kapitel 2.3 und 2.4 sein. Schließlich wird der aktuelle Forschungsstand zum Umgang von Lehrkräften mit „Fehlvorstellungen“ von Schülern dargelegt (Kapitel 2.5).

### **2.1 Zur Begriffsdefinition von „Fehlvorstellungen“**

Lernende entwickeln im Laufe der Jahre durch Alltagsbeobachtungen eigene Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen der sie umgebenden Welt, die häufig nicht den gegenwärtig anerkannten wissenschaftlichen Konzepten entsprechen. Auf der Basis der bisherigen Erfahrungswelt der Lernenden erweisen sich diese eigenen Vorstellungen wiederholend als tragfähig und plausibel, da sie sich häufig für die Erklärung von alltäglichen Beobachtungen bewähren (Barke 2006, S. 22). Berücksichtigt man dies, scheint es nicht gerechtfertigt, diese alternativen Interpretationen der natürlichen Umwelt als „Fehlvorstellungen“ zu bezeichnen. Da diese Art von Vorstellung im vorschulischen Kontext auf der bisherigen Wissensbasis der Lernenden entstehen, bezeichnet sie Barke (2006, S. 21) als Präkonzepte.

Die naturwissenschaftsdidaktische Literatur hat eine Vielzahl von Begrifflichkeiten hervorgebracht, welche eine Assoziation mit „falschen“ Vorstellungen relativieren sollen. So werden beispielsweise Begriffe wie „*naive beliefs*“ (Caramazza, McCloskey & Green 1981), „*preconceptions*“ (Anderson & Smith 1983) oder vorwissenschaftliche bzw. alternative Vorstellungen (Barke 2006, S. 22) in der Literatur dokumentiert (König & Reiners 2003, S. 20). Um den

Begriff „Fehlvorstellungen“ aus den genannten Gründen zu vermeiden, wird in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an Barke (2006, S. 22) der Begriff „alternative Vorstellungen“ verwendet.

Während Cho, Kahle & Nordland (1985) alternative Vorstellungen als „*any conceptual idea whose meaning deviates from the one commonly accepted by scientific consensus*“ (zitiert nach Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 53) charakterisieren, wird in der Definition nach Strike (1983) bereits auf potentielle Auswirkungen von alternativen Vorstellungen auf den Lernprozess hingewiesen: „*a misconception should be regarded as an assumption that is structurally important on the student's belief system: It is something that generates mistakes*“<sup>3</sup> (zitiert nach Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 53).

Neben den schon erwähnten, durch Beobachtungen der Lebenswelt erworbenen, Präkonzepten, unterscheidet Barke (2006, S. 25) zusätzlich noch „hausgemachte Fehlvorstellungen“. Diese werden deshalb als hausgemacht bezeichnet, da alternative Vorstellungen häufig durch Vermittlungsfehler seitens der Lehrkraft oder durch die Komplexität vieler naturwissenschaftlicher Themen im Unterricht erzeugt werden. „Hausgemachte Fehlvorstellungen“ sind deutlich von Präkonzepten abzugrenzen, da erstere durch eine gute Lehrerbildung vermieden werden könnten; Präkonzepte hingegen sind naturgemäß nicht zu verhindern (Barke 2006, S. 21).

In Anlehnung an die bereits vorgestellten Definitionen werden im Folgenden alternative Schülervorstellungen als solche Konzepte definiert, die von den gegenwärtig anerkannten Wissenschaftserkenntnissen in einem Maße abweichen, dass sie möglicherweise Fehler oder Schwierigkeiten im weiteren Lernprozess generieren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 53).

Barkes (2006) Definition von alternativen Vorstellungen hinsichtlich ihrer Entstehungsursachen gestattet bereits einen ersten Einblick in mögliche Quellen von Schülervorstellungen. Eine ausführlichere Darstellung der Ursachen von alternativen Vorstellungen wird in dem folgenden Kapitel vorgenommen.

## **2.2 Mögliche Ursachen für alternative Schülervorstellungen**

Bei der Unterscheidung zwischen Präkonzepten und hausgemachten Fehlvorstellungen im vorherigen Kapitel wurden bereits erste mögliche Ursachen von alternativen Schülervorstellungen genannt: Kinder und Jugendliche ohne spezifisches Fachwissen entwickeln Präkonzepte häufig aufgrund von Alltagserfahrungen und Beobachtungen. Zum Beispiel gehen viele Lernende vor dem

---

<sup>3</sup> An dieser Stelle sei darauf aufmerksam gemacht, dass in Kapitel 2.3 ausführlich erörtert wird, welche Implikationen alternative Vorstellungen für das Lernen haben können.

Eintritt in den naturwissenschaftlichen Unterricht davon aus, dass das Wachs einer Kerze „vernichtet“ wird, wenn die Kerze brennt (Horton 2007, S. 54). Dieses Präkonzept rührt daher, dass die Lernenden beobachten können, dass die Masse einer brennenden Kerze abnimmt. Allerdings sind die Reaktionsprodukte der Verbrennung bzw. die Stoffumwandlung nicht sichtbar, sodass ihre Beobachtungen der Massenabnahme das Konzept der Vernichtung des Brennstoffes bestätigt.

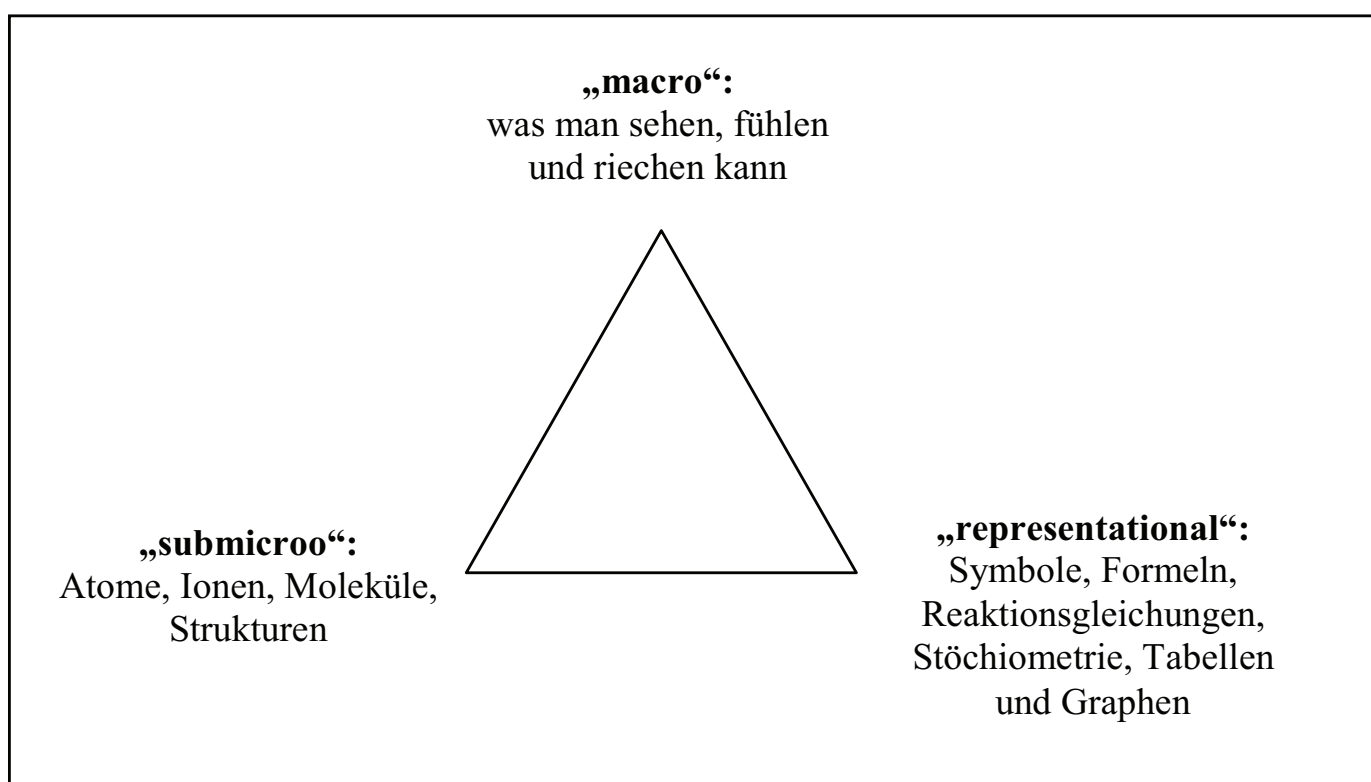
Hierbei spielt zusätzlich der Einfluss von Umgangs- und Alltagssprache eine wesentliche Rolle. Alternative Vorstellungen, die auf Alltagserfahrungen beruhen, werden zusätzlich durch umgangssprachliche Ausdrücke wie etwa „Flecken werden entfernt“, oder „Der Brennstoff ist weg“ gestützt (Barke 2006, S. 29). Die an dieser Stelle zitierten Ausdrücke sind Beispiele für Alltagssprache, die bei Lernenden vielfach das bereits genannte Vernichtungskonzept evozieren und zur Vorstellung von einer Vernichtung von Materie führen können (Barke 2006, S. 43). Das bedeutet folglich, dass Alltags- und Umgangssprache zur Ausbildung oder Festigung von alternativen Vorstellungen beitragen können (Barke 2006, S. 29; Häußler et al. 1998, S. 176). Weiterhin ist zu beachten, dass nicht nur Gespräche im Alltag, sondern auch der oftmals unsachliche Sprachgebrauch der Massenmedien und der Werbung die Lernenden zu alternativen Vorstellungen leiten können (Barke 2006, S.30; Häußler et al. 1998, S. 176).

Alternative Vorstellungen können auch aus vorangegangenen Unterricht resultieren. Sie werden als „hausgemachte Fehlvorstellungen“ (Barke 2006, S. 25) bezeichnet und entstehen, wenn Lerninhalte von der Lehrkraft falsch, aufgrund der Stofffülle des Lehrplans, oder der Komplexität von Lerninhalten nicht hinreichend vermittelt werden (König & Reiners 2003, S. 20).

Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht für die Lernenden im Einsatz von Modellen als Erklärungshilfe für chemische Vorgänge. Der Umgang mit Modellen ist für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess und daher auch für das Lernen im Chemieunterricht von großer Bedeutung, da Teilchen und Vorgänge auf der submikroskopischen Ebene nicht sichtbar sind. Die Schüler lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht deshalb eine Vielzahl von Denk- und Anschauungsmodellen kennen, um makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebene zu erklären und um Hypothesen aus dem Modell abzuleiten (Bindernagel & Eilks 2008, S. 182). Modelle stellen eine potentielle Quelle von alternativen Vorstellungen dar, wenn Lernenden der Modellbegriff unklar ist: Ergebnisse empirischer Untersuchungen weisen darauf hin, dass Schüler offenbar Schwierigkeiten haben, Modellvorstellungen auch als solche zu interpretieren und sie nicht als Abbildung der Wirklichkeit zu betrachten (Driver et al. 1996; zitiert nach Bindernagel & Eilks 2008,

S. 182). Sind sich die Lernenden nicht über den Charakter eines Modells bewusst, kann eine Unterscheidung zwischen der Modellvorstellung und der Realität nicht angemessen vollzogen werden. Ein „verwirrendes Modell-Realitäts-Gemisch“ kann die Folge sein (Mikelskis-Seifert 2002, S. 11).

Des Weiteren können „hausgemachte Fehlvorstellungen“ auch dann entstehen, wenn „die Fachsprache hinsichtlich der Stoffe, der Teilchen und der chemischen Symbole nicht angemessen differenziert wird“ (Barke 2006, S. 30). Im Unterricht muss daher darauf geachtet werden, dass ein reflektierter Perspektivwechsel zwischen den verschiedenen Erklärungs- und Betrachtungsebenen der Chemie erfolgt, um alternative Schülervorstellungen zu vermeiden (Schmidt & Pachmann 2011, S. 17; Taber 2002a, S. 162). Johnstone (2000) stellt die verschiedenen Betrachtungsebenen – die Ebene der Stoffe und Phänomene („macro“), die der Teilchen („submicro“) und die der Symbole und Modelle („representational“) – in Form eines Dreiecks dar (Abbildung 2) und warnt: „*The trained chemist can keep these three in balance, but not the learner*“ (Johnstone 2000, S. 9).



**Abbildung 2:** *Chemical Triangle* nach Johnstone, das die drei unterschiedlichen Betrachtungsebenen der Chemie abbildet (entnommen: Barke 2006, S. 31)

Diese Warnung scheint nicht unbegründet. Studien zeigen, dass es den Lernenden nicht immer gelingt, zwischen diesen unterschiedlichen Ebenen zu unterscheiden (König & Reiners 2003, S. 25). Deshalb kommt es im Chemieunterricht mehrfach dazu, dass z.B. den Teilchen auf submikroskopischer Ebene makroskopische Eigenschaften, wie Farbe oder Temperatur, zugeschrieben werden (Mikelskis-Seifert 2002, S. 16f; Taber 2002a, S. 162). So haben viele Lernende beispielsweise die Vorstellung, dass Schwefelatome gelb sind oder Wärme dadurch entsteht, dass Moleküle selbst eine Tempera-



tur haben (Häußler et AL. 1998, S. 179; Horton 2007, S. 40). Schulbuchdarstellungen mangelnder didaktischer Qualität können die Ausbildung dieser Art von alternativen Vorstellungen zusätzlich begünstigen (Mikelskis-Seifert 2002, S. 28; Taber 2002a, S. 162).

Die Ursachen für alternative Schülervorstellungen sind vielfältig. Trotz Kenntnis der teilweise vermeidbaren Ursachen treten alternative Vorstellungen nach wie vor im naturwissenschaftlichen Unterricht auf und beeinflussen die tägliche Unterrichtspraxis maßgeblich. Welche Implikationen alternative Vorstellungen auf den Lernprozess haben können, wird Gegenstand des folgenden Kapitels sein.

### **2.3 Lerntheoretische Begründung für eine Beschäftigung mit Schülervorstellungen**

*„Wenn wir die ganze Psychologie des Unterrichts auf ein einziges Prinzip reduzieren müßten, würden wir dies sagen: Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist das, was der Lernende bereits weiß. Dies ermitteln Sie, und danach unterrichten Sie Ihren Schüler.“* (Ausubel & Novack 1980, S. 5)

Dieser oft zitierte didaktische Grundsatz David Ausubels deutet bereits darauf hin, dass das Vorwissen von Schülern – und somit auch deren alternative Vorstellungen – das Lernen entscheidend bestimmt und im Unterricht berücksichtigt werden sollten. Diese Einsicht ist keineswegs eine neue und wird durch Untersuchungsergebnisse aus der pädagogischen Psychologie und der Naturwissenschaftsdidaktik gestützt (Oetken 2011, S. 4). Die Forderung nach einer Berücksichtigung und Thematisierung von Schülervorstellungen im Unterricht erfährt ihre Begründung in der<sup>4</sup> konstruktivistischen Sichtweise des Lernens: Der heutige Forschungsstand zu dem komplexen Vorgang des Lernens geht davon aus, dass neue Informationen vom Lernenden nicht passiv übernommen werden können, wie es das Bild vom Nürnberger Trichter suggeriert (Häußler et al. 1998, S. 170). Vielmehr – so lehrt es die in der Didaktik mittlerweile etablierte konstruktivistische Perspektive (Göhlich, Wulf & Zirfas 2007, S. 11) – wird neues Wissen individuell und aktiv vom Lernenden auf der Basis bereits vorhandener Wissensstrukturen selbst konstruiert (Hasselhorn & Gold 2009, S. 64).

---

<sup>4</sup> Unter dem Oberbegriff „Konstruktivismus“ sind mehrere verschiedene Ansätze zu fassen. Da hier jedoch nur auf die gemeinsamen Grundzüge dieser zahlreichen konstruktivistischen Perspektiven Bezug genommen wird, wird im Folgenden der Einfachheit halber nur von *der* konstruktivistischen Lerntheorie die Rede sein.

Wissen kann dieser Ansicht nach nicht einfach von der Lehrkraft oder einem Buch an den Lernenden weitergeben werden, weil die „Sinnesdaten, die der Lernende empfängt [...] keine ihnen gewissermaßen innewohnende Bedeutung“ (Duit 2008, S. 3) haben. Sie erhalten für den Lernenden erst dadurch eine Bedeutung, dass er die Informationen vor dem Hintergrund seines Vorwissens interpretiert und ihnen dadurch Bedeutung verleiht (Duit 2008, S. 3). Das menschliche Gehirn kann deshalb nicht als passiver Empfänger von Informationen angesehen werden. Im Gegenteil: Es bestimmt, welche Informationen wahrgenommen werden (Häußler et al. 1998, S. 171). Welchen Informationen Aufmerksamkeit geschenkt wird, hängt vom Vorwissen, den individuellen Interessen, Vorstellungen und Intentionen des Lernenden ab. Wissen ist also immer subjektiv.

Die individuelle Denkstruktur der Lernenden unterliegt regelmäßigen Veränderungen, wenn neue Erfahrungen gemacht oder neue Kenntnisse erworben werden. Nach Jean Piaget, der „unsere heutigen Vorstellungen vom Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht tiefgreifend beeinflusst“ (Häußler et al. 1998, S. 183) hat, versucht der Lernende durch kontinuierliche Assimilationsprozesse neue Erfahrungen in seine bereits vorhandenen Denkstruktur zu integrieren. Können die neuen Wahrnehmungen jedoch nicht mithilfe vorhandener kognitiver Strukturen verarbeitet werden, d.h. gelingt eine Assimilation nicht, so müssen die vorhandenen Denkstrukturen modifiziert werden, oder es muss ein vollkommen neues Schema<sup>5</sup> generiert werden (Duit & Treagust 1998, S. 9; Pfeifer, Lutz & Bader 2002, S. 122). Piaget bezeichnet diesen Prozess als Akkommodation (Häußler et al. 1998, S. 183). Bei der kognitiven Entwicklung findet ein ständiges Wechselspiel zwischen Assimilations- und Akkommodationsprozessen statt, bis sich ein Gleichgewicht zwischen den neuen Wahrnehmungen und den vorhandenen Wissensstrukturen eingestellt und somit ein Lernprozess stattgefunden hat (Äquilibration) (Häußler et al. 1998, S. 184).

Doch was bedeuten diese Annahmen über das Lernen für die Unterrichtspraxis und welche Rolle spielen Schülervorstellungen für den Lernprozess? Zunächst einmal ist es für die Unterrichtspraxis wünschenswert, dass sich die Lehrperson über den Vorwissensstand der Lernenden informiert, um die Erklärungen an die vorliegenden Kenntnisse der Schüler anpassen zu können (Barke 2006, S. 1). Die Sachverhalte, die die Lehrperson aus Expertensicht erklärt, können nur dann auch von den Lernenden verstanden werden, wenn der Unterricht sinnvoll an das Vorwissen der Schüler anknüpft. Ansonsten

---

<sup>5</sup> In der Kognitionspsychologie werden Wissensstrukturen, die für die Wahrnehmung von Informationen und für deren Speicherung im Gedächtnis verantwortlich sind, Schemata genannt. Mehrere Schemata bilden zusammen ein großes und komplexes semantisches Netzwerk (Krapp & Weidemann 2006, S. 165).

kann es leicht zu Verständnisproblemen oder Missverständnissen zwischen den Lernenden und der Lehrkraft kommen (Duit 2008, S. 3).

Weiterhin geht eine Beschäftigung der Lehrkraft mit Schülervorstellungen mit enormen Vorteilen einher: Kennt die Lehrkraft die typischerweise auftretenden alternativen Vorstellungen zu dem im Unterricht zu behandelnden Themengebiet, ist sie sensibler für die Wahrnehmung von alternativen Konzepten ihrer Schüler. Schüleräußerungen können dementsprechend besser verstanden und alternative Vorstellungen einfacher identifiziert werden, wenn sich die Lehrperson über das hinter der Schüleräußerung liegende Konzept bewusst ist. Mit einem Unterricht, der auf die identifizierten Vorstellungen ausgerichtet ist, können alternative Konzepte möglicherweise überwunden werden<sup>6</sup> (Pfeifer, Lutz & Bader 2002, S. 144; Taber 2002a, S. 62).

Laut Barke (2006, S. 27) können „ohne ein ausdrückliches Abbauen falscher Vorstellungen keine neuen tragfähigen Vorstellungen erworben werden“, denn das Vorwissen des Lernenden stellt den Ausgangspunkt für den Aufbau neuen Wissens dar (Duit 1999, S. 263f). Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum Schülervorstellungen das Lernen so entscheidend beeinflussen. Ist das Vorwissen des Lernenden massiv mit alternativen Vorstellungen behaftet, kann es durch die Anknüpfung von neuen Informationen an das bereits vorhandene, nicht tragfähige, Wissen zu einer „Fehlerfortpflanzung“ bzw. „Fehlerverstärkung“ kommen (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 54). So betrachtet besteht die Gefahr, dass alternative Schülervorstellungen das Verstehen naturwissenschaftlicher Konzepte erschweren oder gar behindern (Nieswandt 2001, S. 34).

Auf der anderen Seite kann vorhandenes Wissen, das nicht von den akzeptierten wissenschaftlichen Konzepten abweicht, den Lernprozess positiv beeinflussen. Denn je mehr der Lernende bereits über einen Sachverhalt weiß, desto einfacher fällt es ihm, noch mehr über diesen zu lernen, da neue Informationen auf der Vorwissensbasis sinnvoll interpretiert und somit nachhaltig in die Schemata des Lerners integriert werden können (Heran-Dörr 2011, S. 6).

Abschließend lässt sich festhalten, dass eine konstruktivistische Sicht auf das Lernen die Eigenaktivität des Individuums bei der Wissenskonstruktion und die Rolle des Vorwissens des Lernenden betont. Eine Beschäftigung mit Schülervorstellungen ermöglicht der Lehrkraft einen größeren Handlungsspielraum, um auf die Konzepte der Lernenden einzugehen und folglich deren Lernprozess positiv zu beeinflussen. Aus diesem Grund erweist sich eine Beschäftigung mit Schülervorstellungen durchaus als sinnvoll.

---

<sup>6</sup> Unterrichtspraktische Ansätze, die sich mit der Überwindung von alternativen Schülervorstellungen befassen, werden in Kapitel 2.4.2 ausführlich vorgestellt.

## 2.4 Der Umgang mit alternativen Schülervorstellungen

Im vorherigen Kapitel wurde aufgezeigt, warum es für Lehrer vorteilhaft ist, die Vorstellungen ihrer Schüler zu kennen: Sind die vorliegenden Schülervorstellungen bekannt, können die aus ihnen möglicherweise resultierenden Lernschwierigkeiten durch einen an die Vorstellungen angepassten Unterricht vermieden werden. Nach Baumert et al. (2009, S. 11) gehört es zum fachdidaktischen Wissen und Können einer Lehrperson, bei auftretenden Verständnisschwierigkeiten eine gezielte und konstruktive Hilfe zu gewähren. Eine gezielte Hilfe kann aber nur dann geleistet werden, wenn sich die Lehrperson über die Lernschwierigkeiten und somit auch über die alternativen Konzepte ihrer Schüler bewusst ist. Eine Diagnose von alternativen Vorstellungen scheint dementsprechend essentiell zu sein, damit ein erfolgreiches Lernen ermöglicht werden kann (Barke 2006, S. 2). In Kapitel 4.2.1 werden deshalb ausgewählte Möglichkeiten vorgestellt, um alternative Schülervorstellungen zu erfassen. Anschließend wird in Kapitel 2.4.2 erläutert, wie alternativen Schülervorstellungen mithilfe von *Conceptual Change*-Ansätzen im Unterricht begegnet werden kann.

### 2.4.1 Diagnose von alternativen Schülervorstellungen

Taber (2002a, S. 53) beschreibt die Fähigkeit von Lehrkräften, alternative Schülervorstellungen zu diagnostizieren, anhand der Metapher eines „*learning-doctors*“:

*„A useful metaphor here might be to see part of the role of a teacher as being a learning-doctor. [...] the teacher’s role here is to: a) diagnose the particular cause of the failure-to-learn; and b) use this information to prescribe appropriate action, designed to bring about the desired learning.*

*Two aspects of the teacher-as-learning-doctor comparison may be useful. Firstly, just like a medical doctor, the learning-doctor should use diagnostic tests as tools to guide action. Secondly, just [...] as medical doctors find that many patients are not textbook cases, and do not respond to treatment in the way the books suggest, so many learners have idiosyncrasies that require individual treatment.“*

In der täglichen Unterrichtspraxis, wie z.B. in Unterrichtsgesprächen, in Haus- oder Klausuraufgaben, begegnen Lehrern regelmäßig alternative Schülervorstellungen. Es gehört deshalb auch zu deren täglichen Aufgaben, diese zu erkennen; vorzugsweise so früh wie möglich (Taber 2002a, S. 62). Die Sensibilität für das Erkennen von alternativen Konzepten kann auf mehrere Weisen

erhöht werden. Mit einer steigenden Unterrichtserfahrung geht auch eine bessere Kenntnis über potentielle Schülerkonzepte zu einem bestimmten Sachverhalt einher. Alternative Vorstellungen können dann in Schüleraussagen einfacher identifiziert werden. Insbesondere können natürlich auch die in der Forschung dokumentierten Schülervorstellungen zu einer Sensibilisierung für das Erkennen von alternativen Konzepten beitragen (siehe Kapitel 2.3). Des Weiteren lohnt es sich, die Lernenden aufzufordern, über ihre Vorstellungen zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen zu diskutieren (Taber 2002a, S. 62). Eine solche Diskussion kann beispielsweise durch den Einsatz von *Concept Cartoons* im Unterricht angeregt werden. *Concept Cartoons* sind Zeichnungen von mehreren Personen, die über eine Frage bzw. einen Sachverhalt diskutieren, wie z.B. „Wie funktioniert eine Batterie?“ (Steininger & Lembens 2011, S. 30). Die Aussagen der einzelnen Personen werden in Sprechblasen dargestellt und enthalten fachlich unzutreffende als auch wissenschaftlich akzeptierte Vorstellungen. Vom Einsatz solcher *Concept Cartoons* erhofft man sich, die Lernenden zu ermutigen, Stellung zu den Äußerungen zu nehmen und außerdem ihre individuellen Vermutungen oder Antworten auf die zu diskutierende Frage zu formulieren (Steininger & Lembens 2011, S. 27f). Steininger & Lembens (2011, S. 27) argumentieren demzufolge, dass „*Concept Cartoons* [...] sowohl zur Erhebung von Alltagsvorstellungen und alternativen Vorstellungen als auch als Diskussionsimpuls zur Bewusstmachung der Vorstellungen im Unterricht eingesetzt werden [können]“.

Eine weitere Möglichkeit, um alternative Schülervorstellungen zu diagnostizieren, sind schriftliche Lernbegleitbögen. Dieses Instrument kann vor sowie im Verlauf des Unterrichts eingesetzt werden, um den Lernenden eine Reflektion über ihre individuellen Vorstellungen zu ermöglichen (Schmidt & Parchmann 2011, S. 17). Die Schüler bearbeiten die Aufgaben des Lernbegleitbogens und erhalten sie zurück, nachdem die Lehrperson sich einen Überblick über die Vorstellungen der Schüler verschafft hat. Die Lernenden können dann im Laufe des Unterrichts Korrekturen vornehmen oder Kommentare zu ihren Antworten verfassen. Zum Einen ist es somit möglich, Veränderungszeitpunkte der Schülervorstellungen zu dokumentieren und Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Unterricht und Schülerkonzepten zu formulieren. So können hilfreiche Schlüsse für zukünftige Unterrichtsplanungen gezogen werden. Zum Anderen können die Lernenden ihre persönlichen Lernfortschritte bewusst wahrnehmen (Schmidt & Parchmann, 2011, S. 18).

Neben diesen hier vorgestellten Diagnoseinstrumenten sind weitere Materialien und Empfehlungen zur Diagnose von alternativen Schülerkonzepten zu verschiedenen Themengebieten in Taber (2002a; 2002b) zu finden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Taber (2002a, S. 41) z.B. das Erstellen von *Concept Maps* als eine hilfreiche Diagnosemethode für Schülervorstellun-

gen bewertet, die ohne größeren Zeitaufwand in die Unterrichtspraxis integriert werden kann. Anhand einer vom Lernenden erstellten *Concept Map* kann erkannt werden, welches Vorwissen der Schüler zu einem Themengebiet mit in den Unterricht bringt, ob alternative Vorstellungen vorhanden sind, wie gut er verschiedene Aspekte eines Thema miteinander vernetzen und wie er das Themengebiet selbst mit anderen verwandten oder interdisziplinären Themen in Verbindung bringen kann (Taber 2002a, S. 41).

Die hier genannten Diagnosemöglichkeiten von Schülervorstellungen stellen eine Alternative zu den in der Forschung häufig verwendeten Papier-Bleistift-Tests (Treagust 1988, S. 167) oder Interviewtechniken (Schmidt & Parchmann 2011, S.17) dar. *Concept Cartoons*, Lernbegleitbögen oder *Concepts Maps* sind besser in der Unterrichtspraxis realisierbar als zeitaufwändige Schülerinterviews und können neben der Diagnose von alternativen Vorstellungen zusätzlich die Bereitschaft der Lernenden steigern, sich fachlich intensiver mit einem Thema auseinanderzusetzen (Steininger & Lembens 2011, S. 30). Wurden die alternativen Schülervorstellungen schließlich vom Lehrer erkannt, muss dieser entscheiden, wie mit den alternativen Konzepten im weiteren Unterrichtsverlauf umgegangen wird.

Doch wie kann es gelingen, dass die Lernenden dabei unterstützt werden, ihre nicht oder nur zum Teil der naturwissenschaftlichen Sichtweise entsprechenden Vorstellungen hin zu einer aktuell akzeptierten naturwissenschaftlichen Ansicht zu verändern? Im folgenden Kapitel wird eine Unterrichtskonzeption vorgeschlagen, die es ermöglicht, alternative Schülervorstellungen sinnvoll für den Lernprozess zu nutzen, um das Lernen der unterrichtlich anvisierten Konzepte zu bewirken.

#### **2.4.2 Ansätze zur Überwindung von alternativen Schülervorstellungen**

In den 1970er Jahren wurden anlässlich von Untersuchungen, die zeigten, dass alternative Schülervorstellungen teilweise nur sehr schwer verändert werden können und folglich den Aufbau naturwissenschaftlich angemessener Konzepte einschränken, erste Theorien zu dem sogenannten „*Conceptual Change*“ entwickelt (Möller 2007, S. 260). Eine große Resistenz gegenüber Veränderungen zeigen insbesondere tief verwurzelte Konzepte. Ihr Überzeugungsgehalt ist für Lernende deshalb so enorm, da sie sich in Alltagsbelangen über Jahre hinweg als fruchtbare Erklärungen für naturwissenschaftliche Beobachtungen erwiesen und stabilisiert haben (Häußler et al. 1998, S. 175). Lernende geben aus diesem Grund ihre Vorstellungen nicht schlichtweg auf. Vielmehr müssen sie davon überzeugt werden, dass die naturwissenschaftlich anerkannten Erklärungen plausibler und tragfähiger sind als ihre bisherigen

(Häußler et al. 1998, S. 175). Wie eine solche Einsicht bei Lernenden erzeugt werden kann, soll anhand von *Conceptual Change*-Ansätzen aufgezeigt werden. Sie basieren auf konstruktivistisch orientierten Lerntheorien.

Leider ist sowohl der englische Begriff „*Conceptual Change*“ als auch die deutsche Übersetzung „Konzeptwechsel“ irreführend, denn beide implizieren, dass beim Lernen ein altes, nicht belastbares Konzept verworfen und durch ein neues, tragfähiges ersetzt wird (Duit 1996, S. 146). Da Lernen aus konstruktivistischer Perspektive aber als ein aktives Umstrukturieren und Verändern und nicht als Austausch von Vorstellungen angesehen wird, gilt die Auffassung eines *Konzeptwechsels* längst als überholt (Möller 2010, S. 64; Petermann 2010, S. 12; Schmidt & Parchmann 2011, S. 16). Nach einem konstruktivistischen Verständnis vom Lernen scheint also ein Ausmerzen oder Ersetzen von alternativen Vorstellungen nicht möglich. Passender sind deshalb Übersetzungen wie „Konzeptveränderung“ oder „konzeptuelle Entwicklung“ (Möller 2007, S. 260). Grundsätzlich wird zwischen zwei Möglichkeiten einer solchen Konzeptveränderung unterschieden: zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Lernwegen.

Bei kontinuierlichen Lernwegen wird versucht, an jene vorhandenen Schülervorstellungen anzuknüpfen, die den wissenschaftlichen Vorstellungen nicht konträr gegenüberstehen, sondern eher unvollständig sind und deshalb nicht als lernhindernd eingestuft werden können (Häußler et al. 1998, S. 193; Schmidt & Parchmann 2011, S.16). Das Ziel dieser Art von Lernwegen ist es, Erweiterungen bzw. kleinere Revisionen der bestehenden Schülervorstellungen zu bewirken. In diesem Kontext spricht man auch von einem Konzeptwachstum oder „*Conceptual Growth*“ (Petermann 2010, S. 15). An dieser Stelle wird deutlich, dass Schülervorstellungen nicht unweigerlich als Lernhürde angesehen werden sollten. Sie können sogar „Brücken zur Erarbeitung fachlich erwünschter Erklärungskonzepte und damit wertvolle Lernanlässe sein“ (Schmidt & Parchmann 2011, S. 15).

Im Gegensatz dazu, wird bei diskontinuierlichen Lernwegen eine grundlegende Veränderung der vorhandenen Schülervorstellungen angestrebt. Denn bei diesen Lernwegen wird davon ausgegangen, dass die Schülerkonzepte einerseits und die wissenschaftliche Auffassung andererseits unvereinbar sind. Das bewusste Auslösen von kognitiven Konflikten spielt bei diskontinuierlichen Lernwegen eine besondere Rolle (Duit & Treagust 1998, S. 12). Ein kognitiver Konflikt entsteht dann, wenn etwas Neues wahrgenommen wird, das mit den bisherigen Erfahrungen und dem Vorwissen des Lernenden nicht übereinstimmt. Der Lernende empfindet diese neuen (widersprüchlichen) Wahrnehmungen als überraschend oder ungewöhnlich und ist bestrebt diesen Konflikt durch eine Reorganisation der bestehenden Wissensstrukturen zu lösen (sie-

he Kapitel 2.3; Kircher, Girwidz & Häußler 2009, S. 181). Kognitive Konflikte sollen die Lernenden bei der Revision ihrer bisherigen Konzepte unterstützen und sie von der Aussagekraft und der Gültigkeit wissenschaftlicher Vorstellungen überzeugen, indem sie die alternativen Vorstellungen der Lernen widerlegen oder zumindest in Frage stellen. Die Lernenden werden dadurch zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt angeregt (Möller 2010, S. 62f).

Doch unter welchen Bedingungen kann ein Konzeptwechsel oder eine Konzepterweiterung überhaupt gelingen? Wann sind Lernende bereit, ihre teilweise so fest verankerten alternativen Konzepte zu verändern, um angemessene Vorstellungen zu entwickeln?

In Anlehnung an Piagets Äquilibrationstheorie (siehe Kapitel 2.3) nennen Strike & Posner (1982, S. 235) in ihrer Pionierforschung zum *Conceptual Change*-Ansatz vier wesentliche Bedingungen für einen Konzeptwechsel:

- Die Lernenden müssen mit ihren bisher vorhandenen Vorstellungen unzufrieden sein.
- Das neu erarbeitete Konzept muss für die Lernenden nachvollziehbar und verständlich sein.
- Das neue Konzept muss für die Lernenden darüber hinaus glaubwürdig und plausibel erscheinen.
- Das neue Konzept sollte es den Lernenden ermöglichen, viele Zusammenhänge erklären und deuten zu können, d.h. die Anwendung des neuen Konzeptes sollte sich als fruchtbar erweisen.

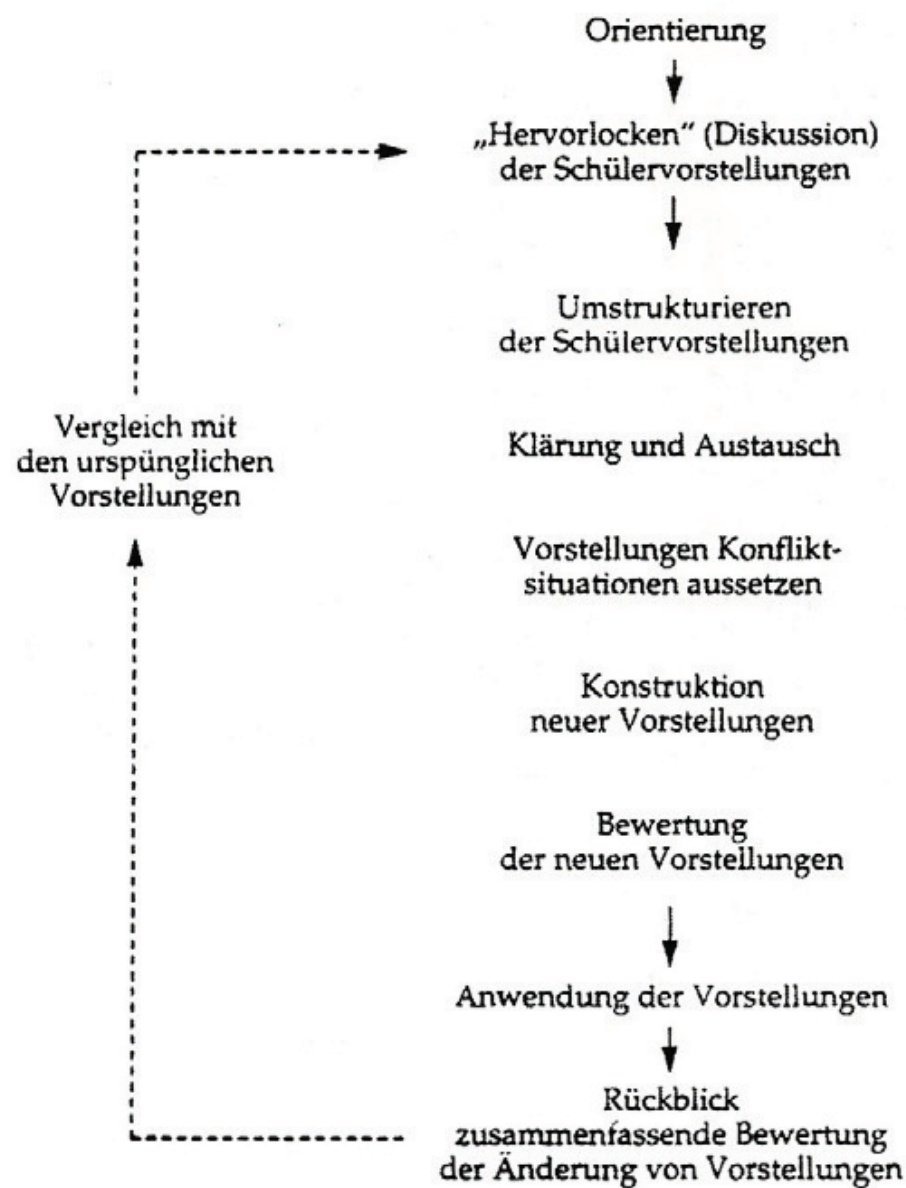
Diese Bedingungen sollen im Folgenden näher betrachtet werden. Wie bereits in Kapitel 2 erläutert wurde, haben Lernende im oder vor dem Unterricht häufig alternative Vorstellungen über naturwissenschaftliche Phänomene entwickelt. Diese Vorstellungen haben sich in der Deutung von Alltagsbeobachtungen als plausibel erwiesen und in den Denkstrukturen tief verankert. Aufgrund der erfahrenen Gültigkeit dieser konstruierten Konzepte, sind die Lernenden zufrieden mit ihnen. Die Lernenden werden erst dann die Bereitschaft zeigen, ihre ursprünglichen Vorstellungen zu modifizieren bzw. aufzugeben, wenn sie mit diesen unzufrieden sind; also erkennen, dass ihr vorhandenes Wissen nicht ausreicht, um ein naturwissenschaftliches Phänomen zufriedenstellend zu erklären (Möller 2010, S. 64). Eine solche Unzufriedenheit kann beispielsweise durch einen kognitiven Konflikt ausgelöst werden. Kognitive Konflikte lassen sich besonders eindrucksvoll durch ein Experiment erzeugen, das Ergebnisse liefert, die den Erwartungen der Lernenden widersprechen (Duit & Treagust 1998, S. 12). Durch die Diskrepanz zwischen den Erwartungen und den neuen aus dem Experiment resultierenden Informationen kann das kognitive Gleich-



gewicht des Lernenden gestört werden. Das Streben nach einer Wiederherstellung dieses Gleichgewichts ermöglicht dann einen Lernprozess (Äquilibration) (Häußler et al. 1998, S. 234). Ein Lernprozess kommt jedoch erst zustande, wenn der kognitive Konflikt auch als solcher von den Schülern wahrgenommen wurde und sich die neu zu erarbeitende Erklärung als nachvollziehbar, verständlich, glaubwürdig und in neuen Situationen als erklärungsmächtig erweist (Häußler et al. 1998, S. 185). Eine exemplarische Unterrichtsstrategie zum Einleiten eines Konzeptwechsels im Sinne eines diskontinuierlichen Lernweges, die sich gezielt Kognitiven Konflikten bedient, soll im Folgenden kurz skizziert werden.

Driver (1989, S. 79ff) schlägt vor, zu Beginn des Unterrichts die Vorstellungen der Schüler zu einem Thema „hervorzulocken“ und zu diskutieren. So werden die Lernenden dafür sensibilisiert, dass es eine Vielzahl an Vorstellungen zu ein und demselben Phänomen gibt. Im Anschluss erfolgt eine fachliche Klärung des Unterrichtsthemas bevor die Schülervorstellungen gezielt „Konfliktsituationen“ ausgesetzt werden. Auf diese Weise soll ein kognitiver Konflikt herbeigeführt und die Konstruktion neuer Vorstellungen initiiert werden. In der nächsten Unterrichtsphase werden diese neuen Vorstellungen bewertet. Um das neu erworbene Wissen zu festigen und zu erweitern, soll es auf weitere Situationen bezogen werden und in weiteren Kontexten Anwendung finden. Schließlich ist es wichtig, dass die Schüler auf den durchlaufenen Lernprozess zurückblicken und eine vergleichende Gegenüberstellung der ursprünglichen Vorstellung mit der neuen naturwissenschaftlichen Vorstellung vollziehen (Driver 1989, S. 79ff; Häußler et al. 1998, S. 214; Petermann 2010, S. 26).

Abbildung 3 fasst die einzelnen Phasen der oben vorgestellten Unterrichtsstrategie in einem Grundmuster zusammen. Dieses Schema sollte selbstverständlich nicht als strikte Handlungsanleitung für den Unterricht aufgefasst werden, von welcher nicht abgewichen werden darf. Vielmehr dient es als Orientierungshilfe, um einen Konzeptwechsel in die Wege zu leiten. Je nach dem zu behandelnden Thema und der Art der bestehenden Vorstellungen können auch Unterrichtsstrategien eingesetzt werden, die nicht auf einem kognitiven Konflikt basieren, sondern eher kontinuierlichen Lernwegen entsprechen. Die Mehrzahl der Konzeptwechsel-Ansätze vertraut jedoch auf den Einsatz eines kognitiven Konflikts (Häußler et al. 1998, S. 214).



**Abbildung 3:** Überblick über die konstruktivistische Unterrichtsstrategie nach Driver (1989) (entnommen: Häußler et al. 1998, S. 215)

Auch wenn das Erzeugen eines kognitiven Konflikts als eines der mächtigsten Hilfsmittel angesehen wird, um ein Umdenken bei den Lernenden zu initiieren, zeigen verschiedene empirische Studien, dass dieser allein nicht zwangsläufig ein Garant für den Vollzug eines Konzeptwechsels ist (Petermann 2010, S. 16; Pfeifer, Lutz & Bader 2002, S. 146). So fanden beispielsweise Chinn & Brewer (1993, S. 2f) heraus, dass viele Lernende Versuchsergebnisse, die ihren Vorstellungen widersprechen, schlichtweg ignorieren, deren Gültigkeit anzweifeln und ihre ursprünglichen Sichtweisen verteidigen. Dies mag zum Einen daran liegen, dass sich die ursprünglichen Vorstellungen im Alltag der Lernenden vielfach bewährt haben (Geisler & Sumfleth 2001, S. 123). Zum Anderen scheinen affektive Faktoren (z.B. Interesse am Thema, Relevanz des Themas für die Lernenden, Klassenklima und Motivation) eine wesentliche Rolle für den Lernprozess zu spielen. Sie können einen Konzeptwechsel unterstützen, da sie die Bereitschaft der Lernenden, ihre ursprünglichen Vorstellungen zu modifizieren oder aufzugeben, erheblich beeinflussen (Häußler et al. 1998, S. 194).

Letztendlich kann trotz eines hervorragend geplanten Unterrichts, der alle konzeptwechselunterstützenden Lernbedingungen berücksichtigt, kein plötzli-

cher Wechsel von einem alternativen zu einem wissenschaftlich fundierten Konzept erwartet werden (Möller 2007, S. 261; Duit & Treagust 1998, S. 11). Der Lernprozess muss „als ein gradueller, kontextabhängiger und häufig langwieriger Prozess der Umstrukturierung betrachtet werden“ (Möller 2007, S. 261). In diesem Prozess kann es nach Brown & Clement (1992, S. 380) zu vorübergehenden „Zwischenvorstellungen“ kommen, die einen wichtigen Teilschritt auf dem Weg zur naturwissenschaftlichen Sichtweise darstellen.

Hewson & Hewson (1992, S. 60) hingegen nehmen an, dass das Lernen eines neuen Konzeptes mit einer Statusveränderung des alternativen Konzeptes einhergeht. Im Laufe des Lernprozesses wird der wissenschaftlichen Sichtweise ein höherer Status zugeschrieben als der ursprünglichen, jedoch ohne dass letztere ihre Bedeutung gänzlich verliert:

*„A central prediction of the CCM [Conceptual Change Model] is that conceptual changes do not occur without concomitant changes in the relative status of changing conceptions. Learning a new conception means that its status rises, i. e., the learner understands it, accepts it, and sees, that it is useful“* (Hewson & Hewson 1992, S. 60).

Ein Auslöschen der alternativen Vorstellung ist also auch nach dieser Auffassung vom Lernen nicht möglich. Die ursprüngliche Vorstellung zu einem Phänomen bleibt in den kognitiven Strukturen des Lernenden bestehen und erhält lediglich einen geringeren Status als das neue Konzept. Dies bedeutet gleichzeitig, dass sich der Status von Schülervorstellungen in verschiedenen Kontexten anders verhält. Die Lernenden entscheiden demzufolge situationsbezogen, welches vorhandene Konzept fruchtbarer zu Deutung eines Phänomens ist (Schmidt & Parchmann 2011, S. 16). Ein Konzeptwechsel wird dieser Auffassung nach als ein kontextgebundener Übergang zu demjenigen Konzept, welches dem Kontext angemessen ist, verstanden (Häußler et al. 1998, S. 193).

Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts kann es deshalb nicht sein, alternative Schülervorstellungen gegen neue wissenschaftlich akzeptierte Vorstellungen auszutauschen. Vielmehr sollte angestrebt werden, die Lernenden durch eine aktive Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand davon zu überzeugen, dass das naturwissenschaftliche Konzept in vielen Kontexten aussagekräftiger und belastbarer ist als ihre ursprüngliche Vorstellung (Duit & Treagust 1998, S. 11).

## 2.5 Aktuelle Forschung zum Umgang mit alternativen Schülervorstellungen – Kooperationsprojekt zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund

In den vergangenen 40 Jahren wurden zahlreiche empirische Studien zur Erhebung von Schülervorstellungen durchgeführt (Petermann 2010, S. 23). Die umfangreichen Sammlungen von Schülervorstellungen, die beispielsweise in Taber (2002), Kind (2004), Barke (2006) und Horton (2007) zu finden sind, zeigen, dass Lernende ein Vielzahl an alternativen Konzepten zu den verschiedensten Themengebieten der Chemie mit in den Unterricht bringen. Weiterhin kann den Studienergebnissen entnommen werden, dass alternative Vorstellungen in allen Klassenstufen verschiedener Schulformen und sogar bei Chemiestudenten bis hin zu ausgebildeten Lehrkräften auftreten (Barke 2006; Duit & Treagust 2012, S.111; Horton 2007; Kind 2004; Paschmann, Oetken & De Vries 2002; Taber 2002a). In der fachdidaktischen Literatur sind neben den dokumentierten Schülervorstellungen auch Vorschläge zu finden, wie diese diagnostiziert werden können und wie mit diesen Vorstellungen im Unterricht umgegangen werden sollte (siehe dazu auch Kapitel 2.4.2; Barke 2006; Petermann 2010; Taber 2002a; Taber 2002b). Die hohe Zahl an Publikationen zu alternativen Schülervorstellungen verdeutlicht den enormen Stellenwert dieses Interessengebietes in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsarbeit.

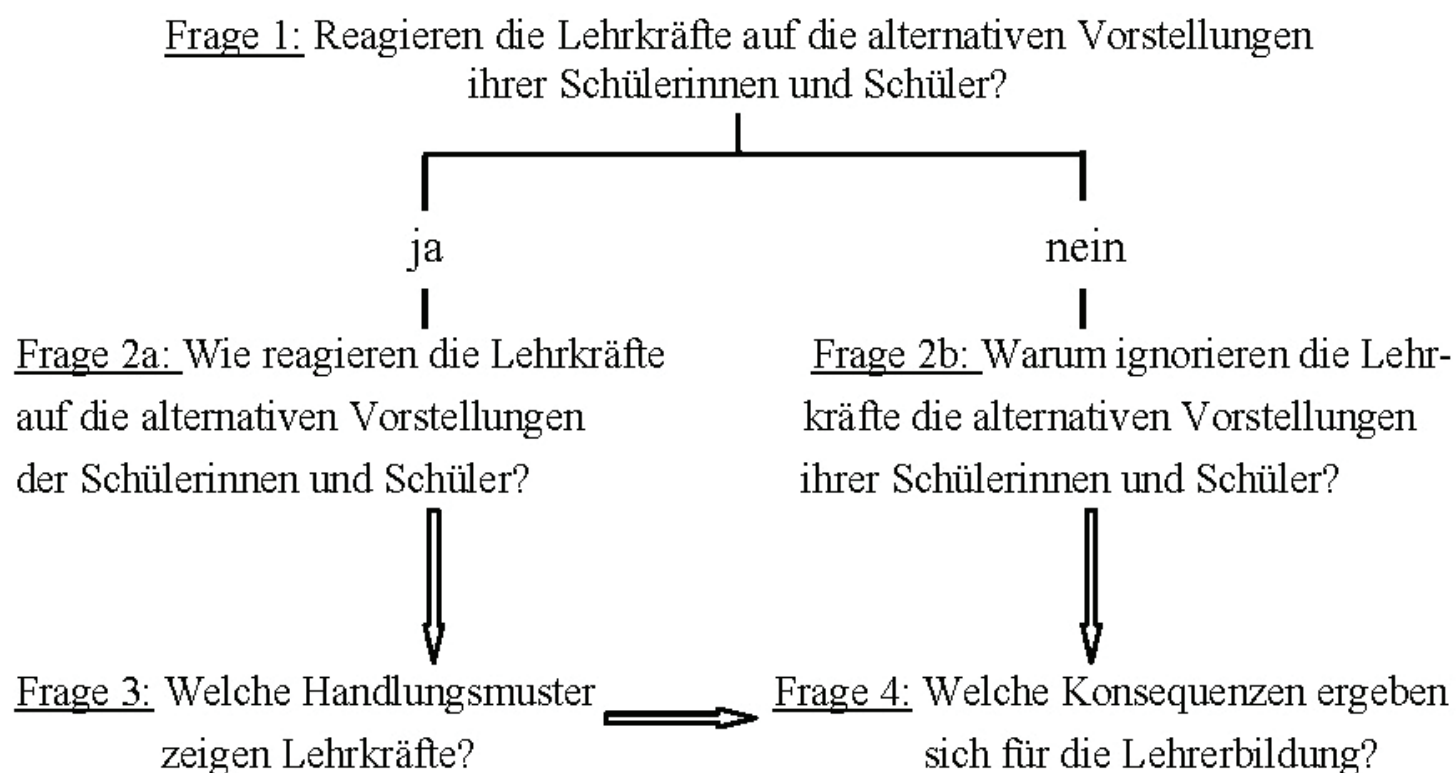
Allerdings stellen alternative Schülervorstellungen trotz den in der Fachliteratur genannten Empfehlungen zu deren Diagnose und Umgang noch immer eine große Herausforderung für den täglichen Unterricht dar. Dies mag u.a. daran liegen, dass viele Lehrpersonen nicht hinreichend gut über *Conceptual Change*-Unterrichtsstrategien informiert sind, wie eine Analyse von Duit, Widodo & Wodzinski (2007) offenbart. Zu einem ähnlichen Schluss kommt auch Gabel (1999), die vermutet, dass Lehrpersonen möglicherweise nicht über adäquate Handlungsmethoden verfügen, um auf alternative Vorstellungen zu reagieren:

*„Probably nine out of ten instructors are not aware of the research on student misconceptions, or do not utilize ways to counteract the misconceptions in their instruction”* (Gabel 1999, S. 552).

Obwohl alternative Schülervorstellungen inzwischen umfassend erhoben und untersucht wurden, liegen bisher nur wenige Studien über den Umgang von Lehrkräften mit diesen alternativen Vorstellungen von Lernenden vor (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 55). Derzeit wird deshalb in einem Kooperationsprojekt zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund eine empirische Studie durchgeführt, die untersucht, ob und in welcher Form Lehrende auf alternative Schülervorstellungen im alltäglichen Chemieanfangsunterricht reagieren. Weiterhin soll eruiert werden, welche allgemeinen Handlungsmuster

sich beim Umgang mit alternativen Konzepten beobachten lassen. Man erhofft sich außerdem, Erklärungen dafür zu finden, warum manche Lehrer die alternativen Vorstellungen ihrer Schüler ignorieren. So könnten aus den Forschungsergebnissen dieser Studie mögliche Konsequenzen für die universitäre Ausbildung von Lehramtsstudierenden gezogen werden (Uhren, Di Fuccia & Ralle 2012; Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 51f).

Abbildung 4 fasst die grundlegenden Forschungsfragen des Kooperationsprojektes noch einmal übersichtlich zusammen:



**Abbildung 4:** Forschungsfragen des Kooperationsprojektes zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund zur Untersuchung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Vorstellungen von Schülern (entnommen: Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 56)

### 2.5.1 Methodik des Forschungsprojektes

Im Folgenden soll nun die allgemeine Methodik des Forschungsprojektes dargestellt werden, um zu zeigen, wie die in Abbildung 4 gezeigten Forschungsfragen beantwortet werden können. Dem Projekt liegen verschiedene Forschungsmethoden zugrunde.

Um zu erheben, ob und in welcher Form Lehrende auf alternative Vorstellungen ihrer Schüler reagieren, wird ein von Sarah Uhren entwickelter Fragebogen eingesetzt (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 58). Im Rahmen der Fragebogenstudie werden die teilnehmenden Lehrkräfte mit typischen alternativen Schülervorstellungen konfrontiert. Das Erhebungsinstrument enthält sowohl Items mit offenem als auch geschlossenem Antwortformat (Mehrfach-Wahlaufgaben), die sich auf diverse fachliche Inhalte des Chemieunterrichts

beziehen<sup>7</sup>. Während die Items mit offenem Antwortformat die Beantwortung der Forschungsfragen 1, 2a), und 3 zum Ziel haben, können die Mehrfach-Wahlaufgaben Hinweise darauf geben, warum Lehrkräfte nicht auf die alternativen Vorstellungen der Lernenden eingehen (siehe Abbildung 4). Die Mehrfach-Wahlaufgaben können somit möglicherweise eine Antwort auf die Forschungsfrage 2b) geben (siehe Abbildung 4), da eine falsche Beantwortung dieser Fragen auf ein unzureichendes Fachwissen seitens der teilnehmenden Lehrer hindeutet (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 57).

Nach der Durchführung der Fragebogenstudie werden im Rahmen einer Videostudie einzelne Chemiestunden mithilfe einer Kamera aufgezeichnet, um die Reaktionen der Lehrkräfte auf die alternativen Schülerkonzepte in der realen Unterrichtspraxis detailliert untersuchen zu können. Die Videostudie dient der Validierung der Ergebnisse der Fragebogenstudie (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 57).

Im Anschluss sollen die Lehrkräfte in einem Interview die Möglichkeit bekommen, sich zu den vorherigen Untersuchungen zu äußern. Den Aussagen der Lehrenden können gegebenenfalls Hinweise zur Beantwortung der Forschungsfrage 2b) entnommen werden: Haben die Lehrenden das Auftreten einer alternativen Schülervorstellung ignoriert, kann im Interview herausgefunden werden, ob die Lehrkräfte die gleiche alternative Vorstellung wie ihre Schüler vertreten und aus diesem Grund nicht auf die Schülervorstellung reagiert haben. Weiterhin kann untersucht werden, welche Rolle Schülervorstellungen bei der Unterrichtsplanung spielen. Vor allem dient die Interviewstudie jedoch dazu, die Ergebnisse zur Forschungsfrage 2a), also wie die Lehrkräfte auf die alternativen Vorstellungen ihrer Schüler reagieren, kritisch zu validieren (Uhren, Di Fuccia & Ralle 2012; Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 58).

Da sich die Interviewstudie derzeit noch in der Auswertungsphase befindet und deshalb noch keine Publikation zu deren Ergebnissen vorliegt, wird im Folgenden nur Bezug auf die Fragebogen- und Videostudie genommen (Uhren & Ralle 2011, S. 167).

### **2.5.2 Darlegung der Fragebogenstudie**

Auf der Basis bislang dokumentierter alternativer Schülervorstellungen (Barke 2006; Horton 2001; Kind 2004) wurde von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) eine Datenbank mit häufig auftretenden alternativen Vorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht angelegt. Der Fragebogen setzt

---

<sup>7</sup> Beispiele für die verschiedenen Itemformate sind im Anhang (Online-Veröffentlichung bei KOBRA) zu finden. In Kapitel 4.2.1 wird dann detailliert erläutert, was unter Items mit offenem und geschlossenem Antwortformat verstanden wird.

sich aus ausgewählten alternativen Vorstellungen zu verschiedenen Teilgebieten des Chemieunterrichts zusammen, die in fiktive, dennoch alltagsnahe Unterrichtssituationen, sogenannte Unterrichtsvignetten, eingebettet wurden. Die Unterrichtsvignetten (z.B. ein Unterrichtsgespräch) werden im Fragebogen jeweils kurz beschrieben und die teilnehmenden Lehrer gefragt, wie sie in der geschilderten Situation handeln würden (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 58).

Die Pilotierung und die Entwicklung des Fragebogens erfolgten an der TU Dortmund. An der Pilotierung waren insgesamt 50 Testpersonen beteiligt, darunter Chemie-Lehramtsstudierende, Chemielehrer im Vorbereitungsdienst und erfahrene Chemielehrer. Da die Pilotierung ergab, dass allzu offen formulierte Items Probleme bei der Auswertung hervorrufen, wurde das Erhebungsinstrument angepasst und weiterentwickelt. Die neue Version des Fragebogens enthielt weiterhin Unterrichtsvignetten. Zusätzlich wurden *Concept Cartoons*, Schülerantworten auf Klausuraufgaben und Mehrfach-Wahlaufgaben integriert. Schließlich konnte die Verständlichkeit und die Aussagefähigkeit der Fragebogenitems überprüft und ein geeigneter Fragebogen zur Beantwortung der Forschungsfragen erarbeitet werden (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 59).

Bevor eine Auswertung der Antworten auf die Items mit offenem Antwortformat in Anlehnung an Mayring (2008) nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgte, wurden die Antworten zunächst dahingehend geprüft, ob eine direkte Reaktion des Lehrers auf die alternative Vorstellung des Lernenden festzustellen war. Eine direkte Reaktion meint hier, dass der Lehrer die Schüleräußerung wahrnimmt und in seiner Antwort auf diese eingeht. Falls sich eine direkte Lehrerreaktion in der Antwort identifizieren ließ, wurde die fachliche Richtigkeit der Lehrerantwort untersucht (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 64).

Nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2008) wurde ein Kategoriensystem auf der Grundlage der erhobenen Antworten definiert. Bei dieser Studie wurden Kategorien für die verschiedenen Handlungsmuster der befragten Probanden erstellt. Ein Beispiel für ein in dieser Studie definiertes Handlungsmuster ist das folgende: „Der Lehrer gibt Hinweise, die zur richtigen Lösung führen sollen“ (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 62). Nur solche Antworten, die eine direkte Lehrerreaktion auf eine alternative Schülervorstellung enthielten, wurden den Kategorien zugeordnet. Anschließend wurde bestimmt, wie häufig die Handlungsmuster bei einer direkten Lehrerreaktion in den Antworten auftraten, d.h. die qualitativen Daten wurden quantitativ ausgewertet (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 62).

Das gleiche Auswertungsverfahren wurde auch für die Fragebogenhauptstudie gewählt. Es nahmen ausschließlich erfahrene Chemielehrer an der Studie teil. In dieser Studie wurden 182 Fragebögen ausgewertet. Auf Grundlage der von den Fachlehrern angegebenen Antworten auf die Items mit offenem Antwortformat konnten insgesamt 29 verschiedene Handlungsmuster ermittelt werden. Die im Folgenden dargestellte Tabelle 1 zeigt lediglich eine Auswahl aus den 29 identifizierten Handlungsmustern. In der linken Spalte werden die einzelnen Kategorien der Handlungsmuster dargestellt. In der rechten Spalte wird das prozentuale Auftreten des jeweiligen Handlungsmusters dokumentiert (Uhren & Ralle 2011, S. 168).

**Tabelle 1:** Auswertung der in der Fragebogenhauptstudie angegebenen Lehrerreaktionen nach Handlungsmustern (Uhren & Ralle 2011, S. 168)

<b>Handlungsmuster</b>	<b>Häufigkeit</b>
<b>F</b> Der Lehrer gibt Hinweise, die zur richtigen Lösung führen sollen	17,8 %
<b>A</b> Der Lehrer stellt eine Zusatz-/ und/oder Gegenfrage	17,1 %
<b>E</b> Der Lehrer formuliert die richtige Erklärung theoretisch	15,7 %
<b>C</b> Der Lehrer schlägt die Überprüfung des Sachverhalts mithilfe eines Experimentes vor	12,5 %
[...]	[...]
<b>S</b> Die Frage/Vermutung wird aufgenommen, aber zunächst zurückgestellt	0,3 %
<b>Q</b> Der Lehrer verweist auf einen fachkundigen anderen Lehrer	0,1 %
<b>R</b> Der Lehrer sammelt die bearbeiteten Aufgaben ein, um eine Fehleranalyse zu betreiben	0,1 %

Die Ergebnisse der Fragebogenhauptstudie offenbaren, dass Handlungsmuster, die die Lernenden zu einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt anregen (z.B. Handlungsmuster F: Der Lehrer gibt Hinweise, die zur richtigen Lösung führen sollen und A: Der Lehrer stellt eine Zusatz- und/oder Gegenfrage) verhältnismäßig oft als direkte Reaktion auf eine alternative Vorstellung identifiziert wurden. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass das theo-



retische Formulieren der richtigen Erklärung (Handlungsmuster E) oder eine Überprüfung des Sachverhaltes mithilfe eines Experimentes (Handlungsmuster C) auch verhältnismäßig häufig von den teilnehmenden Chemielehrern vorgeschlagen wurden.

Welche Lehrerreaktion im Umgang mit alternativen Vorstellungen die geeignetste ist, hängt von vielzähligen Faktoren (z.B. vom Thema oder der zur Verfügung stehenden Zeit und Materialien) ab und soll an dieser Stelle nicht Diskussionsgegenstand sein. Aus konstruktivistischer Sichtweise werden jedoch Handlungsmuster bevorzugt, die eine selbstständige und aktive Auseinandersetzung der Schüler mit dem Lerngegenstand ermöglichen (siehe Kapitel 2.3; Häußler et al. 1998, S. 182).

Die Mehrfach-Wahlaufgaben wurden mithilfe einer Musterlösung quantitativ ausgewertet (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 62). Die Auswertung der Fragebogenhauptstudie ergab, dass knapp über die Hälfte der teilnehmenden Chemielehrer die Mehrfach-Wahlaufgaben richtig beantworteten. Dagegen wurden 45,8 % der Fragen falsch und 2,1 % überhaupt nicht beantwortet. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse der geschlossenen Frageformate zusammen (Uhren, Di Fuccia & Ralle 2012).

**Tabelle 2:** Quantitative Auswertung der Mehrfach-Wahlaufgaben der Fragebogenhauptstudie (Uhren, Di Fuccia & Ralle 2012)

<b>Beantwortung der Mehrfach-Wahlaufgaben</b>	<b>Anteil</b>
fachlich richtig	52,1 %
fachlich falsch	45,8 %
keine Antwort	2,1 %

Die falsche Beantwortung wie auch das Nichtbeantworten der Mehrfach-Wahlaufgaben deutet darauf hin, dass die Lehrkräfte teilweise selbst fachliche Unsicherheiten bezüglich des thematisierten chemischen Sachverhaltes vorweisen bzw. die gleichen alternativen Vorstellungen wie die Lernenden verinnerlicht haben. In der Unterrichtspraxis könnten diese Lehrkräfte die alternativen Vorstellungen ihrer Schüler vermutlich nicht erkennen und folglich nicht angemessen auf sie reagieren. Dass nur etwas mehr als die Hälfte der Lehrer in der Lage waren, alternative Vorstellungen in den Mehrfach-Wahlaufgaben zu identifizieren, sollte als ein alarmierendes Zeichen für die Lehrerbildung aufgefasst werden.

### 2.5.3 Darlegung der Videostudie

Die Fragebogenstudie ermöglichte erste Einschätzungen, um Aussagen über den Umgang von Lehrern mit alternativen Schülerkonzepten machen zu können. Um die Ergebnisse der Fragebogenstudie zu validieren und zu untersuchen, inwiefern die im Fragebogen angegebenen Handlungsmuster in der alltäglichen Unterrichtspraxis tatsächlich zu beobachten sind, wurde eine Videostudie an einem Gymnasium und zwei Realschulen durchgeführt. Innerhalb von 3 Monaten wurden zahlreiche Chemieunterrichtsstunden auf Video aufgezeichnet, sodass insgesamt 18 Stunden Videomaterial zur Auswertung zur Verfügung standen. Die Videoanalysen ergaben, dass die Lehrer im Unterricht nach insgesamt zehn unterschiedlichen Handlungsmustern auf eine alternative Schülervorstellung reagierten. Von diesen Handlungsmustern wird eine Auswahl in der folgenden Tabelle präsentiert. Die rechte Spalte zeigt das prozentuale Auftreten der jeweiligen Reaktion (Uhren & Ralle 2011, S. 168).

**Tabelle 3:** Auswertung der in der Videostudie identifizierten Lehrerreaktionen nach Handlungsmustern (Uhren & Ralle 2011, S. 168)

Handlungsmuster	Häufigkeit
<b>A</b> Der Lehrer stellt eine Zusatz-/ und/oder Gegenfrage	18,5 %
<b>E</b> Der Lehrer formuliert die richtige Erklärung theoretisch	14,9 %
<b>F</b> Der Lehrer gibt Hinweise, die zur richtigen Lösung führen sollen	11,6 %
[...]	[...]
<b>N</b> Der Lehrer wiederholt/konkretisiert die Aufgabenstellung	0,8 %
<b>D</b> Der Lehrer fordert die Schüler auf, den Sachverhalt neu zu überdenken	0,7 %
<b>C</b> Der Lehrer schlägt die Überprüfung des Sachverhalts mithilfe eines Experimentes vor	0,3 %

Auch wenn durch den Vergleich der Ergebnisse der Fragebogen- und Videostudie deutlich wird, dass in der Videostudie weniger Handlungsmuster als in der Fragebogenstudie ermittelt wurden, konnten die in der Theorie formulier-

ten Handlungsmuster durch die Videostudie bestätigt werden. Beide Studien identifizierten die drei gleichen Handlungsmuster (A, E und F) als die am häufigsten auftretenden Reaktionen auf eine alternative Vorstellung. Die Handlungsmuster A (Der Lehrer stellt eine Zusatz- und/oder Gegenfrage) und E (Der Lehrer formuliert die richtige Erklärung theoretisch) traten in beiden Untersuchungen etwa gleich häufig auf. Das Ergebnis der Fragebogenstudie bezüglich der beiden Handlungsmuster A und E konnte demzufolge durch die Ergebnisse der Videostudie bestätigt werden (Uhren & Ralle 2011, S. 169). Für das Auftreten des Handlungsmusters F (Der Lehrer gibt Hinweise, die zur richtigen Lösung führen sollen) wurden in den beiden Studien leicht abweichende Werte ermittelt. Während dieses Handlungsmuster mit 17,8 % am häufigsten in der Fragebogenstudie angegeben wurde, trat ein solches Lehrerverhalten in der Videostudie nur in 11,6 % der Fälle als eine Reaktion auf eine alternative Schülervorstellung auf. Ein deutlicher Unterschied zwischen den Resultaten der Fragebogen- und Videostudie war hinsichtlich des Handlungsmusters C zu erkennen. Im Fragebogen gaben die teilnehmenden Lehrer in 12,5 % der Fälle an, den mit einer alternativen Vorstellung belasteten Sachverhalt mit einem Experiment prüfen zu wollen. Die Ergebnisse der Videostudie hingegen offenbarten, dass dieses Lehrerverhalten mit 0,3 % nur sehr selten als eine Reaktion auf eine alternative Schülervorstellung erfolgte. Wie solch eine enorme Abweichung zu Stande kommen kann, wird in der Interviewstudie hinterfragt werden müssen. Die Interviews befinden sich derzeit noch in der Auswertung (Uhren & Ralle 2011, S. 169).

In Sarah Uhrens (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) Forschungsprojekt wurden alternative Schülervorstellungen zu verschiedenen Themengebieten des Chemieunterrichts als Grundlage für die Entwicklung des Fragebogens gewählt. Der Studie liegt daher ein breiter thematischer Zugang zugrunde und es konnten Lehrerreaktionen auf alternative Schülerkonzepte zu verschiedenen lehrplanrelevanten Themen erhoben werden.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu entwickelnden Fragebogenitems werden sich jedoch lediglich auf ein ausgewähltes Themengebiet des Chemieunterrichts beschränken: „Redoxreaktionen“. Die Entwicklung der Fragebogenitems wird folglich dazu dienen, den Umgang von Lehrkräften mit alternativen Vorstellungen speziell zu diesem Thema zu untersuchen. Im folgenden Kapitel wird zunächst eine didaktische Einordnung des Themengebietes in den hessischen Lehrplan erfolgen. Anschließend werden alternative Schülervorstellungen präsentiert, die bei der Behandlung von Redoxreaktionen typischerweise im Unterricht auftreten. Zusätzlich wird der theoretische Hintergrund zu dem Themengebiet dargelegt.

### 3. Das Thema „Redoxreaktionen“

Wie bereits erwähnt, soll mithilfe der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fragebogenitems der Umgang von Lehrern mit Schülervorstellungen, die typischerweise bei der Behandlung von „Redoxreaktionen“ im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II auftreten, untersucht werden. Die Wahl dieses speziellen Unterrichtsthemas liegt in der Vielzahl der auftretenden alternativen Vorstellungen zu „Redoxreaktionen“ begründet. Redoxvorgänge werden in der fachdidaktischen Literatur zu den sogenannten „Problemthemen“ des Chemieunterrichts gezählt (Fiebig & Melle 2001, S. 200; Markic & Eilks 2005, S. 8). Sie seien häufig mit Lernschwierigkeiten seitens der Schüler verbunden und für viele Lehrer schwer zu unterrichten:

*„Auffällig ist, dass unter den obligatorischen Themen gerade die theorielastigeren wie [...] die Elektronenübertragungsreaktionen [...] als überdurchschnittlich schwer zu unterrichten angesehen werden“ (Fiebig & Melle 2001, S. 200).*

Aus Lehrersicht seien „ein geringes Schülerinteresse“ und „ein hoher Schwierigkeitsgrad für die Schüler“ die Hauptursachen für Lernschwierigkeiten (Fiebig & Melle 2001, S. 200). Dass die Schwierigkeit, das Thema zu unterrichten und zu verstehen, nicht zwangsläufig allein durch den hohen Theoriegehalt begründet werden kann, wird in den folgenden Kapiteln noch näher erörtert. Bevor jedoch häufig auftretende alternative Schülervorstellungen zu Redoxreaktionen und deren Entstehungsursachen dargelegt werden, soll zunächst eine didaktische Einordnung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ in den hessischen Lehrplan erfolgen.

#### 3.1 Didaktische Einordnung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ in den hessischen Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs

Da die vorliegende Arbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien im Land Hessen entstand, wird in der folgenden didaktischen Einordnung des Themengebietes ausschließlich Bezug auf den hessischen Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs der Jahrgangsstufen 8 bis 13 für das Unterrichtsfach Chemie genommen (Hessisches Kultusministerium 2010).

Das Themengebiet „Redoxreaktionen“ ist in den curricularen Vorgaben für den gymnasialen Bildungsgang in Hessen sowohl für die Sekundarstufe I als auch für die Sekundarstufe II als verbindlicher Unterrichtsinhalt vorgesehen. In der 8. Jahrgangsstufe lässt sich die Einführung der beiden Begriffe „Oxidation“

und „Reduktion“ unter dem Themenbereich „Die chemische Reaktion – Stoffumsatz und Energieumsatz“ (24 Std.). Die Begriffe der Oxidation und der Reduktion sollen anhand der Bildung bzw. der Zerlegung von Oxiden eingeführt werden. So lernen die Schüler die Oxidation als Reaktionstyp bei der Behandlung von Reaktionen von Metallen und Nichtmetallen mit Sauerstoff kennen. Die Oxidation wird in diesem Kontext als Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff zu einem Oxid definiert. Der Reduktionsbegriff wird den Lernenden laut Lehrplanempfehlung erst später im Rahmen der Unterscheidung zwischen Verbindungen und Elementarsubstanzen begegnen. Im Anschluss erfolgt eine Thematisierung von Verbrennungsvorgängen im Alltag und der Umwelt (Hessisches Kultusministerium 2010, S. 14).

In der 9. Jahrgangsstufe sollen „Redoxreaktionen als Übertragung von Sauerstoff (unter Änderung von Oxidationszahlen)“ als „ein erstes Beispiel für das Donator-Akzeptor-Prinzip“ dienen (Hessisches Kultusministerium 2010, S. 16). Die Schüler lernen, dass bei einer Redoxreaktion eine Sauerstoffabgabe und eine Sauerstoffaufnahme innerhalb einer Reaktion erfolgt (Heimann & Eckert 2012, S. 28). Beim Erstellen von Redoxgleichungen sollen „Oxidationszahlen als wichtiges Hilfsmittel eingesetzt“ werden (ebd., S. 16). Weiterhin sollen „[a]usgewählte Redoxreaktionen mit Metall- und Nichtmetalloxiden“ behandelt und eine „Affinitätsreihe von Elementen zu Sauerstoff“ entwickelt werden (ebd., S. 17). Außerdem sieht der Lehrplan für die 9. Jahrgangsstufe vor, dass „Redoxreaktionen zur Herstellung von Gebrauchsmetallen“ im Unterricht thematisiert werden (ebd., S. 17). Ferner werden in der 9. Jahrgangsstufe unter dem Themengebiet „Elektrolyse und Ionenbegriff“ (8 Std.) die zu Elektrolysezellen zugehörigen Begriffe, wie z.B. Ladungsträger, Kathode/Anode, Kation/Anion, Elektrolyt und Elektrode eingeführt (ebd., S. 20). Anhand von Elektrolysen einer wässrigen Metallhalogenid-Lösung sollen die Vorgänge an den Elektroden mit vereinfachten Reaktionsgleichungen gedeutet werden. Somit erhalten die Lernenden einen ersten Einblick in die elektrochemischen Vorgänge einer Elektrolyse. Eine Verknüpfung dieser Prozesse mit den Begriffen Oxidation und Reduktion wird jedoch nach den curricularen Vorgaben nicht gefordert (ebd., S. 20f).

Bis zum Übergang in die gymnasiale Oberstufe ist lediglich die Erarbeitung der Definition des Redoxbegriffs auf der Stoffebene im Sinne einer Sauerstoffübertragung explizit vorgesehen. In der Einführungsphase der Sekundarstufe II wird unter dem Themengebiet „Redoxreaktionen“ (20 Std.) dann eine „Neudefinition<sup>8</sup> der Begriffe Oxidation, Reduktion, Redoxreaktion, Oxidations-

---

<sup>8</sup> In der fachdidaktischen Literatur herrscht weitestgehend Konsens darüber, dass es sich bei der elektronentheoretischen Definition um eine Neudefinition und nicht um eine bloße Erweiterung des Redoxbegriffes handelt (Hähndel 1991, S. 6; Pfeifer, Lutz & Bader 2002, S. 139; Rossow & Flint 2012; Schmidt 1994; Schmidt 1997; Sumfleth, Stachelscheid & Todtenhaupt 1991).

mittel, Reduktionsmittel“ und die „Herausarbeitung der Unterschiede zur bisherigen Definition“ verbindlich gefordert (ebd., S. 28). Versuche zu den Reaktionen von Metallen mit Nichtmetallen (wie z.B. Sauerstoff und Chlor) sollen die Neudefinition des Redoxbegriffes erleichtern. Erst im Kontext ausgewählter Redoxreaktionen soll die „Verschiebung oder [die] Aufnahme / Abgabe von Elektronen als Charakteristikum bei Redoxreaktionen“ unter Verwendung von Oxidationszahlen erarbeitet werden (ebd., S. 28). Das Donator-Akzeptor-Prinzip wird dementsprechend vertieft und auf die abstrakte Teilchenebene erweitert.

Wurde die Redoxreaktion als Elektronenübertragungsreaktion vorgestellt, soll nach den curricularen Vorgaben das Aufstellen von Reaktionsgleichungen für Redoxreaktionen in fester Phase und in wässriger Lösung geübt werden. Anhand von Reaktionen zwischen Metallen und Metallionen sowie zwischen Nichtmetallen und Nichtmetallionen in Lösung wird die Erarbeitung der Redoxreihe der Metalle und Nichtmetalle angestrebt (ebd., S. 28).

Außerdem sollen die Schüler bei der Thematisierung von elektrochemischen Spannungsquellen „Primär- und Sekundärelemente zur Nutzenergiegewinnung und -speicherung“ kennen lernen, wie z.B. das Daniell-Element, das Zink/Braunstein-Element oder den Bleiakkumulator. In diesem Themenkomplex sind auch Fragen bezüglich der Entsorgung bzw. des Recyclings von Batterien und -akkumulatoren zu klären. Dass Wasserstoff als der Energieträger der Zukunft angesehen wird, soll anhand der Brennstoffzelle diskutiert werden. Damit deutlich wird, dass nicht nur chemische in elektrische Energie umgewandelt werden kann, sondern dass auch die Umkehrung dieser Umwandlung möglich ist, sind auch Redoxvorgänge bei Elektrolysen als verbindlicher Unterrichtsinhalt vorgesehen (ebd., S. 28).

Im zweiten Halbjahr der 13. Jahrgangsstufe können die bisherigen Kenntnisse über die Redoxprozesse in elektrochemischen Zellen eine weitere Vertiefung erfahren, wenn im Chemieleistungskurs das Wahlthema „Elektrochemie“ (43 Std.) unterrichtet wird (ebd., S. 49). Die elektrochemische Stromerzeugung durch galvanische Elemente wird nun unter dem Aspekt der Potentialdifferenz zwischen einfachen Redoxpaaren betrachtet und die Faktoren, die die Größe des Potentials beeinflussen (z.B. Konzentration), ermittelt. Im Kontext der Konzentrationsabhängigkeit werden die Nernst-Gleichung und deren Bezug zum Massenwirkungsgesetz thematisiert. Außerdem lernen die Schüler die Ursachen für Korrosionsvorgänge und Möglichkeiten zum Korrosionsschutz kennen. Schließlich werden die vorhandenen Kenntnisse über die Redoxprozesse bei Elektrolysen noch einmal gefestigt. Neben fachwissenschaftlichen Perspektiven, sollen die Lernenden auch Einsichten in wirtschaftliche und ökolo-

gische Fragestellungen zur technischen Nutzung von elektrochemischen Zellen erhalten (ebd., S. 49).

Die Thematisierung von Redoxreaktionen wird nach den curricularen Vorgaben unter vielen weiteren Themenschwerpunkten gefordert. So werden beispielsweise bei der Behandlung von Alkanolen die Redoxreaktionen primärer und sekundärer Alkanole als Lerninhalt der Jahrgangsstufe 12 sowohl für Grundkurse als auch Leistungskurse vorgesehen (ebd., S. 33ff).

Die Lehrplaninhalte sollen die Schüler dafür sensibilisieren, welche enorme Bedeutung Redoxprozesse für das alltägliche Leben und den heutigen Lebensstandard haben. Auch wenn es für die Lernenden auf den ersten Blick nicht augenscheinlich werden mag, lassen sich Redoxvorgänge in den verschiedensten Lebensbereichen und Alltagssituationen beobachten (z.B. das Rosten von Eisengegenständen, das Verbrennen von Holz oder das Bleichen von Textilien). Vor allem wird die Relevanz des Themengebietes jedoch durch die Bezüge zu Technik, Wirtschaft und Umwelt deutlich. Die Gewinnung von Metallen aus Erzen, die Nutzung von Metallen in nahezu allen Anwendungsbereichen und die Energiegewinnung bzw. -speicherung durch galvanische Zellen sollen an dieser Stelle nur als Beispiele aufgeführt werden.

Schließlich lässt sich zusammenfassen, dass die Lernenden im Chemieanfangsunterricht in der Regel Oxidations-, Reduktions- und Redoxreaktionen als drei gleichrangige Reaktionstypen kennenlernen, bevor die aktuell gültige Elektronen-basierte Definition der Redoxreaktion im fortgeschrittenen Unterricht eingeführt wird (Heimann & Eckert 2012, S. 27). Durch die (Neu-)Definition von Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen werden die bereits vorhandenen Kenntnisse der Lernenden zum Bau der Atome und zum Donator-Akzeptor-Prinzip weiter vertieft (ebd., S. 28).

## **3.2 Der Redoxbegriff**

Wie in Kapitel 3.1 dargelegt wurde, werden die Begriffe der „Oxidation“ und „Reduktion“ im Chemie-Anfangsunterricht nach dem hessischen Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs der Jahrgangsstufen 8 bis 13 zunächst in Anlehnung an die historische Entwicklung beider Definitionen eingeführt. Sobald das differenzierte Atommodell im fortgeschrittenen Unterricht behandelt wurde, werden Redoxreaktionen dann als Reaktionen gekennzeichnet, bei denen Elektronenübergänge stattfinden (Asselborn, Jäckel & Risch 2001, S. 74; Heimann & Eckert 2012, S. 27; Hessisches Kultusministerium 2010, S. 14). Das folgende Kapitel soll in aller Kürze einen Überblick über die historische Entwicklung des Redoxbegriffs bieten. Anschließend werden in Kapitel 3.2.2 diesbezügliche alternative Schülervorstellungen aufgeführt.

### 3.2.1 Theoretischer Hintergrund zur historischen Entwicklung des Redoxbegriffs

Die Bedeutung des Redoxbegriffs hat sich mit der Entwicklung der Chemie fortwährend gewandelt (Schmidt 1994, S. 6). Der historische Reduktionsbegriff beruht auf den Arbeiten Joachim Jungius (1587-1657), der die (Rück-)Gewinnung von Metallen aus Erzen oder allgemein aus Metallverbindungen als Reduktion (lat. *reducere* – zurückführen) bezeichnete (Barke 2006, S. 220; Kecki 1991, S. 26). Zu Jungius' Zeiten gewann man beispielsweise durch starkes Erhitzen Quecksilber aus Quecksilbersulfid (Barke 2006, S. 220).

Der Oxidationsbegriff entwickelte sich am Ende des 18. Jahrhunderts mit der Entdeckung des Sauerstoffs. Der französische Forscher Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) prägte den Oxidationsbegriff ganz entscheidend. Er bezeichnete die Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff unter Bildung von Oxiden als Oxidation (frz. *Oxygène* – Sauerstoff) (Asselborn, Jäckel & Risch 2001, S. 179; Barke 2006, S. 221; Hähndel 1991, S. 6).

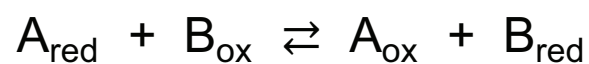
Nach dieser Auffassung von Reduktion und Oxidation wurden die beiden Reaktionen zunächst nicht als gegenläufige Vorgänge aufgefasst: „Reduktion stand für die Rückgewinnung eines Metalls aus Metallverbindungen, Oxidation für die Reaktion mit Sauerstoff“ (Barke 2006, S. 221). Erst im Laufe der Zeit wandelte sich die Definition der Reduktion dahingehend, dass man eine Reaktion, bei der Sauerstoff abgegeben wird, als Reduktion verstand. Somit wurden Reduktions- und Oxidationsreaktionen als Umkehrung der jeweils anderen angesehen (Barke 2006, S. 221; Hähndel 1991, S. 6).

Einen erheblichen Bedeutungswandel erfuhren die aufgeführten Definitionen zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als Walther Kossel (1888-1956) und Gilbert Newton Lewis (1875-1946) im Jahre 1916 die Elektronentheorie der chemischen Bindung formulierten. Seither wird davon ausgegangen, dass bei Reduktions- und Oxidationsprozessen Elektronenübergänge von einem Atom oder Ion (Elektronendonator) auf ein anderes Atom oder Ion (Elektronenakzeptor) stattfinden. Nach dieser Neudefinition ist unter einer Oxidation eine Elektronenabgabe und unter einer Reduktion eine Elektronenaufnahme zu verstehen. Diese Definition ist weitaus allgemeiner als die ursprüngliche und schließt die Zerlegung und die Bildung von Oxiden mit ein (Demuth, Parchmann & Ralle 2006, S. 489).

Wenn ein Atom oder Ion unter Abgabe von Elektronen oxidiert wird, bedeutet dies, dass gleichzeitig ein anderes Atom oder Ion durch die Aufnahme dieser Elektronen reduziert werden muss. Die Oxidation eines Teilchens geht somit immer mit der Reduktion eines anderen Teilchens einher. Die Kopplung der beiden Vorgänge wird durch die Bezeichnung Reduktions-Oxidations-Reak-



tion, kurz „Redoxreaktion“, ausgedrückt. Folglich müssen an jeder Redoxreaktion zwei korrespondierende Redoxpaare beteiligt sein:



Die Teilchen  $A_{\text{red}}$  geben Elektronen an die Teilchen  $B_{\text{ox}}$  ab. Die Teilchen  $A_{\text{red}}$  werden als Reduktionsmittel (Elektronendonatoren) bezeichnet, da sie ihren Reaktionspartner reduzieren. Sie selbst werden oxidiert. Vice versa oxidieren die Teilchen  $B_{\text{ox}}$  die Teilchen  $A_{\text{red}}$ , indem sie die von  $A_{\text{red}}$  abgegebenen Elektronen aufnehmen und somit reduziert werden. Die Teilchen  $B_{\text{ox}}$  wirken als Oxidationsmittel (Elektronenakzeptoren) (Riedel 2010, S. 215).

Die Elektronen, die einem Atom bei einer Redoxreaktion entzogen werden, müssen nicht zwangsläufig von dem entsprechenden Teilchen völlig entfernt werden. Es genügt, wenn bei einer Reaktion eine polare kovalente Bindung zu einem elektronegativeren Atom ausgebildet wird (Mortimer & Müller 2007, S. 230). Dadurch werden die Bindungselektronen stärker zu dem elektronegativeren Bindungspartner gezogen. Eine Redoxreaktion liegt demzufolge auch dann bereits vor, wenn bei der Bildung einer kovalenten Bindung die Bindungselektronen vom elektropositiveren zum elektronegativeren Bindungspartner partiell verlagert werden (Mortimer & Müller 2007, S. 230). Diese Auffassung von Redoxvorgängen ist gleichbedeutend mit der nochmals erweiterten Definition, die sich auf die Oxidationszahlen von Atomen in Molekülen bezieht (Mortimer & Müller 2007, S. 725). Als Reduktion wird demnach ein Prozess verstanden, bei dem die Oxidationszahl eines Atoms erniedrigt wird. Hingegen wird bei einer Oxidation die Oxidationszahl eines Atoms erhöht (Mortimer & Müller 2007, S. 230). Anhand der hier skizzierten Entwicklung des Redoxbegriffs wird deutlich, dass sich der Reduktions- und der Oxidationsbegriff nach der ursprünglichen Definition auf Substanzen bezieht, während bei den Definitionen im Sinne einer Elektronenübertragung und einer Änderung von Oxidationszahlen Bezug zur Teilchenebene genommen wird.

Wird der Redoxbegriff anhand der historischen Entwicklung im Unterricht eingeführt, muss beim Übergang von den ursprünglichen zu den gegenwärtig gültigen Definitionen der Begriffe eine Betrachtungsverlagerung von der makroskopischen Stoffebene zur submikroskopischen Ebene der Teilchen von den Lernenden vollzogen werden. Sehr häufig ist der Übergang von der Definition auf der Stoffebene zur abstrakteren Definition auf der Teilchenebene mit erheblichen Lernschwierigkeiten seitens der Schüler verbunden (Heinemann & Eckert 2012, S. 28). Alternative Vorstellungen können resultieren. Im folgenden Kapitel werden einige diesbezüglich dokumentierte alternative Schülerkonzepte vorgestellt.

### 3.2.2 Schülervorstellungen zum Redoxbegriff

Nach der aktuell gültigen naturwissenschaftlichen Vorstellung werden Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen definiert. Trotz der Einführung der Elektronen-basierten Definition der Redoxreaktion und deren Veranschaulichung durch Experimente im Unterricht, sind Lernende oftmals der Überzeugung, dass an jeder Redoxreaktion Sauerstoff beteiligt sein muss<sup>9</sup> (Barke 2006, S. 223; Horton 2007, S. 59; Schmidt 1994, S. 6). In einer empirischen Untersuchung von Schmidt (1994) zum Verständnis des Redoxbegriffs wurden Gymnasialschüler der Sekundarstufe II befragt, bei welcher der folgenden Reaktionen es sich um eine Redoxreaktion handelt:

- 1)  $2 \text{HCl} + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$
- 2)  $2 \text{HCl} + \text{MgO} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $2 \text{HCl} + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{MgCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Diese Aufgabe wurde so konzipiert, dass die teilnehmenden Schüler zwischen der ursprünglichen substanzbezogenen und der teilchenbezogenen Neudefinition des Redoxbegriffs unterscheiden mussten.

Ca. 50 % aller befragten Leistungskursschüler und rund ein Drittel der Grundkursschüler wählten die richtige Antwort. Die restlichen Probanden entschieden sich für die zweite oder dritte oder beide Reaktionen und begründeten ihre Wahl beispielsweise mit Erklärungen wie: „Zu einer Redoxreaktion ist Sauerstoff notwendig, das heißt, Nr. 1 kann keine Redoxreaktion sein...“ (Schmidt 1994, S. 7), „Beide [ $\text{MgO}$  und  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ] enthalten Sauerstoff, was zu einer Redoxreaktion unbedingt erforderlich ist“ (Schmidt 1994, S. 6) oder „Die zweite und die dritte sind Redox-Reaktionen, da bei beiden Sauerstoff- und Elektronenübergänge stattfinden“ (Schmidt 1994, S. 7).

Diese Erklärungen lassen vermuten, dass die Konzepte der Sauerstoff-Übertragung und des Elektronenübergangs weitgehend unverbunden in den Köpfen der befragten Schüler existieren (Rossow & Flint 2012, S. 5). Außerdem deuten die ersten beiden Aussagen darauf hin, dass den Lernenden die substanzbezogene Definition des Redoxbegriffs präsenter als die elektronentheoretische Deutung zu sein scheint und sie deswegen trotz Kenntnis der Elektronenübertragung auf das Prinzip der Sauerstoffübertragung zurückgreifen (Rossow & Flint 2012, S. 5; Schmidt 1994, S. 8). Dass die ursprünglichen Definitionen der Begriffe Oxidation, Reduktion und Redoxreaktion den Lernenden geläufiger zu sein scheinen, zeigt sich auch in den von Horton (2007, S. 59f) dokumentierten Schülervorstellungen zum Redoxbegriff. Barke (2006, S.

---

<sup>9</sup> Ähnliche, dem Sinn gemäße alternative Schülerkonzepte finden sich in der Sammlung von HORTON 2007, S. 59f.

223) nimmt außerdem an, dass die Lernenden die Silbe „ox“ stark mit Sauerstoff (Oxygenium, Oxide, etc.) assoziieren. Aus diesem Grund ließen sich viele zu der Interpretation verleiten, dass die Beteiligung von Sauerstoff eine Voraussetzung für eine Redoxreaktion sei (Barke 2006, S. 223). Die dritte Schülersaussage lässt auf die Vermischung der ursprünglichen und der aktuellen Definition der Redoxreaktion schließen.

Eine weitere typische alternative Vorstellung, die selbst noch in der Sekundarstufe II auftritt, ist, dass Reduktions- und Oxidationsprozesse unabhängig voneinander ablaufen können (Horton 2007, S. 60). Eine mögliche Ursache für diese Annahme könnte sein, dass Reduktion, Oxidation und Redoxreaktionen im Chemieanfangsunterricht zunächst als drei verschiedene gleichrangige Reaktionstypen behandelt werden (siehe Kapitel 3.1).

Insgesamt kann festgehalten werden, dass alternative Vorstellungen, die den Redoxbegriff betreffen, zumeist durch den vorangegangenen Unterricht entstehen, wenn die Begriffe der Oxidation, Reduktion und Redoxreaktion anhand der historischen Genese als drei gleichberechtigte Reaktionstypen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I eingeführt werden. Die oben aufgeführten alternativen Vorstellungen sind demnach als hausgemacht einzustufen (Markic & Eilks, 2005, S. 8). Beim Übergang von der Sauerstoff-basierten Definition im Sinne Lavoisiers zur elektronentheoretischen Definition können erhebliche Lernschwierigkeiten entstehen, denn jede Oxidation und Reduktion nach Lavoisier muss nun als vollständige Redoxreaktionen aufgefasst werden, die unabhängig von einer Sauerstoff-Beteiligung ist. Wie die Studienergebnisse von Schmidt (1994, S. 6ff) zeigen, bereitet die Neudefinition des Redoxbegriffs vielen Schülern Verständnisschwierigkeiten. Die Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff als einen Spezialfall der Redoxreaktion anzusehen, stellt für Lernende häufig eine große kognitive Herausforderung dar (Barke 2012, S. 12).

### **3.3 Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen**

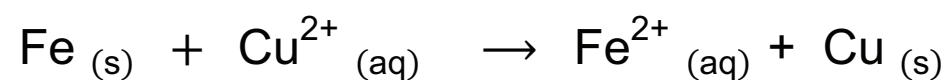
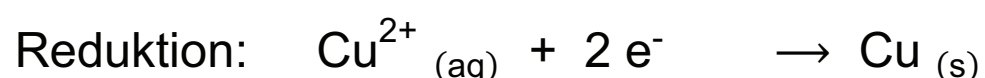
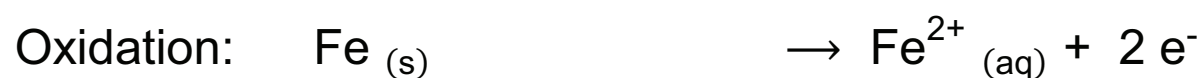
Im weiterführenden Chemieunterricht wird das Konzept der Elektronenübertragung häufig durch eine Reaktion zwischen Metallen und Metallionen in Lösung demonstriert, wie etwa der Reaktion von Eisen mit einer Kupfersulfat-Lösung (Barke 2006, S. 224; Barke 2012 S. 11; Hessisches Kultusministerium 2010, S. 28). Denn durch die Fällung von Metallen aus ihren Salzlösungen kann eindrucksvoll verdeutlicht werden, dass bei diesen Reaktionen ein Elektronentransfer ablaufen muss (Heimann & Eckert 2012, S. 30). Um einen Übergang von der sauerstoffbezogenen zur elektronenbasierten Definition der Redoxreaktion zu schaffen, können alternativ auch Reaktionen zwischen Metallen und Nichtmetallen (z.B. Sauerstoff und Chlor) durchgeführt werden, um

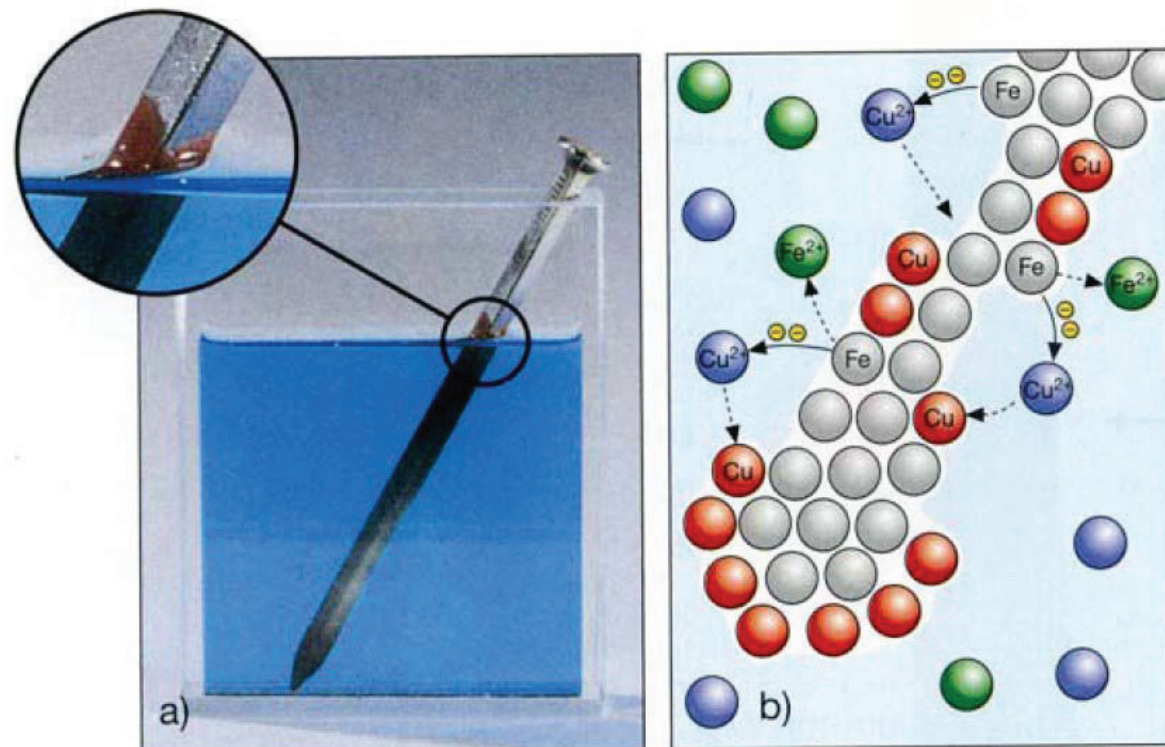
zu zeigen, dass Redoxreaktionen unabhängig von der Beteiligung von Sauerstoff stattfinden können (Barke 2006, S. 224; Barke 2012 S. 11; Hessisches Kultusministerium 2010, S. 28). Im Folgenden sollen die theoretischen Grundlagen zu diesen im Unterricht typischerweise eingesetzten Experimenten kurz dargelegt werden (Kapitel 3.3.1). Im Anschluss daran wird eine Auswahl an alternativen Schülervorstellungen bezüglich dieser Reaktionen aufgeführt (Kapitel 3.3.2).

### 3.3.1 Theoretischer Hintergrund zu den Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen

Taucht man einen blanken Eisennagel in eine Kupfersulfat-Lösung, so entsteht nach kurzer Wartezeit ein kupferfarbener Überzug auf dem Nagel und die blaue Farbe der Kupfersulfat-Lösung verblasst stetig. Die Lösung erscheint blass grün (Jander & Blasius 1989, S. 339).

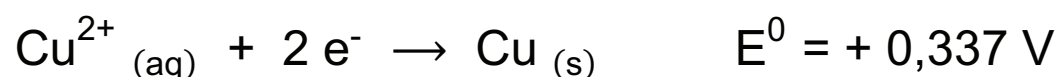
Diese Beobachtungen lassen sich wie folgt deuten: Der Eisennagel wird von einer Kupferschicht überzogen (Abbildung 5). Das elementare Kupfer entsteht durch eine Redoxreaktion, bei der die Eisen-Atome jeweils zwei Elektronen abgeben, die von den Kupfer-Ionen aufgenommen werden. Durch die Reduktion zu elementarem Kupfer wird die Konzentration der Kupfer-Ionen, die die blaue Farbe der Salzlösung verursachen, erniedrigt und die Intensität der Farbe nimmt ab. Die einsetzende grüne Farbe der Lösung lässt sich durch die Bildung von Eisensulfat erklären. Die ablaufende Redoxreaktion kann formal in zwei Teilreaktionen unterteilt werden und lässt sich daher durch folgende Reaktionsgleichungen beschreiben:



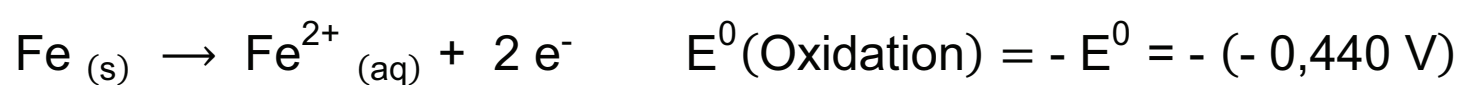


**Abbildung 5:** Reaktion von Eisen mit einer Kupfersulfat-Lösung, a) Stoffebene, b) Modellzeichnung (entnommen: Barke 2012, S. 11)

Triebkraft der Redoxreaktion ist die Differenz zwischen den Normalpotentialen (Reduktionspotentialen)  $E^0$  der beiden Teilreaktionen. Das gegen die Norm-Wasserstoff-Elektrode ( $E^0 = 0 \text{ V}$  per Definition) gemessene Halbzellenpotential einer Standard-Elektrode nennt man Normalpotential  $E^0$  (Mortimer & Müller 2007, S. 359). Bei positivem Vorzeichen von  $E^0$  läuft bei einer Elektrode im Vergleich zur Norm-Wasserstoff-Elektrode eine Reduktion freiwillig ab (ebd., S. 359). Mit Hilfe der Normalpotentiale  $E^0$  können Aussagen über die Stärke von Oxidations- und Reduktionsmitteln auch außerhalb von elektrochemischen Zellen getroffen werden (ebd., S.361). Je positiver das Normalpotential, desto größer ist die Oxidationswirkung des Oxidationsmittels (ebd., S. 361). Im Fall der hier vorliegenden Reaktion fungieren die Kupfer-Ionen als Oxidationsmittel und das zugehörige Normalpotential  $E^0$  beträgt  $+ 0,337 \text{ V}$  (ebd., S. 361):



Für das Reduktionsmittel, in diesem Fall die Eisen-Atome, gilt analog: Je negativer das Normalpotential  $E^0$ , desto stärker reduzierend wirkt das Reduktionsmittel (ebd., S. 361). Das Normalpotential  $E^0$  bezieht sich auf die Halbreaktion der Reduktion. Bei der Formulierung einer Oxidationsreaktion muss das Vorzeichen von  $E^0$  entsprechend umgekehrt werden (Engel & Reid 2006, S. 294). Der Wert für das zu dieser Teilreaktion zugehörige Normalpotential  $- E^0$  beträgt  $+ 0,440 \text{ V}$  (ebd., S. 361):



Ob eine Redoxreaktion zwischen zwei Substanzen (mit gleicher Aktivität)<sup>10</sup> abläuft, hängt maßgeblich von den Normalpotentialen  $E^0$  ab. Es kommt nur dann zu einer Reaktion, wenn das zum Oxidationsmittel zugehörige Reduktionspotential  $E^0$  positiver ist, als das Reduktionspotential  $E^0$  des Reduktionsmittels (ebd., S. 361). Anders ausgedrückt bedeutet das, dass die Reaktion nur ablaufen wird, wenn die elektromotorische Kraft (EMK)

$$\text{EMK} = \Delta E^0 = E^0(\text{Reduktion}) + E^0(\text{Oxidation})$$

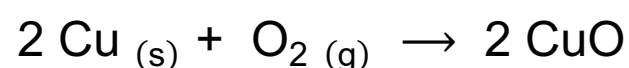
der Gesamtreaktion einen positiven Wert besitzt (Engel & Reid 2006, S. 294; Mortimer & Müller 2007, S. 361).

Für die Reaktion zwischen elementarem Eisen und Kupfer(II)-Ionen ergibt sich folgender Wert für die elektromotorische Kraft:

$$\begin{aligned} \text{EMK} = \Delta E^0 &= E^0(\text{Reduktion}) + E^0(\text{Oxidation}) \\ &= 0,337 \text{ V} + 0,440 \text{ V} \\ &= 0,777 \text{ V} \end{aligned}$$

Durch diesen Wert wird rechnerisch bestätigt, dass eine Redoxreaktion zwischen den Eisen-Atomen und den zweiwertigen Ionen des Kupfers abläuft.

Auch bei den Reaktionen von Metallen mit Sauerstoff oder Chlor finden Elektronenübergänge statt. Wird beispielsweise ein dünnes Stück Kupferblech zu einem Brief gefaltet und anschließend in der rauschenden Brennerflamme erhitzt, kann beobachtet werden, dass der Brief außen schwarz-grau wird. Die Innenseite des Briefes bleibt jedoch weitgehend unverändert kupferfarben. An manchen Stellen ist eine Rotfärbung zu erkennen. Diese Beobachtungen können wie folgt erklärt werden: Bei dem schwarz-grauen Stoff auf der Oberfläche des Kupferbriefes handelt es sich um Kupfer(II)-oxid, das durch die Reaktion des Kupfers mit dem Sauerstoff der Luft entstanden ist. Diese Reaktion fand auf der Außenseite des Kupferbriefes statt, da dort die beiden Reaktionspartner in ausreichendem Maße in Kontakt gelangen konnten.



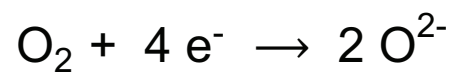
Bei der Reaktion findet ein Elektronenübergang von den Kupfer-Atomen auf die Atome des Sauerstoffmoleküls statt. Durch die Abgabe von jeweils zwei Elektronen ändert sich die Oxidationszahl der Kupferatome von  $\pm 0$  auf  $+II$ . Die Kupfer-Atome werden demzufolge oxidiert.



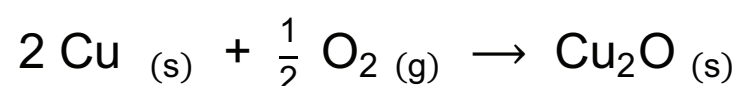

---

<sup>10</sup> Redoxreaktionen, die nicht unter Standard-Bedingungen ablaufen, werden generell durch die Nernst-Gleichung beschrieben, sollen hier jedoch nicht näher erörtert werden.

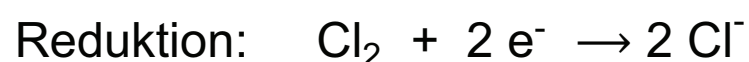
Gleichzeitig werden diese Elektronen von den Atomen der Sauerstoffmoleküle aufgenommen, sodass sich deren Oxidationszahl von  $\pm 0$  auf  $-II$  erniedrigt; die Atome der Sauerstoffmoleküle werden reduziert.



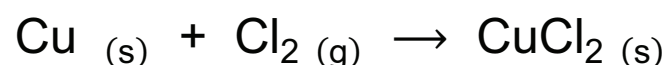
Als Reaktionsprodukt erhält man die Ionenverbindung Kupfer(II)-oxid. Die Rotfärbung an der Innenseite des Briefes lässt sich durch die Entstehung von Kupfer(I)-oxid erklären. Im Inneren des Briefes herrscht eine vergleichsweise niedrige Konzentration von Sauerstoff, sodass an dieser Stelle lediglich die Oxidationsstufe  $+I$  bei den Kupfer-Ionen erreicht wird (Freytag, Scharf & Thomas 2002, S. 202).



Eine ähnliche Redoxreaktion läuft bei der Reaktion von Kupfer mit Chlor ab. Wird Kupferpulver in einem Metalllöffel über der Brennerflamme erhitzt und anschließend in einen mit Chlorgas gefüllten Standzylinder gehalten, so glüht das heiße Metall auf, Rauch steigt auf und an den Gefäßwänden entsteht ein grüner Feststoff (Freytag, Scharf & Thomas 2001, S. 92). Für diese Redoxreaktion lassen sich die folgenden Teilgleichungen formulieren:



Die Kupfer-Atome geben jeweils zwei Elektronen ab und werden zu Kupfer(II)-Ionen oxidiert. Die Oxidationszahl der Kupfer-Atome erhöht sich von  $\pm 0$  auf  $+II$ . Die Atome der Chlormoleküle nehmen die von den Kupfer-Atomen abgegebenen Elektronen auf und werden zu Chlorid-Ionen reduziert. Bei diesem Vorgang erniedrigt sich die Oxidationszahl von  $\pm 0$  auf  $-I$ . Als Reaktionsprodukt dieser Redoxreaktion entsteht Kupfer(II)-chlorid.<sup>11</sup>



### 3.3.2 Schülervorstellungen zu den Reaktionen von Metallen mit Lösungen und Gasen

Sumfleth (1992) untersuchte, wie Lernende der Jahrgangsstufen 6-13 die bekannte Reaktion eines Eisennagels mit einer Kupfersulfat-Lösung erklären. Sie dokumentierte falsche Antworten, die sich auf die Existenz von Präkonzepten

<sup>11</sup> Je nach Stöchiometrie und Reaktionsbedingungen kann bei der Reaktion von Kupfer mit Chlor neben  $\text{CuCl}_2$  auch  $\text{CuCl}$  entstehen. Reines, wasserfreies  $\text{CuCl}_2$  ist braun. Durch die Bildung eines Hydrates oder durch die Bildung von farblosem  $\text{CuCl}$  kann sich die Farbe in Richtung Blau oder Grün ändern. (Holleman & Wiberg 1985, S. 1002; Gmelin 1971, S. 254ff)

als auch auf das Vorhandensein von hausgemachten alternativen Vorstellungen, die sich im Laufe des vorangegangenen Unterrichts entwickelten, zurückführen lassen. Ein Großteil der Schüler der Jahrgangsstufen 6-8 deutete die Entstehung des kupferfarbenen Überzugs mit „Absetzen, Hängen- oder Klebenbleiben oder Abfärben eines Stoffes am Eisennagel“ (Barke 2012, S. 12), wie die folgenden Schülererklärungen exemplarisch demonstrieren: „Das Kupfersulfat färbt sich auf dem Eisennagel ab.“ oder „Ich glaube, daß Kupfersulfat bleibt daran kleben, wie als wenn man ein Stück Holz in Farbe legt und dann trocknet“ (Sumfleth 1992, S. 411). Andere Lernende vermuten, dass der kupferfarbene Überzug aufgrund von elektrostatischen oder magnetischen Kräften zwischen den Substanzen entsteht (Sumfleth 1992, S. 411). Diese Erklärungsansätze basieren eindeutig auf alltäglichen Beobachtungen der Lernenden und können als Präkonzepte aufgefasst werden; eine wissenschaftliche Vorstellung kann in den unteren Jahrgängen nach Barke (2012, S. 12) noch nicht von den Lernenden erwartet werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass diese ursprünglichen Erklärungsmuster selbst in der Oberstufe nach der Behandlung der Themengebiete „Redoxreaktionen“ und „Elektrochemie“ bestehen bleiben (Sumfleth 1992, S. 412). Zwar verwenden die Lernenden vermehrt fachwissenschaftliche Begriffe in ihren Deutungen, jedoch gelangen etliche Schüler nicht zu einer naturwissenschaftlich korrekten Erklärung. Vielmehr lässt sich vermuten, dass die Lernenden Fachausdrücke benutzen, um ihren alternativen Vorstellungen einen Anschein der Wissenschaftlichkeit zu verleihen (Barke 2012, S. 12).

An dieser Stelle sei festgehalten, dass der Fortbestand ursprünglicher, alternativer Erklärungsmuster bis in die Sekundarstufe II zeigt, für wie aussagekräftig Lernende ihre alternativen Vorstellungen halten. Sie erkennen trotz der Thematisierung von Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen teilweise nicht, dass bei der Reaktion von Eisen mit einer Kupfersulfat-Lösung eine (Redox-)Reaktion stattfindet. Deutungen, die auf lebensweltlichen Beobachtungen beruhen, wie das „Absetzen“ oder „Klebenbleiben“ einer Substanz am Eisennagel, scheinen für sie sinnvoll. Ein weiterer Erklärungsbedarf besteht für viele nicht. Hier zeigt sich, dass alternative Vorstellungen den Lernprozess stark behindern können (Sumfleth 1992, S. 412).

Aus aktuelleren Erhebungen zum Schülerverständnis von Redoxreaktionen in den Jahrgangsstufen 10-13 gingen ähnliche Resultate hervor (Heints 2005). Auch bei dieser Untersuchung wurden Gymnasialschüler um eine Deutung der Eisennagel-Kupfersulfat-Reaktion gebeten. In 34 % der Antworten wurden die Begriffe Redoxreaktion und Elektronenübertragung zur Erklärung verwendet. Die zur Veranschaulichung aufgestellten Reaktionsgleichungen waren jedoch größtenteils fehlerhaft. Insgesamt wurden über 60 % der Schülererklärungen als fachlich falsch identifiziert. Wie in den Studienergebnissen von Sumfleth



(1992, S. 410ff), zeigte sich auch in diesen Schülerantworten, dass manche Lernende aus der Jahrgangsstufe 10 gar keine chemische Reaktion zwischen Eisen und Kupfersulfat vermuten, sondern vielmehr magnetische Wechselwirkungen oder ein „Abfärben, Absetzen oder Hängenbleiben des elementaren Kupfers, der Kupfersulfat-Lösung, der Kupfer-Atome, der Kupfer-Ionen [...]“ (Barke 2012, S. 12) als Ursache für das Entstehen des Metallüberzugs anführen. Andere Probanden deuteten den kupferfarbenen Überzug als Rost (Barke 2012, S. 12). Diese Erklärungsansätze verdeutlichen, dass scheinbar auch diese Schüler vertraute Alltagsbeobachtungen zu Hilfe nehmen, um zu einer Deutung des Experimentes zu gelangen (Barke 2012, S. 12).

Weiterhin fällt auf, dass die Lernenden selbst in der Sekundarstufe II weder zwischen der Teilchen- und der Stoffebene noch zwischen Ionen und Atomen in ihren Deutungen unterscheiden. In der folgenden Schüleraussage wird deutlich, dass nicht zwischen Atomen und Stoffen differenziert wird:

„*Kupferionen* aus der Lösung verbinden sich mit dem *Eisennagel*“<sup>12</sup>.

Argumentation auf submikroskopischer Ebene der Teilchen

Argumentation auf makroskopischer Ebene der Stoffe anstatt auf submikroskopischer Teilchenebene

Die Differenzierungsschwierigkeiten zwischen den einzelnen Betrachtungsebenen der Chemie, die von Johnstone im sogenannten Chemischen Dreieck dargestellt werden (siehe Kapitel 2.2), treten hier in Erscheinung.

Eine Schülerantwort, die exemplarisch demonstriert, dass keine Unterscheidung zwischen Ionen und Atomen vorgenommen wird, ist die folgende: „Kupfer aus Kupfersulfat setzt sich am Eisennagel ab, es verbindet sich mit Eisenatomen“ (Barke 2012, S. 12). Es kann davon ausgegangen werden, dass dem Lernenden nicht klar ist, dass Kupferionen in der Salzlösung existieren. Die obige Aussage suggeriert, dass in der Vorstellung des Schülers Kupfer schon in Form von Atomen vorliegt, sodass ausgehend von dieser Annahme für die Entstehung des Metallüberzugs gar keine Redoxreaktion notwendig ist (Barke, 2012, S. 12).

<sup>12</sup> Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Quellenangabe an dieser Stelle in Form einer Fußnote angegeben: Barke 2012, S. 12.

Im Rahmen derselben Untersuchung wurden auch Schülervorstellungen zu Metallreaktionen mit Sauerstoff und Chlor erhoben (Heints 2005). Lernende der Klassenstufen 9-13 wurden im Kontext zweier Mehrfach-Wahlaufgaben um eine Deutung der Reaktion von Kupfer mit Sauerstoff und von Kupfer mit Chlor gebeten (siehe Kapitel 3.3.1). Ihre Wahl der Antwort sollte zusätzlich kurz begründet werden. Mit Hilfe der folgenden Fragen sollte festgestellt werden, ob die Lernenden die sauerstoffbasierte oder die elektronentheoretische Definition zur Deutung der geschilderten Redoxreaktionen heranziehen und wann bzw. in welchem Umfang sie „mit der Oxidation oder Reduktion eines **Stoffes** oder der eines **Teilchens**“ (Barke 2006, S. 224) argumentieren. Die erste Mehrfach-Wahlaufgabe lautet wie folgt:

*„Aus Kupferblech wird ein Briefchen gefaltet und mit der rauschenden Brennerflamme erhitzt. Es wird durch das Erhitzen außen schwarz, innen ist die Kupferfarbe geblieben:*

*[A] Es findet eine Verbrennungsreaktion statt,*

*[B] außen setzt sich schwarzer Ruß ab,*

*[C] es findet eine Redoxreaktion statt,*

*[D] Kupfer-Atome ändern ihre Farbe.“* (Barke 2006, S. 224f)

Die Mehrheit der Probanden (59 %) entschied sich für den Distraktor<sup>13</sup> [B] und erkannte weder, dass überhaupt eine Reaktion stattfindet, noch dass es sich hierbei um eine Redoxreaktion handelt. Sie erklären die Entstehung der schwarzen Schicht durch das Absetzen von Ruß. Sie haben bei ihrer Antwort nicht bedacht, dass die rauschende Brennerflamme keinen Ruß produziert, da eine vollständige Verbrennung des Gases stattfindet. Die richtige Antwort [C] wurde lediglich von 21 % der teilnehmenden Lernenden gewählt. Distraktor [D] wurde von 4 % der Schüler genannt (Barke 2006, S. 225). Diese Probanden scheinen Schwierigkeiten zu haben, zwischen den verschiedenen Betrachtungsebenen der Chemie zu differenzieren und schreiben den submikroskopischen Teilchen makroskopische Eigenschaften zu, da sie davon ausgehen, dass Atome farbig sind bzw. ihre Farbe ändern können (siehe Kapitel 2.2).

Die folgende Aufgabe zur Reaktion von Kupfer mit Chlor wurde von der Mehrzahl der befragten Schüler richtig beantwortet:

---

<sup>13</sup> Der Begriff Distraktor bezeichnet eine vorgegebene falsche Auswahlantwort einer Mehrfach-Wahlaufgabe (Häcker & Stapf 2009, S. 223).

*„Ein Stück Kupferblech wird erhitzt und in einen Standzylinder gehalten, der mit gelbem Chlorgas gefüllt ist, Das Kupfer glüht auf, ein grüner Stoff entsteht:*

*[A] Kupfer reagiert mit dem Chlor,*

*[B] Chlor bildet Salzsäure, die Metall-Atome zerfrisst,*

*[C] es findet eine Säure-Base-Reaktion statt,*

*[D] Chlor zerstört Kupfer-Atome.“ (Barke 2006, S. 225)*

Zwar wählten 61 % der Lernenden die richtige Antwort [A], jedoch konnten nur 54 % der Schüler die Aufgabe korrekt lösen, da sich 7 % von ihnen zusätzlich für einen Distraktor entschieden. Insgesamt offenbarten die Antworten der Oberstufenschüler, dass die Lernenden in ihren Erklärungsansätzen häufig auf die Sauerstoff-Definition zurückgreifen, obwohl sie bereits die Redoxreaktion als Elektronenübertragungsreaktion im Unterricht kennen gelernt haben. Dies soll hier anhand einer Aussage eines Schülers der Jahrgangsstufe 13 aufgezeigt werden: „Es ist kein  $O_2$  da, sodass kein  $CuO$  entstehen kann, dennoch findet eine Redoxreaktion statt, aber eben mit Chlor“ (Barke 2006, S. 225).

Dass trotz des Wissens um die elektronentheoretische Definition der Redoxreaktion auf das Sauerstoff-Konzept zurückgegriffen wird, lässt vermuten, dass die im Anfangsunterricht eingeführte Definition den Lernenden selbst in der Sekundarstufe II besser vertraut ist. Anscheinend wird bei der Deutung einer Redoxreaktion erst dann die weiterführende Definition verwendet, wenn ein Bezug zu Sauerstoff nicht möglich ist (Barke 2006, S. 226).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass den Lernenden bis zum Abschluss der Sekundarstufe II die sauerstoffbasierte Definition der Redoxreaktion vertrauter zu sein scheint als eine auf Elektronenübergänge gestützte Argumentation. Oftmals wird jedoch erst gar nicht erkannt, dass überhaupt eine Redoxreaktion stattfindet; vielmehr werden alltägliche Beobachtungen zur Beschreibung und Deutung von Redoxreaktionen verwendet. Des Weiteren werden die Ebenen der Stoffe und der Teilchen oftmals unreflektiert vermischt, oder es wird anstelle von Ionen mit Atomen oder Molekülen argumentiert. Insgesamt werden Elektronenübergänge oder Reaktionsgleichungen nur selten fachlich richtig dargestellt.

### **3.4 Redoxvorgänge in elektrochemischen Zellen**

Wie bereits in Kapitel 3.1 bei der Einordnung des Themas „Redoxreaktionen“ in den hessischen Lehrplan dargelegt wurde, werden im Chemieunterricht der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II die Vorgänge in elektroche-

mischen Zellen thematisiert. Auch bei der Behandlung von elektrochemischen Zellen treten häufig alternative Schülervorstellungen auf, aus denen sich zentrale Lernschwierigkeiten ergeben können. Neben dem Verständnis von Elektrizität und Leitfähigkeit, beziehen sich die alternativen Vorstellungen vor allem auf die in den Zellen ablaufenden Vorgänge und auf die korrekte Anwendung der Begriffe Kathode und Anode (Markic & Eilks 2005, S. 8) In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst der theoretische Hintergrund zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen erläutert, bevor daran anschließend eine Auswahl diesbezüglicher alternativer Schülerkonzepte vorgestellt wird.

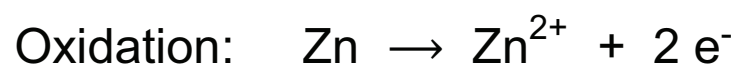
### **3.4.1 Theoretischer Hintergrund zu den Redoxvorgängen in elektrochemischen Zellen**

Unter dem Oberbegriff der elektrochemischen Zelle werden sowohl Elektrolyse- als auch Galvanische Zellen zusammengefasst. Für diese beiden Zelltypen lassen sich die folgenden allgemeinen Aussagen treffen: Sie bestehen aus zwei Elektroden – der Kathode und der Anode – und einem Elektrolyten (Ionenlösung oder Salzschnmelze). Die Kationen des Elektrolyten wandern zur Kathode während die Anionen zur Anode wandern. An beiden Elektroden laufen chemische Reaktionen ab. Die Kationen werden durch den Vorgang einer Elektronenaufnahme an der Kathode reduziert. Gleichzeitig nehmen die Anionen Elektronen an der Anode auf und werden dabei oxidiert (Mortimer & Müller 2007, S. 349).

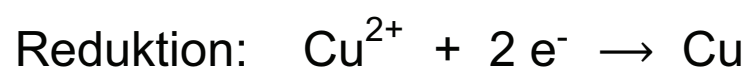
Bei Elektrolysen wird der oben genannte Redoxprozess durch einen elektrischen Strom erzwungen. Unter einem elektrischen Strom versteht man den Fluss von elektrischer Ladung. Die Elektroden werden mit den Polen einer Gleichstromquelle verbunden. Die Elektrode, die mit dem Minuspol verbunden ist, wird Kathode (griechisch: Ausgang) genannt, da sie in der Lage ist, Elektronen zu spenden. Die andere Elektrode ist mit dem Pluspol verbunden, heißt Anode (griechisch Eingang) und kann Elektronen aufnehmen. Werden die beiden Elektroden nun in einen Elektrolyten getaucht, wird der Stromkreis geschlossen und ein elektrischer Stromfluss setzt ein. Die Gleichstromquelle „pumpt“ Elektronen in die Kathode und die Kationen werden von der Kathode angezogen. An der Grenzfläche zwischen der Kathode und dem Elektrolyten nehmen die Kationen Elektronen aus der Kathode auf und werden reduziert. Die Anionen hingegen wandern zur Anode und geben dort Elektronen an die Anode ab. Sie werden dabei oxidiert. Der Redoxprozess kann so lange erfolgen bis der Vorrat an Ionen erschöpft ist. Weiterhin ist anzumerken, dass entweder inerte Elektroden eingesetzt werden können, also solche, die nicht an der in der Zelle ablaufenden chemischen Reaktion beteiligt sind. Oder es werden Elektroden verwendet, die selbst an den Redoxprozessen der Zelle betei-

ligt sind, wie es z.B. bei der Elektrolyse einer Kupfersulfat-Lösung mit Kupferelektroden der Fall ist. Elektrolytische Prozesse werden in der Industrie vor allem zur Gewinnung zahlreicher Gebrauchsmetalle genutzt (Mortimer & Müller 2007, S. 349; Arni 2011, S. 140).

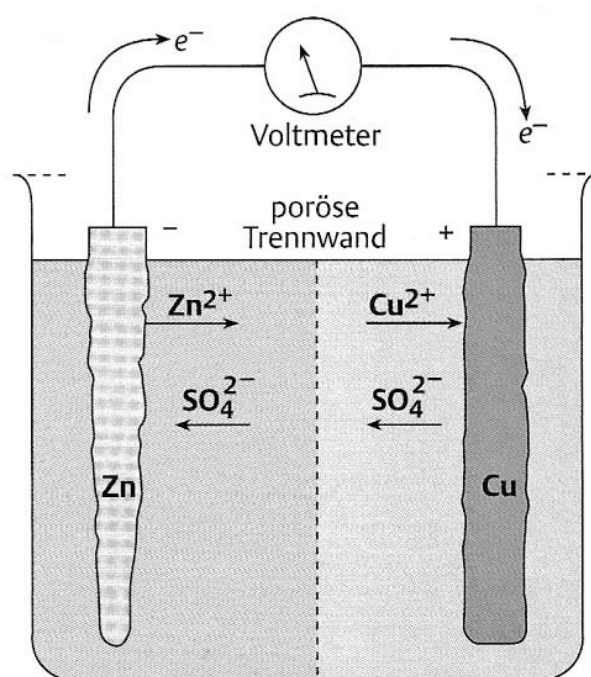
Im Gegensatz zur Elektrolyse verlaufen die Redoxreaktionen an den Elektroden eines galvanischen Elements freiwillig unter Stromlieferung ab. Galvanische Zellen dienen daher als elektrische Stromquellen. Die Halbreaktionen der Oxidation und Reduktion laufen räumlich getrennt in zwei verschiedenen Halbzellen ab. Die wohl bekannteste galvanische Zelle ist das Daniell-Element: Eine der beiden Halbzellen besteht aus einer Zink-Elektrode und einer Zink(II)-sulfat-Lösung; die andere aus einer Kupfer-Elektrode und einer Kupfer(II)-sulfat-Lösung (Abbildung 6). Eine Trennung der beiden Salzlösungen wird durch eine poröse Trennwand ermöglicht, die für Ionen durchlässig ist. Anstelle einer solchen semipermeablen Membran kann auch eine Salzbrücke zum Einsatz kommen. Werden die beiden Elektroden elektrisch leitend über einen Draht verbunden, findet ein Elektronentransfer über den äußeren Stromkreis von der Zink- zur Kupfer-Elektrode statt. Die Atome der Zink-Elektrode werden zu Zink-Ionen oxidiert (Mortimer & Müller 2007, S. 356f).



Die bei der Oxidation abgegebenen Elektronen verlassen das galvanische Element über die Zink-Elektrode, weshalb diese auch den Minuspol (Anode) darstellt. Die Elektronen fließen über den äußeren Stromkreis zur Kupfer-Elektrode (Kathode) und werden dort von den Kupfer(II)-Ionen aufgenommen.



Das durch die Reduktion gebildete elementare Kupfer setzt sich an der Kathode, dem Pluspol der Zelle, ab. Durch die Bildung von Zink-Ionen in der einen und die Bildung von Kupfer-Atomen in der anderen Halbzelle, muss ein Ladungsausgleich in beiden Halbzellen erfolgen. Zum Ausgleich der positiven Ladung im Anodenbereich, bewegen sich die Sulfat-Ionen in Richtung der Anode. Die Zink(II)-Ionen hingegen wandern in die umgekehrte Richtung zur Kathode. Hier wird die Notwendigkeit der Trennung der beiden Halbzellen ersichtlich: Kämen die Kupfer(II)-Ionen mit der Anode in Kontakt, würde eine direkte Elektronenübertragung zwischen den Zink-Atomen und den Kupfer(II)-Ionen stattfinden, sodass die Elektronen nicht mehr über den äußeren Stromkreis fließen würden. Die galvanische Zelle würde demzufolge keinen elektrischen Strom mehr liefern (Mortimer & Müller 2007, S. 356f).



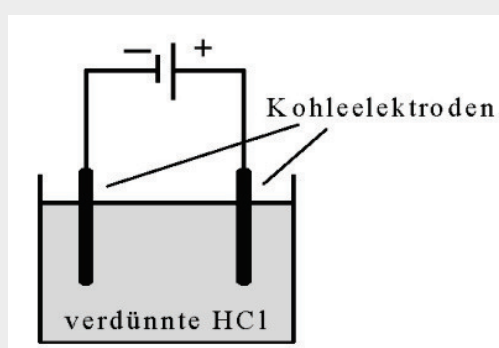
**Abbildung 6:** Aufbau des Daniell-Elements (entnommen: Mortimer & Müller 2007, S 357)

Im Alltag kommt das galvanischen Zellen zugrunde liegende Prinzip der Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie beispielsweise in Batterien, Akkumulatoren oder Brennstoffzellen zur Anwendung.

### 3.4.2 Schülervorstellungen zu den Redoxvorgängen in elektrochemischen Zellen

Dass das Themengebiet der Elektrochemie und Redoxreaktionen zu den schwierigsten des Chemieunterrichts gehört, wurde bereits mehrfach erwähnt. Im Rahmen verschiedener Untersuchungen, wie z.B. von Garnett & Treagust (1992), Sanger & Greenbowe (1997), Marohn (1999) und Burger (2002) wurden zahlreiche alternative Schülerkonzepte zur Elektrochemie erhoben. So führte beispielsweise Marohn (1999) eine empirische Untersuchung durch, um u.a. zu prüfen, welche Vorstellungen Schüler der Sekundarstufe II in ihrer bisherigen schulischen Laufbahn zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen entwickelt haben. Grund- und Leistungskurs-Schüler aus ganz Deutschland nahmen an dieser Erhebung teil. Die Probanden bearbeiteten u.a. die folgende Aufgabe:

„Die Abbildung zeigt eine Zelle zur Elektrolyse von verdünnter Salzsäure.“  
Welches Produkt wird dabei an der Kathode (Minuspole) gebildet?



- [A]  $H_2$
- [B]  $H^+$
- [C]  $Cl_2$
- [D]  $Cl^-$

Bitte begründen Sie Ihre Antwort ausführlich“. (Marohn 1999, S. 54)

Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass knapp die Hälfte der teilnehmenden Schüler in die Lage war, diese Frage fachlich richtig zu beantworten. Die meisten Schüler, die die richtige Antwort [A] wählten, lieferten auch eine korrekte Begründung, wie z.B. die folgende:

*„In der Lösung liegen  $\text{Cl}^-$ - und  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen vor. Die  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen werden an der Kathode zu Wasserstoff reduziert. An der Anode werden  $\text{Cl}^-$ -Ionen zu atomarem Chlor oxidiert.*

Anode:  $2 \text{Cl}^- \rightarrow 2 \text{e}^- + \text{Cl}_2$

Kathode:  $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ “ (Marohn 1999, S. 56)

Im Gegensatz dazu wählten rund 40 % der Probanden die falsche Auswahlantwort [B]. Die Analyse der Begründungen zu dieser Antwort offenbart, dass viele Schüler den Elektrolysevorgang als Spaltung des Elektrolyten in  $\text{H}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen interpretieren:

*„Die Salzsäure zerfällt durch die Elektrolyse in Ionen. Da die Kathode negativ geladen ist und positive und negative Ladungen sich anziehen, wandern die  $\text{H}^+$ -Ionen zur Kathode“* (Marohn 1999, S. 56).

Zum einen scheint diesen Schülern nicht bewusst zu sein, dass verdünnte Salzsäure vollständig dissoziiert vorliegt. Sie haben die Vorstellung, dass  $\text{HCl}$ -Moleküle in wässriger Lösung existieren und erklären die Spaltung des Elektrolyten durch die Anziehungskraft der entgegengesetzt geladenen Elektroden:

*„ $\text{HCl}$  wird in  $\text{H}^+$  und  $\text{Cl}^-$  getrennt, weil das Proton ( $\text{H}^+$ ) vom Minuspol angezogen wird, das  $\text{Cl}^-$  allerdings von Pluspol. Die bestehenden zwischenmolekularen Kräfte sind wahrscheinlich zu schwach, das Molekül zusammenzuhalten. Also spaltet es sich und die Ionen werden vom jeweils entgegengesetzten Pol angezogen“* (Marohn 1999, S. 58).

bzw. durch den elektrischen Strom oder die elektrische Spannung:

*„ $\text{HCl}$  wird durch den elektrischen Strom in  $\text{H}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen gespalten“,  
„Elektrische Spannung trennt Ionenverbindung“* (Marohn 1999, S. 58f).

Zum anderen scheinen die Lernenden den elektrolytischen Vorgang primär mit der Zerlegung eines Stoffes durch elektrische Energie in Verbindung zu bringen, jedoch nicht mit dem Vorgang der Elektronenaufnahme bzw. -abgabe. Sie argumentieren ausschließlich mit der Anziehung der Ionen durch die jeweils entgegengesetzt geladene Elektrode, vernachlässigen aber, dass eine Elektronenübertragung an den Elektroden erfolgt. Die für die Elektrolyse charakteristische Elektronenübertragung wird teilweise auch in den Begründungen zur richtigen Antwort außer Acht gelassen. So beschreiben einige Schüler die Bildung von  $\text{H}_2$  durch die Verbindung zweier  $\text{H}^+$ -Ionen ohne die stattfindende Elektronenaufnahme zu nennen:

*„Die Kathode zieht die  $H^+$ -Ionen an. Diese lagern sich zusammen und bilden  $H_2$ -Gas“ (Marohn 1999, S. 56).*

Des Weiteren wurden in derselben Studie auch Schülervorstellungen zu den Begriffen Anode und Kathode in elektrochemischen Zellen untersucht. Die Ergebnisse offenbaren, dass die Schüler zwar den Oxidationsvorgang mit einer Elektronenabgabe und respektive den Reduktionsprozess mit einer Elektronenaufnahme verbinden, jedoch führt dieses Wissen keinesfalls immer zu einer korrekten Zuordnung der Elektrodenbezeichnung in elektrolytischen Zellen. In der Studie von Sanger & Greenbowe (1997, S. 384) konnte bereits herausgefunden werden, dass Lernende enorme Schwierigkeiten haben, die Begriffe Anode und Kathode den jeweiligen Elektroden in elektrochemischen Zellen zuzuordnen. Die Untersuchungsergebnisse von Marohn (1999, S. 100 f) liefern eine mögliche Erklärung für diese Zuordnungsschwierigkeiten: Einige Lernende bezeichnen die Elektroden in elektrochemischen Zellen falsch, da sie den Vorgang der Elektronenabgabe bzw. -aufnahme nicht gemäß der wissenschaftlichen Konvention auf die Ionen des Elektrolyten, sondern auf die Elektroden beziehen. So argumentieren sie beispielsweise, dass die Oxidation an der Kathode ablaufe, da diese Elektronen an die Kationen des Elektrolyten abgebe und der Vorgang der Elektronenabgabe stets ein Oxidationsvorgang sei (Marohn 1999, S. 100f). Diese Sichtweise soll exemplarisch an der folgenden Schülererklärung zu den Elektrodenvorgängen im Daniell-Element verdeutlicht werden:

*„Die Kupferelektrode muß Elektronen abgeben. Jede Elektronenabgabe ist eine Oxidation“ (Marohn 1999, S. 103).*

Analog wird deshalb häufig angenommen, dass die Reduktion in elektrochemischen Zellen an der Anode ablaufe, da diese Elektrode Elektronen von den Anionen aufnehme (Marohn 1999, S. 101).

Insgesamt kann zusammengefasst werden, dass in der Sekundarstufe II u.a. die folgenden alternativen Schülervorstellungen zu den in Elektrolysezellen ablaufenden Redoxprozessen auftreten: Die Lernenden sind häufig der Auffassung, dass der Elektrolyt erst durch die Elektrolyse in seine Ionen gespalten wird. Sie führen die Anziehungskraft der beiden Pole bzw. die Kraft des elektrischen Stroms oder der elektrischen Spannung als Ursache für die Bildung von Ionen an. Weiterhin scheint oft nicht klar zu sein, dass an den Elektroden eine Elektronenübertragung stattfindet. Vielmehr wird lediglich die Wanderung der Teilchen zu den geladenen Polen als alleiniger in der Elektrolysezelle ablaufender Prozess beschrieben. Der Redoxprozess, der bei einer Elektrolyse stattfindet, wird schlichtweg ignoriert. Aus diesem Grund wird auch die Entstehung von Wasserstoff bei der Elektrolyse von verdünnter Salzsäure als Zusammenschluss zweier Protonen gedeutet, ohne dass hierfür eine Elekt-



ronenaufnahme als erforderlich angesehen wird (Marohn 1999, S. 56f). Außerdem wurde festgestellt, dass Lernende häufig die Elektronenabgabe und die Elektronenaufnahme in elektrochemischen Zellen entgegen der wissenschaftlichen Konvention aus Sicht der Elektroden deuten und somit zu einer falschen Zuordnung der Begriffe Kathode und Anode gelangen. Sie haben zwar gelernt, dass eine Oxidationsreaktion als Elektronenabgabe und eine Reduktionsreaktion als Elektronenaufnahme definiert ist. Jedoch interpretieren die Schüler die Oxidation als eine Elektronenabgabe durch die Elektrode und nicht als Prozess, bei dem ein Ion ein oder mehrere Elektronen abgibt. Entsprechend wird auch der Reduktionsvorgang falsch gedeutet (Marohn 1999, S. 116).

Schließlich sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den hier vorgestellten alternativen Schülerkonzepten lediglich um ausgewählte Beispiele von alternativen Vorstellungen handelt, die zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen dokumentiert wurden.

#### **4. Methodischer Hintergrund: Der Fragebogen als Erhebungsinstrument**

Die schriftliche Befragung mittels Fragebogen zählt zu den wichtigsten und meistangewendeten Verfahren zur Datenerhebung in vielen Forschungsgebieten (Mummendey & Grau 2008, S. 13). Bei diesem Untersuchungsverfahren beantworten die Untersuchungsteilnehmer selbstständig schriftlich vorgelegte Fragen, sogenannte Items (Bortz & Döring 2006, S. 252; Raab-Steiner & Benesch 2010, S. 47). Mit einem Fragebogen können sowohl quantitative als auch qualitative Daten erhoben werden. Mit Hilfe von quantitativen Daten können Ausschnitte der Beobachtungsrealität numerisch beschrieben werden. Die erhaltenen Messwerte werden dazu statistisch analysiert (Bortz & Döring 2006, S. 296). Im Gegensatz dazu bilden qualitative Daten die Beobachtungsrealität nicht in Zahlen ab, sondern in Form von verbalem (qualitativem) Material (z.B. Texte oder grafische Abbildungen), welches interpretativ ausgewertet wird (Bortz & Döring 2006, S. 296f). Qualitatives Material ist jedoch auch quantifizierbar (Bortz & Döring 2006, S. 298). In vielen Forschungsprojekten werden quantitative und qualitative Herangehensweisen kombiniert (Bortz & Döring 2006, S. 298).

Bedingt durch die unkontrollierte Erhebungssituation birgt die schriftliche Befragung die Risiken, dass mehrere Teilnehmer die Items möglicherweise gemeinsam beantworten, Hilfsmittel zur Bearbeitung der Items verwenden, die Items nicht richtig verstehen oder nur eine geringe Rücklaufquote erzielt wird

(Bortz & Döring 2006, S. 256; Mummendey & Grau 2008, S. 93). Dennoch wird der Fragebogen sehr häufig als Erhebungsinstrument eingesetzt, weil er eine kostengünstige Erhebungsvariante für große homogene Personengruppen darstellt und die Probanden im Gegensatz zu mündlichen Befragungen länger über die Antwort nachdenken können, ohne dass ein Zeitdruck verspürt wird (Bortz & Döring 2006, S. 252; Mummendey & Grau 2008, S. 93). Des Weiteren ist der wohl größte Vorteil eines Fragebogens die Anonymität. Die Bereitschaft der Teilnehmer, (auch „heikle“) Fragen ehrlich und gründlich zu bearbeiten, wird durch eine anonymisierte Erhebung im besonderen Maße erhöht (Bortz & Döring 2002, S. 237; Mummendey & Grau 2008, S. 93).

Auch im Rahmen des in Kapitel 2.5 vorgestellten Kooperationsprojektes zwischen der Universität Kassel und TU Dortmund kam ein Fragebogen zum Einsatz. Mit diesem Fragebogen wurde ermittelt, wie Lehrer auf alternative Schülervorstellungen im Chemieanfangsunterricht reagieren. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, dieses bereits bestehende Erhebungsinstrument zum Umgang von Lehrkräften mit alternativen Vorstellungen zu ergänzen, d.h. weitere Fragebogenitems zu entwickeln. Bei der Konstruktion solcher Items müssen verschiedene Aspekte bedacht werden: Zum Einen müssen die nach der klassischen Testtheorie formulierten Gütekriterien – Objektivität, Reliabilität und Validität – berücksichtigt und die Itemformate festgelegt werden. Zum Anderen muss schließlich eine adäquate Formulierung der Items gefunden werden, damit die Qualitätsanforderungen, die an das Erhebungsinstrument gestellt werden, erfüllt werden können. Diese Qualitätsanforderungen sowie die Planung und Entwicklung von Fragebogenitems werden in den nachfolgenden Kapiteln allgemein beschrieben sowie auf den von Sarah Uhren entwickelten Fragebogen und das für diese Arbeit wichtige Themengebiet „Redoxreaktionen“ bezogen.

#### **4.1 Qualitätsanforderungen an das Erhebungsinstrument**

Die Qualität von Fragebögen bzw. von einzelnen Fragebogenitems und die Qualität der mit deren Hilfe erzielten Ergebnisse lässt sich an den drei wesentlichen Kriterien der wissenschaftlichen Güte – Objektivität, Reliabilität und Validität – festmachen (Bortz & Döring 2006, S. 195; Lienert & Raatz 1994, S. 29). Diese übergeordneten Kriterien gelten sowohl für quantitative als auch für qualitative Datenerhebungen (Bortz & Döring 2006, S. 326; Cropley 2011, S. 15). Sie beschreiben, was von einem guten Erhebungsinstrument erwartet wird: Die erzielten Ergebnisse sollen unabhängig vom Untersucher sein, das Instrument soll mit einem möglichst kleinen Messfehler behaftet sein und ausschließlich das messen, was es zu messen vorgibt (Häußler et al. 1998, S. 64). Im Folgenden werden diese Gütekriterien näher erläutert.

### 4.1.1 Objektivität

Das Gütekriterium der Objektivität beschreibt, inwiefern die Ergebnisse eines Tests oder Fragebogens unabhängig vom Untersucher sind (Bühner 2011, S. 58). Ein Test ist dann objektiv, wenn sowohl die Durchführung und die Auswertung des Tests als auch die Interpretation der Antworten eines Probanden nicht variieren, „wenn unterschiedliche Testleiter den Test durchführen, auswerten oder interpretieren“ (Bühner 2011, S. 58). Man spricht deshalb auch von „Intersubjektivität“ (Kallus 2010, S. 112) bzw. „Anwenderunabhängigkeit“ (Bortz & Döring 2006, S. 195). Die für einen Test geforderte Objektivität bezieht sich ebenso auf die einzelnen Items, aus welchen sich der Test bzw. Fragebogen zusammensetzt (Häcker & Stapf 2009, S. 700; Lienert & Raatz 1994, S. 29).

Um eine Durchführungsobjektivität zu gewährleisten, sollte das Testergebnis der Probanden vom Verhalten des Testleiters nicht beeinflusst werden. Sie ist dann besonders hoch, wenn die Probanden standardisierte Bearbeitungsanweisungen erhalten und der Testleiter auf Rückfragen nur mit vorher festgelegten Antworten reagiert. In der Regel bedeutet dies, dass die soziale Interaktion zwischen dem Testleiter und den Probanden auf ein Minimum reduziert wird, die Bedingungen (z.B. Zeitbegrenzung oder Hilfestellung) von Untersuchung zu Untersuchung identisch sind und die Testinstruktionen so sorgfältig wie möglich ausgewählt werden, um Rückfragen zu umgehen (Bühner 2011, S. 59; Lienert & Raatz 1994, S. 8). Bei einer schriftlichen Befragung mittels Fragebogen kann eine standardisierte Erhebungssituation geschaffen und somit eine hohe Durchführungsobjektivität erreicht werden, indem bei Anwesenheit eines Testleiters mehrere Probanden in Gruppen gleichzeitig den Fragebogen ausfüllen (Bortz & Döring 2006, S. 252). Bei einer postalischen Befragung können standardisierte Bedingungen jedoch nicht garantiert werden (Bortz & Döring 2006, S. 256).

Für eine objektive Auswertung sind genaue Auswertungsvorschriften notwendig, sodass verschiedene Personen bei der Auswertung desselben Fragebogens die gleichen Testpunkte vergeben. Die Auswertungsobjektivität ist von dem Itemformat abhängig<sup>14</sup> (Bortz & Döring 2006, S. 195). Während Mehrfach-Wahlaufgaben praktisch vollkommen objektiv ausgewertet werden können, müssen bei Items mit offenem Antwortformat zumeist Objektivitätseinbußen in Kauf genommen werden, da die Antwortbewertung hier nicht eindeutig vorgeschrieben ist (Bortz & Döring 2006, S. 213). Weiterhin sollte jeder Auswerter zur gleichen Interpretation der Testergebnisse gelangen (Interpretationsobjektivität) (Bühner 2011, S. 60).

---

<sup>14</sup> In Kapitel 4.2.1 wird erläutert, zwischen welchen Itemformaten zu unterscheiden ist.

### 4.1.2 Reliabilität

Das Gütekriterium der Reliabilität (Zuverlässigkeit) kennzeichnet den Grad der Messgenauigkeit eines Erhebungsinstrumentes (Bortz & Döring 2006, S. 196). Von einem reliablen Erhebungsinstrument erwartet man, dass es exakt und präzise misst (Mummendey & Grau 2008, S. 100). Eine perfekte Reliabilität würde bedeuten, dass die Ergebnisse vollends frei von Zufallsfehlern sind und bei einer Wiederholung der Erhebung unter gleichen Rahmenbedingungen die Ergebnisse exakt replizierbar wären (Bortz & Döring 2006, S. 196). Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass, gleichwohl wie sorgfältig die Fragebogenitems entwickelt sein mögen, jede Erhebung mit einem bestimmten Messfehler behaftet ist (Häußler et al. 1998, S. 65). Ein zentrales Ziel bei der Fragebogenkonstruktion besteht folglich darin, Items zu entwickeln, die eine möglichst fehlerfreie und zuverlässige Datenerhebung erlauben (Krapp & Weidemann 2006, S. 535).

### 4.1.3 Validität

Das dritte und gleichzeitig wichtigste Gütekriterium, welches ein wissenschaftliches Untersuchungsinstrument erfüllen sollte, ist die Validität oder auch Gültigkeit. Sie gibt an, ob ein Test oder Fragebogen auch wirklich das erfasst, was er vorgibt zu messen (Bortz & Döring 2006, S. 200).

Die Validität eines Fragebogens abzuschätzen ist überaus schwierig. Sie ist nicht automatisch gegeben, wenn die Kriterien der Objektivität und der Reliabilität zufriedenstellend erfüllt sind (Häußler et al. 1998, S. 65). Ob ein Fragebogen auch wirklich das misst, was er messen soll, hängt vor allem davon ab, ob die vom Probanden gegebenen Antworten authentisch, ehrlich und nicht verfälscht sind. Häufig werden Fragebogenergebnisse dahingehend verfälscht, dass sich Probanden bemühen, die Fragen so zu beantworten, dass sie sich bzw. ihr Verhalten so darstellen, wie sie glauben, es sei erwünscht. Eine solche Antwortverzerrung durch „sozial erwünschtes Antworten“ beeinträchtigt die Validität der Datenerhebung enorm (Bortz & Döring 2006, S. 231).

Der in Kapitel 2.5 vorgestellte, von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) entwickelte Fragebogen enthält u.a. Items mit offenem Antwortformat, mit deren Hilfe erhoben werden soll, wie Lehrer auf alternative Vorstellungen von Schülern reagieren. Ob die erhaltenen Daten zum Lehrerverhalten valide sind, d.h. ob der Fragebogen auch wirklich die tatsächlichen, der alltäglichen Unterrichtspraxis entsprechenden, Verhaltensweisen von Lehrern erfasst oder lediglich jenes Verhalten erhebt, das von den Lehrkräften angegeben wurde, weil sie dachten, dass es erwünscht sei, sollte durch eine Videostudie überprüft werden. Mit Hilfe der Videoaufnahmen konnten dann Aussagen darüber ge-

troffen werden, inwiefern die im Fragebogen identifizierten Handlungsmuster auch so im realen Unterricht auftreten. Der Vergleich der Resultate der Fragebogen- und Videostudie zeigte, dass die in der Fragebogenstudie erhobenen Handlungsmuster durch die Videostudie bestätigt werden konnten. Demnach können mithilfe des Fragebogens Vorhersagen darüber gemacht werden, nach welchen möglichen Handlungsmustern Lehrkräfte in alltäglichen Unterrichtssituationen auf alternative Schülervorstellungen reagieren.

In beiden Studien wurden die drei gleichen Handlungsmuster am häufigsten identifiziert: Entweder wird ein Hinweis geben, der zur richtigen Lösung führen soll (Handlungsmuster F), es wird eine Zusatz- oder Gegenfrage gestellt (Handlungsmuster A), oder die richtige Erklärung wird theoretisch formuliert (Handlungsmuster E). Die quantitative Auswertung der erhaltenen Daten offenbarte allerdings auch, dass die Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen Handlungsmuster auftreten, in den beiden Untersuchungen teilweise beträchtlich voneinander abweichen. Als Beispiel soll an dieser Stelle das Handlungsmuster C (Der Lehrer schlägt die Überprüfung des Sachverhaltes mithilfe eines Experimentes vor) angeführt werden. In der Fragebogenstudie gaben 12,5 % der Lehrkräfte an, nach diesem Handlungsmuster zu agieren. In der Videostudie hingegen stellte sich heraus, dass lediglich 0,3 % der Lehrer mit einem Experiment auf eine alternative Schülervorstellung reagierten. Eine solche Diskrepanz zwischen den Studienergebnissen weist darauf hin, dass sich die Häufigkeiten, mit denen die Handlungsmuster tatsächlich in der realen Unterrichtspraxis auftreten, mithilfe des Fragebogens nicht hinreichend gut vorhersagen lassen. Ein möglicher Grund für die Abweichungen der Testergebnisse könnte der Wunsch der befragten Lehrer sein, sich anhand der im Fragebogen niedergeschriebenen Antworten möglichst positiv darstellen zu wollen. Andere potentielle Ursachen für diese Abweichungen können möglicherweise in der Interviewstudie eruiert werden.

Im Allgemeinen hängt die Gültigkeit und folglich die Verwertbarkeit von Untersuchungsergebnissen von der Kooperationsbereitschaft der Probanden ab. Des Weiteren spielt die Formulierung der Fragebogenitems und die Testsituation eine wesentliche Rolle (Bortz & Döring 2006, S. 231). Um ein Erhebungsinstrument zu entwickeln, mit welchem sich Ergebnisse erzielen lassen, die auf andere Situationen, Probanden oder Zeitpunkte übertragen werden können, d.h. verallgemeinerungsfähig (und extern valide) sind, sollte bei der Entwicklung der Fragebogenitems zur Ermittlung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen darauf geachtet werden, für die Teilnehmer eine authentische Situation in den Items zu schaffen. Dies erhöht die Chance, dass sie auch authentische Antworten niederschreiben, die ihr Verhalten in der Unterrichtsrealität möglichst real widerspiegeln. Wie man diesem Anspruch gerecht werden kann, wird im folgenden Kapitel beschrieben.

## 4.2 Planung und Entwicklung der Fragebogenitems

Grundsätzlich ist vor der Konzeption eines Fragebogens zu entscheiden, was mit diesem ermittelt werden soll (Mummendey & Grau 2008, S.63). Der von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) entwickelte Fragebogen untersucht, ob und wenn ja, wie Lehrer auf alternative Schülervorstellungen in verschiedenen Teilgebieten des Chemieanfangsunterrichts reagieren (siehe Kapitel 2.5). Die in der vorliegenden Arbeit konzipierten Fragebogenitems zielen darauf ab, Lehrerreaktionen auf alternative Schülervorstellungen zu ermitteln, die speziell bei der Behandlung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ auftreten. Dabei orientiert sich die Entwicklung der Items an denen von Sarah Uhren was die Wahl der Itemformate betrifft.

### 4.2.1 Wahl der Itemformate

Neben dem Untersuchungsgegenstand muss zu Beginn der Konstruktion eines Fragebogens auch die Entscheidung getroffen werden, welche Art von Items entwickelt werden soll. Ein Item besteht immer aus einem Itemstamm (Frage oder Statement) und einem Antwortformat. Prinzipiell wird zwischen offenen und geschlossenen Antwortformaten unterschieden. Im Folgenden soll auf diese beiden Antwortformate näher eingegangen werden (Mummendey & Grau 2008, S. 61).

#### *Offene Antwortformate*

Bei Items mit offenen Antwortformaten haben die befragten Probanden die Möglichkeit, eine individuelle, selbst formulierte Antwort niederzuschreiben. Für die Aufgabenbeantwortung sind also keine festgelegten Kategorien vorgegeben. Entweder muss die Antwort auf die Frage ergänzt (Ergänzungsaufgabe) oder die Antwort muss in Form eines Kurzaufsatzes formuliert werden (Kurzaufsatz). Die Auswertung von Items mit offenem Antwortformat erfordert zeitaufwendige Kategorisierungs- und Kodierarbeiten, denn die von den Probanden selbst produzierten Antworten müssen verschlüsselt werden, indem sie nach einem vorgefertigten Kategoriensystem kodiert werden (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 40). Des Weiteren wird die Auswertung durch teilweise undeutliche Handschriften erschwert. Dennoch werden Items mit offenem Antwortformat in Fragebögen eingesetzt. Sie eignen sich besonders gut für einen Fragebogen, wenn noch keine oder nur wenige Kenntnisse über den zu untersuchenden Forschungsgegenstand vorliegen (Bortz & Döring 2006, S. 254; Raab-Steiner & Benesch 2010, S. 37ff).

Die von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) entwickelten Items mit offenem Antwortformat entsprechen einem Kurzaufsatz, in welchem die befragten Lehrer ihre Reaktion auf eine alternative Schülervorstellung, die in eine fiktive Unterrichtssituation eingebettet ist, schildern sollen. Diese Unterrichtssituationen werden zum Beispiel in Form von fiktiven Schülerantworten auf Klausuraufgaben, oder in Form von *Concept Cartoons* dargeboten. Mit dieser Art von Items soll untersucht werden, ob die befragten Lehrkräfte alternative Vorstellungen von Schülern wahrnehmen und nach welchem Handlungsmuster sie auf diese reagieren. Für diesen Zweck ist der Einsatz eines offenen Antwortformates sinnvoll, da bislang nur wenige Informationen zum Umgang von Lehrkräften mit alternativen Konzepten ihrer Schüler existieren (siehe Kapitel 2.5). Mithilfe dieser Items kann also ein erster Einblick in diesen bisher wenig untersuchten Forschungszweig ermöglicht werden.

### *Geschlossene Antwortformate*

Items mit geschlossenem Antwortformat bieten den Probanden eine Auswahl an Antwortmöglichkeiten zu einer Frage an. Die Probanden beantworten diese Fragen dann durch Ankreuzen einer oder mehrerer Antwortmöglichkeiten. Beispiele für Items mit geschlossenem Antwortformat sind Richtig-Falsch-Aufgaben (zwei Antwortmöglichkeiten) oder Mehrfach-Wahlaufgaben (mehr als zwei Antwortmöglichkeiten). Bei Mehrfach-Wahlaufgaben differenziert man wiederum zwischen *Single-Choice-Aufgaben*, bei denen nur eine Antwort richtig ist, und *Multiple-Choice-Aufgaben*, bei denen mehrere Antworten richtig sein können (Bühner 2011, S. 110ff). Falsche Antwortmöglichkeiten werden als Distraktoren bezeichnet. Ein Nachteil dieses Aufgabentyps ist, dass keine Reproduktion von Wissen, sondern lediglich eine Wiedererkennungslleistung von den Probanden verlangt wird. Weiterhin stellt das Finden von geeigneten Distraktoren eine Herausforderung dar, denn diese „müssen so geartet sein, dass ein uninformierter Untersuchungsteilnehmer sämtliche Antwortalternativen mit möglichst gleicher Wahrscheinlichkeit für richtig hält“ (Bortz & Döring 2006, S. 215). Die Ratewahrscheinlichkeit, die bei der Beantwortung von Mehrfach-Wahlaufgaben besteht, hängt also nicht ausschließlich von der Anzahl der Antwortmöglichkeiten ab, sondern auch von der Qualität der Distraktoren<sup>15</sup> (z.B. Plausibilität, Ähnlichkeit mit der richtigen Antwortalternative). Vorteile von Mehrfach-Wahlaufgaben liegen, abgesehen von einer hohen Auswertungsobjektivität, vor allen Dingen in der einfachen, zeitökonomischen Auswertung und der kurzen Bearbeitungszeit (Bortz & Döring 2006, S. 254).

---

<sup>15</sup> Welche Aspekte bei der Formulierung von Mehrfach-Wahlaufgaben und Distraktoren beachtet werden müssen, wird Thema des folgenden Kapitels sein.

Der von Sarah Uhren entwickelte Fragebogen enthält ebenfalls Mehrfach-Wahlaufgaben (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 59ff). In diesen Items wird eine naturwissenschaftliche Frage gestellt. Als Antwortmöglichkeiten werden jeweils vier Schülerantworten gegeben, von denen jeweils drei mit einer alternativen Vorstellung belastet sind (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 62). Nur eine Antwortmöglichkeit ist richtig. Ziel dieser Mehrfach-Wahlaufgaben ist es, zu prüfen, ob die befragten Lehrer in der Lage sind, die naturwissenschaftlich korrekte Antwort zu identifizieren.

Die Ergebnisse, die bei einer schriftlichen Befragung mittels Fragebogen erzielt werden, hängen einerseits von der Kooperationsbereitschaft der Untersuchungsteilnehmer ab, andererseits jedoch vor allem von der Zusammenstellung und der Formulierung der Items (Bortz & Döring 2006, S. 231). Im folgenden Kapitel werden deshalb einige ausgewählte Leitlinien zur Formulierung von „guten“ Fragebogenitems vorgestellt.

#### **4.2.2 Formulierung der Fragebogenitems**

Wurden die Itemformate festgelegt, besteht die nächste Aufgabe in der Formulierung der einzelnen Fragebogenitems. Berücksichtigt man, dass es bei der Beantwortung von Fragebögen für die Probanden in der Regel keine Rücksprachemöglichkeiten mit dem Fragebogenentwickler gibt, sollten die folgenden allgemeinen Gesichtspunkte bei der Itemformulierung berücksichtigt werden (Kallus 2010, S. 56f; Lienert & Raatz 1994, S. 32; Moosbrugger & Kelava 2012, S. 64f; Raab-Steiner & Benesch 2010, S. 50f):

- Jedes Item sollte einfach und unmissverständlich formuliert werden.

Komplexe Aussagen sind häufig schwer zu verstehen und können zu Fehlinterpretationen und Motivationseinbußen seitens der Untersuchungsteilnehmer führen. Demzufolge sollten Fremdwörter, die der Zielgruppe oder Teilen der Zielgruppe nicht geläufig sind, sowie Abkürzungen, komplexe Satzkonstruktionen und Begriffe mit mehreren Bedeutungen vermieden werden. Außerdem sollten Verneinungen, insbesondere doppelte Verneinungen, umgangen werden, da sie das Verständnis des Items unnötig erschweren.

- Jedes Item sollte so präzise wie möglich formuliert werden.

Diese Regel ist vor allem bei der Formulierung von Items mit offenem Antwortformat von großer Bedeutung. Bei den in der vorliegenden Arbeit entwickelten Items ist es essentiell, die Rahmenbedingungen, in denen die alternativen Schülervorstellungen auftreten, so genau wie möglich zu schildern. Beispielsweise spielt es für die Beantwortung dieser Items eine große Rolle, dass die Probanden wissen, in welcher Jahrgangsstufe oder in welchem Unterrichts-



kontext die alternative Vorstellung geäußert wurde. Denn nur wenn die befragten Lehrkräfte über diese Informationen verfügen, können sie den Kenntnisstand der Lernenden durch die Verortung des Themengebietes im Lehrplan in ihrer Antwort berücksichtigen und z.B. anknüpfend an den vorangegangenen Unterricht reagieren.

- Jedes Item sollte einen Bezug zur Erfahrungswelt der Probanden herstellen und wirklichkeitsnah gestaltet werden.

Auch dieser Grundsatz ist speziell für die Formulierung von Items mit offenem Antwortformat relevant. Da es das Ziel von empirischer Forschung ist, durch systematische Erhebungen Erkenntnisse über reale Sachverhalte zu gewinnen und diese so realitätsgetreu wie möglich in den Ergebnissen abzubilden, ist eine wirklichkeitsnahe Gestaltung der Items sinnvoll (Bortz & Döring 2006, S. 138). Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Items werden aus diesem Grund so formuliert, dass sie für die Probanden so realistisch wie möglich erscheinen. Typischerweise auftretende alternative Schülervorstellungen werden deshalb in Unterrichtssituationen eingebettet, die für Lehrkräfte zur alltäglichen beruflichen Praxis gehören. So kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass sich die Untersuchungsteilnehmer gut in die beschriebene Situation hineinversetzen können und folglich so authentisch wie möglich antworten.

Für die Formulierung von Mehrfach-Wahlaufgaben spielen im besonderen Maße die folgenden Gesichtspunkte eine wichtige Rolle:

- Jedes Item sollte nur auf einem einzigen Problem beruhen.

Dies ist wichtig, da die Antworten ansonsten nicht eindeutig interpretiert werden können. Bei einer Falschlösung kann nicht nachvollzogen werden, welches Problem der Proband nicht verstanden hat. Das diagnostische Potential des Items wird dadurch vermindert.

- Die vorgegebenen Distraktoren sollten hinsichtlich der Fragestellung plausibel sein.

Distraktoren sollten eine große Anziehungskraft auf diejenigen Probanden ausüben, die sich bezüglich der korrekten Antwort unsicher sind. Für alle anderen Probanden sollten die falschen Antworten evident sein. Es empfiehlt sich, Distraktoren durch Zuhilfenahme von Items mit offenem Antwortformat zu entwickeln. Dazu lässt man den Itemstamm, der für die Mehrfach-Wahlaufgabe vorgesehen ist, frei beantworten. Häufig vorkommende falsche Antworten, können als geeignete Distraktoren dienen. Deshalb wurden die Distraktoren der in dieser Arbeit entwickelten Mehrfach-Wahlaufgaben so gewählt, dass sie falsche Schülerantworten bzw. typische alternative Vorstellungen bezüglich der erfragten Problemstellung enthalten.

- Die Auswahlantworten sollten so formuliert werden, dass sie unabhängig voneinander und überschneidungsfrei sind.

Auswahlantworten, die voneinander abhängig sind, helfen den Probanden nämlich durch logisches Überlegen Antworten auszuschließen. Die richtige Antwort sollte jedoch nur aufgrund von richtigen Überlegungen identifiziert werden können.

- Die Formulierung des Items sollte keine Anhaltspunkte liefern, die auf die richtige Antwort hindeuten, ohne dass sich der Proband inhaltlich mit den Auswahlantworten beschäftigen muss.

Bei der Formulierung ist deshalb darauf zu achten, dass sich die Distraktoren und die richtige Antwort in Komplexität, Satzlänge und Sprache ähnlich sind. Weiterhin sollte eine Wiederholung von Begriffen aus dem Itemstamm in der richtigen Antwort vermieden werden, da so ein Hinweis auf die richtige Lösung gegeben wird. Zudem sollten Wörter wie „immer“, „niemals“ oder „alle“ nicht verwendet werden, da die Probanden diese Art von Formulierung für unrealistisch halten und Distraktoren so möglicherweise von vornherein ausschließen können.

Die Anzahl von vier vorgegebenen Auswahlantworten bei Mehrfach-Wahlaufgaben hat sich in der Praxis als geeignet erwiesen. Zwar sinkt die Ratewahrscheinlichkeit mit steigender Anzahl von Antwortalternativen, jedoch wird das Item umso unübersichtlicher, je mehr Auswahlantworten vorgegeben werden. Vier Auswahlantworten stellen einen guten Kompromiss zwischen diesen beiden zu berücksichtigenden Argumenten dar (Marohn 1999, S. 25).

Die nach den oben genannten Grundsätzen konzipierten Fragebogenitems werden im folgenden Kapitel vorgestellt. Es wird beschrieben, wie die Entwicklung der einzelnen Items erfolgte. Eine Analyse der Items ist ebenfalls Gegenstand des folgenden Kapitels. Schließlich sollen anhand dieser Analyse die intendierten Ziele der Items aufgezeigt werden.

## 5. Vorstellung, Analyse und Ziele der entwickelten Fragebogenitems

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Fragebogenitems entwickelt, die den Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen untersuchen sollen, die typischerweise bei der Thematisierung von Redoxreaktionen in den Sekundarstufen I und II auftreten. Diese beziehen sich auf die alternativen Schülervorstellungen, die in Kapitel 3 dargeboten wurden: Auf Vorstellungen zum Redoxbegriff, Vorstellungen zu den Reaktionen von Metallen mit Gasen und auf Vorstellungen zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen. Insgesamt wurden vier Items mit offenem Antwortformat und zwei Mehrfach-Wahlaufgaben konzipiert. Die Items mit offenem Antwortformat wurden als Unterrichtsvignette (Kapitel 5.1), Antwort auf eine Klausuraufgabe (Kapitel 5.2), *Concept Cartoon* (Kapitel 5.3), und als Versuchsauswertung (Kapitel 5.4) gestaltet.

Vor der Planung dieser Items wurde zunächst der von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) entwickelte Fragebogen gesichtet. Dies war essentiell, um eine thematische Überschneidung der Aufgaben zu vermeiden. Weiterhin ist es angebracht, die neuen Items so auszuarbeiten, dass sie sich möglichst gut in das Gesamtbild (z.B. hinsichtlich des Itemformats) des bereits bestehenden Erhebungsinstruments eingliedern. Eine Orientierung an den von Sarah Uhren entwickelten Itemformaten erscheint außerdem sinnvoll, da sich in der Pilotierung ihres Fragebogens herausgestellt hat, dass diese Itemformate für den Forschungszweck geeignet sind (siehe Kapitel 2.5).

Im Anschluss wurden die in Sumfleth (1992), Schmidt (1994), Marohn (1999), Taber (2002), Kind (2004), Barke (2006) und Horton (2007) dokumentierten alternativen Vorstellungen von Schülern zum Themengebiet „Redoxreaktionen“ durchgesehen, um eine Auswahl an Vorstellungen zu treffen. Diese alternativen Vorstellungen traten jeweils in einem bestimmten Kontext auf: In den Untersuchungen, in deren Rahmen die Vorstellungen der Lernenden erhoben wurden, wurden die Schüler jeweils um eine Erklärung für einen chemischen Sachverhalt oder ein chemisches Experiment gebeten (z.B. die Elektrolyse von verdünnter Salzsäure). Der hessische Lehrplan des gymnasialen Bildungsgangs der Jahrgangsstufen 8 bis 13 für das Unterrichtsfach Chemie wurde gesichtet und es wurde geprüft, wo die den Experimenten zugrunde liegende Theorie im Lehrplan verortet ist. So konnte entschieden werden, in welcher Klassenstufe das Experiment, zu dem die alternative Vorstellung geäußert wurde, laut Lehrplanrichtlinien durchgeführt werden könnte. Eine solche Verortung ist essentiell für eine realistische Integration der alternativen Vorstellung in eine Unterrichtssituation. Eine möglichst authentische Situation soll also einerseits durch die Orientierung am Lehrplan geschaffen werden.

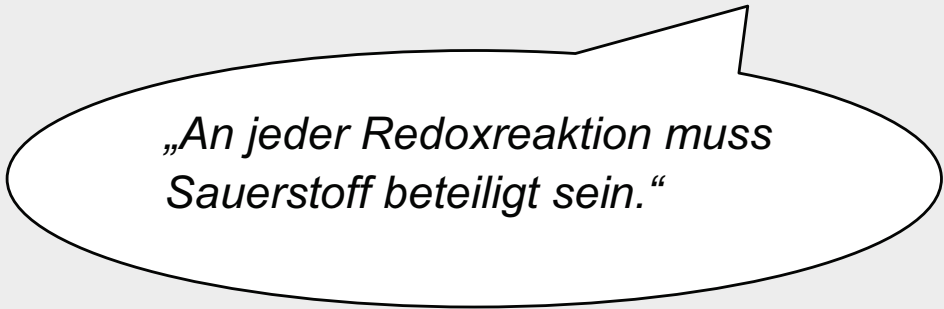
Andererseits wurden *typische* alternative Konzepte ausgewählt, mit denen Chemielehrkräfte in ihrer beruflichen Laufbahn möglicherweise schon häufiger konfrontiert wurden. Wie schon in Kapitel 4.2.2 erläutert wurde, soll die Authentizität der geschilderten Unterrichtssituationen dazu beitragen, dass sich die Probanden in die Situation hineinversetzen können und folglich auch so realitätsnah wie möglich auf die Fragen antworten. Des Weiteren ist die Angabe der Klassenstufe und des Kontextes, in denen die alternative Schülervorstellung geäußert wird, entscheidend, da die Reaktion des Lehrers u.a. von diesen beiden Rahmenbedingungen bestimmt wird.

## 5.1 Fragebogenitem 1 – Unterrichtsvignette

Dem ersten Item wurde die in Schmidt (1994, S. 6f) dokumentierte alternative Vorstellung zugrunde gelegt, dass eine Beteiligung von Sauerstoff unabdinglich für das Stattfinden einer Redoxreaktion ist (siehe Kapitel 3.2.2). Diese wurde wie folgt in eine Unterrichtsvignette integriert.

### Unterrichtsvignette

Sie sind Lehrer einer 11. Klasse (G9) im Fach Chemie. In der heutigen Stunde möchten Sie galvanische Zellen behandeln und den Aufbau des Daniell-Elements sowie die in der Zelle ablaufenden Redoxprozesse thematisieren. Zu diesem Zweck haben Sie ein Daniell-Element aufgebaut und den elektrischen Strom und die elektrische Spannung gemessen. Bevor Sie zur Auswertung der Beobachtungen kommen, möchten Sie den Lernenden einen Denkanstoß geben und fragen nach der Definition einer Redoxreaktion. Ein Schüler äußert sich wie folgt:



*„An jeder Redoxreaktion muss Sauerstoff beteiligt sein.“*

**Wie würden Sie auf diesen Schülerbeitrag reagieren?**

Dieses Item wurde so konzipiert, dass durch den Aufbau der Halbzellen des Daniell-Elements offensichtlich ist, dass kein Sauerstoff an der Reaktion beteiligt sein kann und der Lehrer demzufolge einen entsprechenden Hinweis für den Schüler formulieren kann. Außerdem ist für den Lehrer durch die Messung des elektrischen Stroms die Möglichkeit gegeben, an den Elektronenfluss anzuknüpfen, der im Falle von galvanischen Elementen erst durch eine Redox-

reaktion ermöglicht wird. Somit könnte er den Aufbau des Daniell-Elements und die gemachten Beobachtungen nutzen, um auf die elektronenbasierte Definition der Redoxreaktion zu verweisen. Es kann nicht damit argumentiert werden, dass den Lernenden die elektronentheoretische Definition der Redoxreaktion bislang nicht bekannt ist, denn diese wird laut den curricularen Vorgaben vor der Behandlung von galvanischen Zellen eingeführt, da sie die Grundlage für das Verstehen der Prozesse ist, die an den Elektroden einer elektrochemischen Zelle ablaufen. Neben dieser Art von möglicher Lehrereintervention besteht selbstverständlich eine Vielzahl an weiteren Handlungsoptionen.

Die Items mit offenem Antwortformat dienen dazu, das Lehrerverhalten im Umgang mit alternativen Schülerkonzepten zu erfassen und Handlungsmuster zu identifizieren. Mit diesem Item kann speziell untersucht werden, wie Lehrer mit alternativen Schülervorstellungen, die durch die zwei unterschiedlichen Definitionen von Redoxreaktionen bedingt sind (Kapitel 3.2.2), umgehen.

## **5.2 Fragebogenitem 2 – Antwort auf eine Klausuraufgabe**

Die im zweiten Item dargebotene Schüleraussage orientiert sich an den von Marohn (1999, S. 55) erhobenen Schülererklärungen zu der Elektrolyse von verdünnter Salzsäure. Diese Schüleraussage wird als Antwort auf eine Klausuraufgabe präsentiert. Das Item als Antwort auf eine Klausuraufgabe zu formulieren bietet den Vorteil, dass speziell bei diesem Itemformat eine sehr authentische Situation für den Lehrer geschaffen wird. Für den Lehrer dürfte kein wesentlicher Unterschied darin bestehen, tatsächlich eine Klausuraufgabe korrigieren zu müssen oder dies im Rahmen einer Fragebogenstudie zu tun. Die handschriftliche Verfassung der Schülerantwort soll zusätzlich zu einer authentischen Darstellung beitragen. Da Klausuren außerdem zur Überprüfung bereits im Unterricht behandelte Themen geschrieben werden, wissen die Probanden, dass das in der Klausur geforderte Wissen den Schülern aus dem vorangegangenen Unterricht bekannt sein sollte. Demzufolge können sie nicht damit argumentieren, sie hätten die in der Antwort eingebettete alternative Vorstellung aufgrund von fehlendem Vorwissen der Lernenden nicht berücksichtigt und im Sinne einer didaktischen Reduktion gehandelt. Im Folgenden wird das Item vorgestellt, das als Schülerantwort auf eine Klausurfrage im Chemie-Leistungskurs gestaltet wurde.

### Schülerantwort auf eine Klausuraufgabe

Nachdem Sie in der Jahrgangsstufe 13 (G9) in Ihrem Chemie-Leistungskurs das Wahlthema „Elektrochemie“ behandelt haben, schreiben Sie eine Leistungsüberprüfung unter anderem zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen. Sie haben die folgende Aufgabe gestellt:

*Beschreiben Sie die Vorgänge, die bei der Elektrolyse von verdünnter Salzsäure ablaufen.*

Auf diese Frage haben Sie die folgende Schülerantwort erhalten:

Die Elektrolyse spaltet Salzsäure in  $H^+$ - und  $Cl^-$ -Ionen. Da die Kathode negativ geladen ist und positive und negative Ladungen sich anziehen, wandern die  $H^+$ -Ionen zur Kathode und die  $Cl^-$ -Ionen zur Anode.

**Welche Rückmeldung würden Sie dem Schüler zu dieser Antwort geben?**

In der Schüleraussage wird deutlich, dass die Elektrolyse als Spaltung von (HCl-) Molekülen in Ionen verstanden wird. Dass Salzsäure auch dann dissoziiert vorliegt, wenn keine Stromzufuhr erfolgt, scheint dem Schüler nicht klar zu sein. Der zweite Teil der Antwort ist fachlich richtig. Jedoch wird nicht berücksichtigt, dass an den Elektroden eine Elektronenaufnahme bzw. -abgabe stattfindet. Hier liegt die alternative Vorstellung vor, dass bei einer Elektrolyse lediglich eine Anziehung von Ionen durch die entgegengesetzt geladenen Elektronen erfolgt. Diese Vorstellung von den in Elektrolysezellen ablaufenden Vorgängen ist zwar nicht falsch, jedoch wird nicht erkannt, dass überhaupt eine chemische Reaktion in der Zelle stattfindet. Aus diesem Grund werden auch nicht die durch die Elektrolyse gebildeten Reaktionsprodukte ( $H_2$  und  $Cl_2$ ) genannt. Dieses Item wurde so formuliert, dass für den Lehrer die Möglichkeit besteht, in seiner Rückmeldung darauf einzugehen, was die Stromzufuhr bei einer Elektrolyse bewirkt und welche Art von Reaktion stattfindet.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich bei einer schriftlichen Korrektur einer Aufgabe oder eines Versuchsprotokolls weniger Handlungsmöglichkeiten für den Lehrer ergeben, als wenn eine alternative Schülervorstellung im Unterrichtsgeschehen auftritt. Zwar können mithilfe von diesem Itemformat auch Handlungsmuster identifiziert werden, vorrangig dient es jedoch dazu, zu prüfen, ob der Lehrer in der Lage ist, die eingebettete alternative Schülervorstellung zu erkennen. Das spezielle Ziel dieses Items ist es, zu ermitteln, wie Lehrer mit alternativen Schülervorstellungen umgehen, die zu den in einer Elektrolyse ablaufenden Reaktionen gehören.

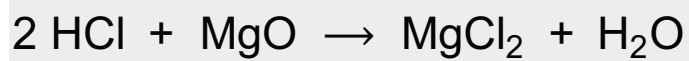
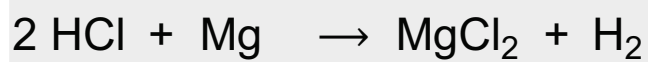
### 5.3 Fragebogenitem 3 – Concept Cartoon

Motiviert durch das Anliegen, ein Item komplexerer Natur zu entwickeln, welches mehrere verschiedene alternative Schülervorstellungen enthält, wird das dritte Item in Form eines *Concept Cartoons* dargeboten. Mehrere verschiedene Schüleransichten können besonders gut in Gruppenarbeitsphasen während des Unterrichts ausgetauscht werden. Für die Darstellung einer Schülerdiskussion im Rahmen einer Gruppenarbeit eignet sich ein *Concept Cartoon* im besonderen Maße, da *Concept Cartoons* Gruppen von Personen abbilden, die miteinander über eine (naturwissenschaftliche) Fragestellung diskutieren (Steininger & Lembens 2011, S. 27). In den Sprechblasen sind gängige alternative Vorstellungen als auch wissenschaftlich akzeptierte Sichtweisen enthalten. In Kapitel 2.3 wurde bereits das Potential von *Concept Cartoons* als Diskussionsimpuls und zur Diagnose von alternativen Vorstellungen aufgezeigt. Dass sich *Concept Cartoons* auch dazu eignen, ein Item zu entwickeln, das darauf ausgerichtet ist, den Umgang von Lehrern mit alternativen Schülerkonzepten zu untersuchen, zeigt das folgende Beispiel.


#### **Concept Cartoon**

In den letzten Chemiestunden haben Sie in der 11. Jahrgangsstufe (G9) die Redoxreaktion als eine Elektronenübertragungsreaktion unter Zuhilfenahme von Oxidationszahlen eingeführt. Sie möchten nun, dass sich die Lernenden noch einmal intensiv mit dem neuen Unterrichtsinhalt beschäftigen und die elektronenbasierte Definition auf ein Beispiel anwenden. Deshalb geben Sie den Schülern die folgende Aufgabe:


Bei welcher der folgenden Reaktionen handelt es sich um eine Redoxreaktion?




Sie geben den Schülern den Arbeitsauftrag, diese Aufgabe in einer Gruppenarbeitsphase zu lösen und hören während der Austauschphase die folgende Diskussion:



Die erste Reaktion ist eine Redoxreaktion. Die Magnesium-Atome werden oxidiert.

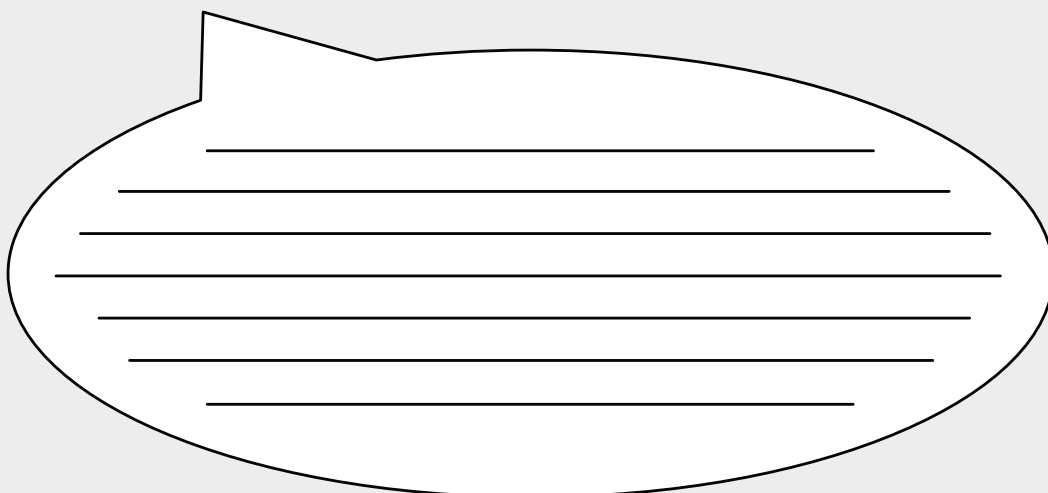


Ich glaube auch, dass die erste Reaktion eine Redoxreaktion ist: Magnesium wird oxidiert und Salzsäure reduziert.



Aber die erste Reaktion kann doch gar keine Redoxreaktion sein, weil ja gar kein Sauerstoff beteiligt ist! Dafür ist die zweite Reaktion eine Redoxreaktion, weil MgO ein O abgibt.

**Wie würden Sie in dieser Situation reagieren?**



Dieses Item wurde in Anlehnung an alternative Schülervorstellungen konzipiert, die in Schmidt (1994), Barke (2006) und Horton (2007) erfasst sind. Die erste Schüleraussage beinhaltet keinen fachlichen Fehler. Dennoch kann sie nicht als vollständige Deutung für die Reaktion von Magnesium mit Salzsäure akzeptiert werden, denn der Schüler berücksichtigt in seiner Aussage lediglich den Oxidationsprozess und unterschlägt dabei die gleichzeitig stattfindende



Reduktion. Für den Lehrer besteht daher die Option, darauf einzugehen, dass Oxidation und Reduktion nicht unabhängig voneinander stattfinden können. Die Frage, welches Teilchen bei der Reaktion reduziert wird, bleibt zu klären. Da im Itemstamm der Hinweis gegeben wird, dass Oxidationszahlen bereits im Unterricht thematisiert wurden, könnte der Lehrer beispielsweise auf den vorangegangenen Unterrichtsinhalt zurückgreifen und einen Bezug zu den Oxidationszahlen herstellen.

In der zweiten Schüleräußerung wird nicht zwischen der Stoff- und Teilchenebene differenziert. Dies ist aber notwendig, da nicht der Stoff Salzsäure, sondern nur die  $H^+$ -Ionen reduziert werden.

Die dritte Aussage bietet reichlich Diskussionsstoff. Einerseits tritt an dieser Stelle wieder die alternative Vorstellung in Erscheinung, dass zu jeder Redoxreaktion Sauerstoff notwendig ist, bzw. dass eine Reaktion, an der kein Sauerstoff beteiligt ist, keine Redoxreaktion sein kann. Der Lehrer kann dem Itemstamm entnehmen, dass die elektronenbasierte Definition bereits im Unterricht eingeführt wurde. Wie Lehrer damit umgehen, dass bei Schülern immer noch die ursprüngliche Vorstellung von einer Reaktion, an der Sauerstoff beteiligt ist, vorherrscht, kann möglicherweise mithilfe von diesem Item eruiert werden. Andererseits wird im zweiten Teil dieser Schüleräußerung deutlich, dass entweder fachsprachliche Mängel („weil  $MgO$  ein  $O$  abgibt“) bestehen, oder dass sich der Schüler nicht über die in Magnesiumoxid vorliegenden Oxid-Ionen bewusst ist. Beide Aspekte bedürfen einer Intervention seitens der Mitschüler oder der Lehrkraft. Ungeachtet der unwissenschaftlichen Ausdrucksweise, wird aus dieser Äußerung ersichtlich, dass der Schüler auf die sauerstoffbasierte Definition der Reduktion zurückgreift und diese als Reaktion, bei der Sauerstoff abgegeben wird, interpretiert. Allerdings wird hier lediglich ein Hinweis auf das Stattfinden einer Reduktion, nicht aber auf das Stattfinden einer Redoxreaktion gegeben.

Insgesamt wird sich mit diesem Item erhofft, den Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen untersuchen zu können, welche die Kopplung von Oxidations- und Reduktionsvorgängen, die Vermischung von Teilchen- und Stoffebene sowie das Verständnis des Redoxbegriffes betreffen.

#### **5.4 Fragebogenitem 4 – Versuchsauswertung**

Auch das vierte Item wurde so realitätsnah wie möglich konzipiert. Da das Lesen und Korrigieren von Versuchsprotokollen zu den täglichen Aufgaben eines Chemielehrers zählt, wurde dieses Item in Form einer Versuchsauswertung gestaltet. Ähnlich wie bei der Kontrolle einer Klausuraufgabe, macht es für den Probanden keinen großen Unterschied, eine tatsächliche oder eine fiktive Ver-

suchsauswertung zu korrigieren. Auch diese fiktive Schüleraufzeichnung wurde aus Gründen der Authentizität handschriftlich verfasst. Im Gegensatz zu allen anderen in der vorliegenden Arbeit entwickelten Items, beinhaltet dieses keine alternative Schülervorstellung. Die Entscheidung, ein Item ohne alternative Vorstellung zu entwickeln, beruht auf der Überlegung, dass die Probanden möglicherweise schnell den Verdacht hegen könnten, dass ihr Fachwissen überprüft werden soll, bzw. dass untersucht werden soll, ob sie in der Lage sind, alternative Schülervorstellungen zu erkennen. Folglich könnten die Lehrer dazu verleitet werden, zu jedem Item direkt eine korrekte theoretische Erklärung niederzuschreiben, um zu demonstrieren, dass sie die alternative Schülervorstellung identifizieren konnten. Da es aber bei den Items mit offenem Format primär um das Erfassen von Handlungsmustern geht, soll mit diesem Item verhindert werden, dass die Probanden die Items lediglich im Hinblick auf alternative Schülervorstellungen betrachten, gezielt nach alternativen Konzepten untersuchen und schließlich die wissenschaftlich korrekte Erklärung verfassen.

Da sowohl Items konzipiert wurden, die alternative Schülervorstellungen beinhalten als auch ein Item, welches keine alternative Vorstellung birgt, wurde darauf geachtet, dass in den Fragen (z.B. „Welche Rückmeldung würden Sie dem Schüler zu dieser Antwort geben?“) nicht impliziert wird, dass die Schüleraussagen einer Korrektur bedürfen.

Als Grundlage für dieses Item wurde die Reaktion von Magnesium mit Chlor gewählt, die in vielen Chemielehrbüchern angeführt wird, um einen Übergang von der sauerstoffbasierten zu der elektronentheoretischen Definition von Redoxreaktionen zu schaffen (z.B. Eisner et al. 2009, S. 229). Die Abhandlung einer Aufgabe ohne alternative Vorstellung bietet sich wie folgt in Form einer Versuchsauswertung an, da hierbei eine ausführliche Schilderung der fachlichen Grundlagen möglich ist, sodass die Probanden nicht das Vorhandensein einer alternativen Vorstellung aufgrund von fehlenden Angaben vermuten können.

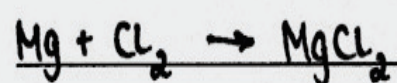
## Versuchsauswertung

Sie behandeln gerade in der 11. Jahrgangsstufe (G9) den Redoxbegriff und thematisieren die Reaktion von Metallen mit Nichtmetallen. Sie haben bereits die für Redoxreaktionen charakteristische Elektronenübertragung eingeführt. In der vergangenen Chemiestunde haben Sie die folgende Reaktion als Lehrerdemonstrationsexperiment vorgeführt:

*Ein brennendes Stück Magnesiumband wurde in einen Standzylinder gehalten, der mit Chlorgas gefüllt war. Bei der Reaktion entstand unter heftigem Aufblitzen ein farbloser Feststoff.*

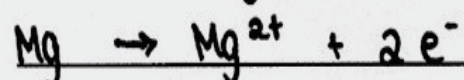
Sie haben die Lernenden gebeten, die gemachten Beobachtungen in Partnerarbeit auszuwerten. Zum Stundenschluss haben Sie einige Versuchsprotokolle eingesammelt. Unter anderem haben Sie folgende Versuchsauswertung erhalten:

Magnesium reagierte in einer exothermen Reaktion mit Chlor. Der dabei  
entstandene farblose Feststoff heißt Magnesiumchlorid. Und davon wissen wir:  
es ist ein Salz mit der Summenformel  $MgCl_2$ .

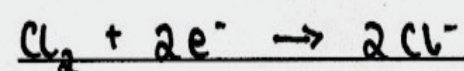


Salze sind aus Ionen aufgebaut. In diesem Fall handelt es sich um  $Mg^{2+}$ -  
und  $Cl^-$ -Ionen. Bei der Reaktion von Magnesium mit Chlor müssen also  
Elektronen übertragen worden sein:

Die Magnesiumatome besitzen jeweils zwei Valenzelektronen, die sie bei  
der Reaktion an die Chloratome abgeben. Die Magnesiumatome werden  
dabei zu Magnesium-Ionen oxidiert:



Die Chloratome nehmen jeweils ein Elektron auf, sodass Chlorid-Ionen  
entstehen. Die Chloratome werden zu Chlorid-Ionen reduziert:



Bei der Reaktion von Magnesium mit Chlor handelt es sich also um eine  
Redoxreaktion.

Welche Rückmeldung würden Sie dem Schüler zu seiner Versuchsauswertung geben?

Wie bereits erwähnt, ist die Überprüfung des Fachwissens nicht das vorrangige Ziel der Items mit offenem Antwortformat. Vielmehr soll dies mithilfe der Mehrfach-Wahlaufgaben erfolgen, um eruieren zu können, warum manche Lehrkräfte nicht auf alternative Schülervorstellungen reagieren. Eine falsche Beantwortung der Mehrfach-Wahlaufgaben könnte einen Hinweis darauf geben, dass die Lehrer möglicherweise selbst alternative Vorstellungen oder zumindest fachliche Mängel bezüglich der Fachthematiken aufweisen, die den Mehrfach-Wahlaufgaben zugrunde liegen.

## 5.5 Fragebogenitem 5 – Mehrfach-Wahlaufgabe

In den Mehrfach-Wahlaufgaben wird, wie bei den Items mit offenem Antwortformat, auch eine Unterrichtssituation beschrieben. Diese beinhaltet jeweils ein Thema, das in den curricularen Richtlinien für den gymnasialen Bildungsgang in Hessen der Jahrgangsstufen 8 bis 13 für das Fach Chemie vorgesehen ist. Das folgende Item beruht auf der Definition von Oxidations- und Reduktionsmitteln, welche laut Lehrplanvorgaben in der Jahrgangsstufe 11 eingeführt werden (siehe Kapitel 3.1). Damit für die Probanden nicht der Eindruck einer Testsituation entsteht, wurden die Mehrfach-Wahlaufgaben so gestaltet, dass die vorgegebenen Auswahlantworten als Schüleraussagen formuliert wurden und der Lehrer darum gebeten wird, einer Schüleräußerungen zuzustimmen. Lediglich die vierte Antwortalternative ist richtig. Die erste entwickelte Mehrfach-Wahlaufgabe lautet wie folgt:

### Mehrfach-Wahlaufgabe

Sie möchten, dass die Schüler Ihres Chemiekurses in der 11. Jahrgangsstufe (G9) den folgenden Satz vervollständigen: *Wenn ein Atom oxidiert wird...*

Sie erhalten diese vier Schülerantworten:

- ... nimmt es formal Elektronen auf und heißt Oxidationsmittel.
- ... gibt es formal Elektronen ab und heißt Oxidationsmittel.
- ... nimmt es formal Elektronen auf und heißt Reduktionsmittel.
- ... gibt es formal Elektronen ab und heißt Reduktionsmittel.

**Welcher Schülerantwort würden Sie zustimmen?**

Alle Items wurden unter Berücksichtigung der allgemeinen Richtlinien zur Formulierung von Fragebogenitems (Kapitel 4.2.2) konzipiert. In diesen Leitlinien wird beispielsweise gefordert, dass jede Mehrfach-Wahlaufgabe nur auf

einem Problem beruhen sollte. Dieses Item beruht darauf, dass die Probanden zur Beantwortung der Frage wissen müssen, dass ein Oxidationsvorgang als Elektronenabgabe definiert ist. Wenn ihnen dieser Sachverhalt klar ist, können sie daraus schlussfolgern, dass die beim Oxidationsvorgang abgegebenen Elektronen von einem anderen Teilchen aufgenommen werden müssen, welches dadurch reduziert wird. Aus diesem Zusammenhang wird deutlich, dass das Teilchen, welches oxidiert wird, als Reduktionsmittel wirkt.

Außerdem sollten alle Distraktoren plausibel formuliert sein. Für einen Probanden, der nicht über das zu prüfende Wissen verfügt, können aufgrund der ähnlichen Formulierung, Satzstruktur und Satzlänge alle Auswahlantworten plausibel klingen. Weiterhin sollten die Auswahlantworten möglichst so gewählt werden, dass sie überschneidungsfrei und unabhängig voneinander sind. Entgegen dieser Empfehlung sind die Antwortmöglichkeiten bei dieser Mehrfach-Wahlaufgabe voneinander abhängig. So kann durch logische Überlegungen darauf geschlossen werden, dass nur eine der vier vorgegebenen Wahlantworten richtig sein kann. Mit der Wahl einer Antwortmöglichkeit werden gleichzeitig alle anderen Alternativen ausgeschlossen, da ein Oxidationsvorgang entweder nur als Elektronenaufnahme oder -abgabe definiert werden und das oxidierte Atom entweder nur als Reduktions- oder Oxidationsmittel wirken kann. Welche der vier Antwortmöglichkeiten die richtige ist, kann jedoch nicht ohne das nötige Fachwissen allein durch das Ausschließen von Antwortalternativen entschieden werden. Deshalb mindert die Abhängigkeit der Auswahlantworten in diesem Fall nicht unweigerlich die Eignung der Aufgabe zur Überprüfung des Fachwissens. Das spezielle Ziel dieser Mehrfach-Wahlaufgabe ist es, zu untersuchen, ob die Probanden die Oxidation richtig als Elektronenabgabe definieren und die an Redoxreaktionen beteiligten Teilchen korrekt als Oxidations- bzw. Reduktionsmittel charakterisieren können.

## **5.6 Fragebogenitem 6 – Mehrfach-Wahlaufgabe**

Diese Mehrfach-Wahlaufgabe orientiert sich an den von Marohn (1999, S. 100ff) erhobenen alternativen Schülervorstellungen zur Kathode und Anode in elektrochemischen Zellen und beinhaltet zudem auch Vorstellungen über die Vorgänge, die an den Elektroden in einer galvanischen Zelle ablaufen.

### **Mehrfach-Wahlaufgabe**

In einer Unterrichtsdiskussion zu galvanischen Elementen wurden in der 11. Jahrgangsstufe (G9) die folgenden Schülersaussagen geäußert.

**Welcher/n Schüleräußerung/en würden Sie zustimmen?**

- Die Kathode ist der Minuspol.*
- Die Kathode nimmt Elektronen auf.*
- An der Anode herrscht ein Elektronenmangel.*
- An der Kathode findet die Reduktion statt.*

Die Schülervorstellungen wurden in eine fiktive Unterrichtssituation der 11. Jahrgangsstufe eingebettet. Zwar wird bereits in der 9. Jahrgangsstufe bei der Behandlung der Elektrolyse und des Ionenbegriffs thematisiert, welche Elektrode in Elektrolysezellen als Kathode und Anode bezeichnet wird (siehe Kapitel 3.1), jedoch wird die Bezeichnung der Elektroden in elektrochemischen Zellen erst in der Sekundarstufe II mit den an den Elektroden stattfindenden Vorgängen der Oxidation und Reduktion verknüpft (siehe Kapitel 3.1; Hessisches Kultusministerium 2010, S. 20). Die als Distraktoren dienenden Schülersaussagen können unter Berücksichtigung der laut Lehrplan vorgeschriebenen Lerninhalte deshalb erst in der Sekundarstufe II geäußert worden sein.

Da die richtige Anwendung der Begriffe Kathode und Anode und die Interpretation der in elektrochemischen Zellen ablaufenden Vorgänge wesentliche Probleme im Schülerverständnis darstellen (Markic & Eilks 2005, S. 8), wurde eine Mehrfach-Wahlaufgabe entwickelt, deren Auswahlantworten genau diese Schwierigkeiten betreffen. Sie beruht – wie in den Leitlinien zur Formulierung von Fragebogenitems empfohlen – auf einem einzigen Problem: Um die Mehrfach-Wahlaufgabe richtig beantworten zu können, müssen die Probanden den Elektroden die jeweils ablaufenden Prozesse zuordnen können.

Wie bei der in Kapitel 5.5 vorgestellten Mehrfach-Wahlaufgabe, ist auch in diesem Item nur eine Auswahlantwort korrekt. Während die erste und die dritte Antwortalternative für Elektrolysezellen zwar richtig, aber für galvanische Elemente falsch sind, ist der zweite Distraktor generell falsch. Die vierte und richtige Antwortmöglichkeit trifft sowohl für Elektrolysezellen als auch für galvanische Elemente zu.

Dass nur eine Antwort korrekt ist, geht nicht aus der Fragestellung („Welcher/n Schüleräußerung/en würden Sie zustimmen?“) hervor, denn die offen gestaltete Formulierungsweise gibt den Probanden keinen Hinweis darauf, wie viele Antworten richtig sind. Die Frage wurde bewusst so formuliert, da durch eine

Verwechslung von galvanischen Elementen und Elektrolysezellen, die Probanden möglicherweise dazu verleitet werden, den ersten und den dritten Distraktor zu wählen. Hinzu kommt, dass diese beiden Auswahlantworten voneinander abhängig sind: Entscheidet sich ein Proband beispielsweise für den ersten Distraktor, so sollte er durch logische Überlegungen auch den dritten Distraktor wählen.

Diese Abhängigkeit birgt jedoch auch den Nachteil, dass ein Proband, der weiß, dass die erste Auswahlantwort falsch ist, gleichzeitig auch die dritte Antwortalternative ausschließen kann. Dennoch kann die richtige Antwort nur durch das nötige Fachwissen und nicht durch taktisches Vorgehen identifiziert werden. Des Weiteren sind alle Antwortmöglichkeiten so verfasst, dass sie für einen unwissenden Untersuchungsteilnehmer aufgrund der ähnlichen Termini und Satzlängen plausibel klingen können. Ziel dieses Items ist es, zu testen, ob Lehrkräfte in der Lage sind, einen korrekten Zusammenhang zwischen den Redoxprozessen, der Bezeichnung der Elektroden und deren Polen in galvanischen Elementen herzustellen.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Fragebogenitems alternative Schülervorstellungen zu verschiedenen Teilgebieten des Themas „Redoxreaktionen“ beinhalten. Mit diesen Items wird sich erhofft, einen umfassenden Beitrag zur Untersuchung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen leisten zu können, die in diesem besonders anspruchsvollen Themengebiet der Chemie auftreten. Eine erste Einschätzung zur Eignung dieser Items soll durch eine Pilotierung ermöglicht werden, welche im folgenden Kapitel vorgestellt wird.

## **6. Pilotierung der Fragebogenitems**

Obgleich bei der Entwicklung von Fragebogenitems die Richtlinien zur Itemformulierung berücksichtigt wurden, ist es unerlässlich, die Items vor ihrer Anwendung in einer Hauptuntersuchung auf ihre Brauchbarkeit und Qualität hin zu untersuchen. Dazu werden die Items an Testpersonen erprobt, die der Zielgruppe ähnlich sind. Solch ein Probedurchlauf, der im Vorfeld einer Hauptuntersuchung durchgeführt wird, dient vor allen Dingen der Überprüfung der Bearbeitungsdauer und der Verständlichkeit der Items. Aus den Reaktionen bzw. Antworten der Probanden können dann Rückschlüsse auf mögliche Schwierigkeiten, die die Befragten bei der Beantwortung der Items hatten, gezogen werden. Die durch die Pilotierung erzielten Ergebnisse und Anregungen sollten unbedingt für eine erneute oder optimierte Ausarbeitung der Items genutzt werden, um Bearbeitungs- und Auswertungsschwierigkeiten jeglicher Art

bei der Hauptuntersuchung zu vermeiden (Raab-Steiner & Benesch 2010, S. 58f).

Nach der Pilotierung sollten die Fragebogenitems u.a. unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte betrachtet werden (Beywl & Schepp-Winter 2000, S. 57; Raab-Steiner & Benesch 2010, S. 58):

- Sind die Items verständlich formuliert?
- Sind die Items sprachlich auf die Zielgruppe abgestimmt?
- Sind die Items so konzipiert, dass sie die Probanden sinnvoll beantworten können?
- Werden die Probanden bei der Beantwortung der Items in eine bestimmte Richtung gedrängt?
- Sind die Distraktoren der Mehrfach-Wahlaufgaben geeignet?
- Sind die Items zu umfangreich und wirken ermüdend, oder können sie das Interesse der Probanden aufrecht erhalten?
- Wie lange dauert die Bearbeitung der Items?

Um die Items, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurden, zu testen, wurde eine Pilotierung mit Chemiestudierenden der Universität Kassel durchgeführt. Die Stichprobe umfasste 25 Studierende. Den Teilnehmern wurde zugesichert, dass die von ihnen gegebenen Informationen und Antworten vertraulich behandelt werden. Die zugesicherte Anonymität sollte dazu beitragen, dass die Studierenden die Items ehrlich und ohne Vorbehalte beantworten. Des Weiteren wurde keine Auskunft darüber gegeben, dass mithilfe der Items der Umgang mit alternativen Schülervorstellungen untersucht werden soll, um eine möglichst unvoreingenommene Beantwortung der Items zu bewirken. Da die Pilotierung unter Anwesenheit von einer Aufsichtsperson durchgeführt wurde, konnte außerdem sichergestellt werden, dass die Items individuell, ohne Zuhilfenahme von Nachschlagwerken und ohne die Unterstützung Dritter bearbeitet wurden.

## **6.1 Pilotierungsergebnisse der Items mit offenem Antwortformat**

Zunächst einmal zeigte sich bei der Sichtung und Auswertung der Antworten auf die Items mit offenem Antwortformat, dass mit Ausnahme eines Items (Pilotierungsbogen<sup>16</sup> Nr. 16, Item 2) alle Items bearbeitet wurden. Dies deutet darauf hin, dass die Items für die Untersuchungsteilnehmer sprachlich angemessen formuliert wurden, sodass keine Verständnisschwierigkeiten bei der

---

<sup>16</sup> Alle Pilotierungsbögen können auf der beigefügten CD-ROM eingesehen werden.



Beantwortung entstanden. Die Annahme einer verständlichen Itemformulierung lässt sich zudem durch Kommentare von Probanden zu den Items bestätigen (siehe Pilotierungsbögen Nr. 7, 8, 10, 15, 16).

Jedoch hängt eine verständliche Formulierung nicht allein von der sprachlichen Abstimmung der Items auf die Zielgruppe ab, sondern auch davon, ob den Probanden genügend Informationen im Itemstamm zur Verfügung stehen, damit die geschilderte Unterrichtssituation für sie nachvollziehbar dargeboten wird. So spielt beispielsweise die Angabe von Informationen zur Jahrgangsstufe, zum Wissensstand der Lernenden oder zu den Themen der vorangegangenen Unterrichtsstunden für eine „sinnvolle“ Beantwortung der Items eine bedeutungsvolle Rolle. „Sinnvoll“ soll in diesem Zusammenhang folgendes bedeuten: Nur wenn der Itemstamm den Probanden grundlegende Hintergrundinformationen zum Unterricht und den Lernenden bereitstellt, können sie eine dem Kontext angemessene Handlung anführen, die schließlich ausgewertet werden kann. Unzureichende Angaben hinsichtlich der Unterrichtssituation im Itemstamm könnten möglicherweise dazu führen, dass die Probanden auf die Frage, wie sie in einer bestimmten Situation reagieren würden, antworten, dass ihre Handlung maßgeblich davon abhinge, was bisher im Unterricht behandelt worden sei. Eine solche Antwort ist letztendlich nicht brauchbar, um den Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen zu erheben. Im Kontext einer Pilotierung gibt solch eine Antwort jedoch einen für die Optimierung der Items hilfreichen Hinweis darauf, dass den Probanden für eine adäquate Angabe einer Handlung im Fragebogen genauere Informationen bereit gestellt werden müssen.

Bei der Pilotierung der Items, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurden, konnte in drei Fällen (Item 1 der Pilotierungsbögen Nr. 3, Nr. 4 und Nr. 5) identifiziert werden, dass genauere Angaben zur Unterrichtssituation die Beantwortung des ersten Items (siehe Kapitel 5.1) erleichtern könnten. Im Itemstamm wurde nicht explizit darauf hingewiesen, dass laut den curricularen Vorgaben Elektronenübergänge bereits vor der Thematisierung von galvanischen Elementen behandelt wurden. Drei Probanden schien dies ohne die explizite Angabe nicht klar zu sein. So gab ein Proband beispielsweise eine Handlung an, die er jedoch durch die Aussage relativierte, dass er nur *„unter der Voraussetzung, dass Elektronenübergänge bereits behandelt worden sind“* (Pilotierungsbogen Nr. 3, Item 1) wie beschrieben reagieren würde. Es kann angenommen werden, dass es den Studierenden, die an der Pilotierung teilnahmen, aufgrund ihrer bislang geringen praktischen Unterrichtserfahrung (siehe Anmerkungen in den Pilotierungsbögen Nr. 4, Nr. 5 und Nr. 7) schwierig fiel, eine thematische Einordnung der Unterrichtsinhalte in den Lehrplan vorzunehmen und folglich das Vorwissen der Lernenden einzuschätzen. Demzufolge könnten die bereits behandelten Unterrichtsinhalte im Itemstamm des

ersten Items spezifiziert werden. Da jedoch ausgebildete und berufserfahrene Lehrkräfte die eigentliche Zielgruppe der Untersuchung bilden, wird eine Spezifizierung der vorangegangenen Lehrplan- und Unterrichtsinhalte im Itemstamm nicht als notwendig erachtet, da ausgebildete Lehrkräfte die Lehrpläne kennen und ihnen eine thematische Einordnung vermutlich weniger Schwierigkeiten bereiten dürfte. Zudem bestünde die Gefahr, dass das erste Item durch zusätzliche Informationen unnötig unübersichtlich würde. Des Weiteren lässt sich bezüglich des ersten Items anmerken, dass entgegen der Erwartung sehr selten Bezug auf das in der Unterrichtsvignette erwähnte Daniell-Element genommen wurde. Möglicherweise könnte das Nichtbeachten der Angaben im Itemstamm ein Indiz dafür sein, dass sich viele Probanden nicht hinreichend gut in die geschilderte Unterrichtssituation hineinversetzen konnten. Zwar gab ein Großteil der Untersuchungsteilnehmer an, sie beabsichtigten eine Redoxreaktion mit den Lernenden zu besprechen, an der kein Sauerstoff beteiligt ist, jedoch nannten lediglich drei Probanden ein konkretes Beispiel für solch eine Redoxreaktion (Item 1 der Pilotierungsbögen Nr. 11, Nr. 21 und Nr. 23); davon nutzten nur zwei das Daniell-Element. Die Gründe hierfür werden aus den Antworten nicht ersichtlich. Es lässt sich jedoch vermuten, dass es möglicherweise auch an der fehlenden Unterrichtserfahrung der teilnehmenden Studierenden lag, dass sie kein konkretes Beispiel einer Redoxreaktion ohne Sauerstoffbeteiligung parat hatten, das sie in ihrer Antwort hätten nennen können. In einer realen Unterrichtssituation wäre dies nicht möglich: Als Lehrperson sollte man ein geeignetes Beispiel anbringen können. An dieser Stelle sollte deshalb zugestanden werden, dass die erhaltenen Antworten auf das erste Item, die keine Benennung eines konkreten Beispiels enthielten, nicht exakt das Verhalten abbilden können, wie es in der Unterrichtsrealität auftreten würde. Dies scheint im besonderen Maße von der offenen Itemformulierung abhängig zu sein, die bewusst so offen und wertfrei formuliert wurde, um die Probanden beim Antworten nicht in eine bestimmte Richtung zu drängen, mit der jedoch sehr allgemeine Antworten erzielt werden können, da keinerlei Erwartungshaltung in der Frage deutlich wird. Es ist allerdings fraglich, ob eine speziellere Fragestellung besser dazu geeignet wäre, eine authentischere Abbildung der Unterrichtsrealität zu erzielen: Eine speziellere Fragestellung könnte nämlich beispielsweise implizieren, dass eine intervenierende Reaktion seitens der Probanden von Nöten ist. Damit würde die Aussagekräftigkeit der erhaltenen Ergebnisse gemindert werden, da nicht mehr eindeutig bestimmt werden könnte, ob der Proband die eingebettete alternative Schülervorstellung eigenständig ausfindig machen konnte oder dies nur aus der Fragestellung erschloss.

Auch bei der Sichtung der Antworten auf das zweite Item (siehe Kapitel 5.2) mit offenem Format, wurden einzelne Antworten ausfindig gemacht, die sehr

allgemein formuliert wurden und bei der qualitativen Auswertung möglicherweise Schwierigkeiten bereiten könnten (Item 2 der Pilotierungsbögen Nr. 1, Nr. 2, Nr. 15 und Nr. 20). So äußerte sich ein Proband auf die Frage, welche Rückmeldung er dem Schüler zu seiner Antwort auf die vorgelegte Klausuraufgabe geben würde, wie folgt: „*Da es sich um eine Leistungsüberprüfung handelt, sollte kurz der korrigierte Sachverhalt dargestellt werden*“ (Pilotierungsbogen Nr. 20, Item 2). Dieser Antwort kann nicht entnommen werden, ob der Untersuchungsteilnehmer die alternative Vorstellung identifizieren konnte und in der Lage ist, den Sachverhalt selbstständig richtig zu erklären, wie er es in der Antwort vorgibt.

Eine ähnliche Schwierigkeit ergibt sich bei der Antwort eines Probanden (Pilotierungsbogen Nr. 25, Item 3) auf das dritte Item (siehe Kapitel 5.3). Dieser Proband gab lediglich an, „*die falschen Aussagen richtig stellen*“ zu wollen, jedoch nicht, welche Aussagen fehlerhaft sind und wie er diese korrigieren würde. Insgesamt gesehen stellen die bislang genannten sehr allgemeinen Rückmeldungen zu den ersten drei Items jedoch eine Ausnahme dar.

Betrachtet man nämlich die restlichen Antworten auf die Items mit offenem Antwortformat, so wird ersichtlich, dass offenbar die im Itemstamm zur Verfügung stehenden Informationen ausreichen, um eine dem Kontext angepasste Reaktion auf die eingebettete alternative Schülervorstellung anzugeben, da vielfach Bezug auf die bereitgestellten Informationen genommen wurde. So wurde bei der Beantwortung des dritten Items beispielsweise in 19 von 25 Pilotierungsbögen der im Itemstamm beschriebene vorangegangene Unterricht in die Beantwortung mit einbezogen: Entweder wurde auf die Elektronenübertragung oder auf die Bestimmung der Oxidationszahlen verwiesen (Item 3 der Pilotierungsbögen Nr. 3, Nr. 5, Nr. 6, Nr. 11, Nr. 12, Nr. 14 und Nr. 24). Es lässt sich daher vermuten, dass das dritte Item so konzipiert wurde, dass sich die Probanden besonders gut in die geschilderte Situation hineinversetzen und ihr Handeln aus diesem Grund auf den Unterrichtskontext abstimmen konnten. Dies würde dafür sprechen, dass dieses Item hervorragend dazu geeignet ist, um den Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen im Rahmen einer Fragebogenstudie möglichst realitätsnah zu ermitteln. Inwiefern dies mit der Darbietung des Items als *Concept Cartoon* zu tun hat, ist ein interessanter Diskussionspunkt. Ein Indiz dafür, dass sich die Untersuchungsteilnehmer bei dieser Art von Item durchaus müheloser als bei anderen Itemkonzeptionen in die dargestellte Situation einfinden konnten, ist, dass ein Proband (Pilotierungsbogen Nr. 7, Item 3) einer Figur des *Concept Cartoons* einen Namen zuwies. In seiner Antwort bezog sich der Proband auch konkret auf diese Figur und schrieb:

*„Ich würde die Schülerin Eva darauf hinweisen, dass wir in der letzten Stunde eine neue Definition [...] eingeführt haben. Danach würde ich die beiden anderen Schüler bitten, Eva den Sachverhalt noch einmal zu erklären.“*

Andererseits könnte die Zuweisung eines Namens auch daher rühren, dass der Proband die in seiner Antwort angegebenen Interventionen gezielt auf die jeweiligen Figuren beziehen wollte und ihm dies durch eine Namensreferenz erleichtert wurde. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass fünf Probanden (Item 3 der Pilotierungsbögen Nr. 1, Nr. 2, Nr. 10, Nr. 11 und Nr. 24) die Sprechblasen der einzelnen Figuren des *Concept Cartoons* mit Nummern versehen und sich in ihrer Antwort auf diese Weise konkret auf die jeweiligen Schüleraussagen beziehen konnten. Ein möglicher Optimierungsvorschlag für dieses Item bestünde demnach darin, den Figuren des *Concept Cartoons* entweder von vornherein Namen zu geben oder sie mit Nummern zu versehen, damit die Probanden die einzelnen Schülerbeiträge kommentieren können, ohne dass Missverständnisse entstehen oder irrtümliche Zuordnungen bei der Auswertung der Antworten erfolgen.

Außerdem konnte eine weitere interessante Feststellung bezüglich der im *Concept Cartoon* dargestellten Unterrichtssituation der Gruppenarbeit gemacht werden. Sechs Untersuchungsteilnehmer (Item 3 der Pilotierungsbögen Nr. 4, Nr. 5, Nr. 8, Nr. 18, Nr. 20 und Nr. 25) gaben an, zunächst überhaupt nicht auf die Schüleraussagen reagieren zu wollen, da die Lernenden in der Austauschphase der Gruppenarbeit möglicherweise selbst Fehler in den Aussagen ihrer Mitschüler identifizieren und günstigstenfalls sogar eigenständig korrigieren oder diskutieren könnten. So schrieb beispielsweise ein Proband (Pilotierungsbogen Nr. 20, Item 3) die folgende Antwort nieder:

*„Da es sich um eine Gruppenarbeitsphase handelt, würde ich vorerst nicht eingreifen, da die Möglichkeit besteht, dass die Schüler aufgrund der vorher erarbeiteten Theorie noch auf den richtigen Weg kommen.“*

Derartige Reaktionen wurden bei der Konzeption des *Concept Cartoons* nicht erwartet. Die Einbettung von alternativen Vorstellungen in eine Diskussion während einer Gruppenarbeitsphase sollte lediglich dazu dienen, ein komplexeres Item, welches mehrere alternative Schülerkonzepte enthält, zu kreieren. Dass die Probanden aufgrund des besonderen Lernsettings zunächst erst einmal „[g]ar nicht“ (Pilotierungsbogen Nr. 4, Item 3) reagieren würden, wurde nicht bedacht. Eine Zurückhaltung während der Kooperationsphase kann jedoch aus didaktischer Sicht durchaus sinnvoll sein und hängt mit der veränderten Rolle des Lehrenden beim Kooperativen Lernen zusammen (Brüning & Saum 2009, S. 133ff). Die zurückhaltende Rolle des Lehrers steigert die Autonomie der Lernenden und die Verantwortungsübernahme für ihr eigenes Ler-

nen und das ihrer Kooperationspartner. Außerdem führt eine Intervention nicht unweigerlich zu besseren Arbeitsergebnissen (Brüning & Saum 2009, S. 136). Aktuelle aus Forschungsergebnissen abgeleitete Empfehlungen zum Verhalten des Lehrers während einer Gruppenarbeitsphase sehen deshalb vor, möglichst selten in eine Gruppenarbeit einzugreifen und alternative Lösungsvorschläge in einer an die Gruppenarbeit anschließenden Plenumsphase zu thematisieren bzw. zu korrigieren (Brüning & Saum 2009, S. 140). Das angegebene Verhalten der sechs Probanden scheint folglich gerechtfertigt und der besonderen Lernsituation angemessen. Allerdings muss dann bei der Auswertung des Items bedacht werden, dass eine ausbleibende Reaktion seitens der Lehrkraft nicht immer zwangsläufig darauf zurückgeführt werden darf, dass der Untersuchungsteilnehmer möglicherweise nicht über das nötige Fachwissen verfügte, welches für eine Intervention bzw. Korrektur des Sachverhaltes nötig wäre. Vielmehr muss darauf geachtet werden, in welchem Kontext ein Außerachtlassen von alternativen Schülervorstellungen auftritt. Dies ist im besonderen Maße bei der Untersuchung der Forschungsfrage 2b – warum Lehrkräfte alternative Vorstellungen ihrer Schüler ignorieren – zu berücksichtigen (siehe Kapitel 2.5). Die aus der Pilotierung dieses Items hervorgegangenen Erkenntnisse sind demnach sehr hilfreich und sensibilisieren dafür, welche Faktoren bei der Konzeption von fiktiven Unterrichtsvignetten und deren Auswertung bedacht werden sollten.

Auch bei der Sichtung der Antworten auf das vierte Fragebogenitem (siehe Kapitel 5.4) konnten im Rahmen der Pilotierung aufschlussreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Dieses Item, das als Versuchsauswertung formuliert wurde und keine alternative Vorstellung beinhaltet, sollte verhindern, dass die Probanden bei der Beantwortung der Items vorschnell über den Untersuchungsgegenstand urteilen und unmittelbar die korrekte theoretische Erklärung für die in den Items präsenten alternativen Konzepte formulieren, um zu demonstrieren, dass sie in der Lage sind, alternative Schülervorstellungen zu erkennen und zu berichtigen. Tatsächlich geben Antworten und Kommentare in den Pilotierungsbögen einen Hinweis darauf, dass die Untersuchungsteilnehmer voreilig annahmen, dass mithilfe der Items ihr Fachwissen getestet werden bzw. untersucht werden soll, ob sie alternative Schülerkonzepte ausfindig machen und korrigieren können. Aus drei Antworten (Item 4 der Pilotierungsbögen Nr. 1, Nr. 5, und Nr. 8) konnte geschlossen werden, dass die Probanden Fehler oder alternative Konzepte in der Versuchsauswertung des vierten Items vermuten. Im Folgenden sei eine Antwort (Pilotierungsbogen Nr. 1, Item 4) exemplarisch zitiert:

*„Meiner Meinung nach haben die Schüler einen sehr guten Lösungsansatz entwickelt. Dies würde ich hervorheben und in einem kurzen gemeinsamen Gespräch besprechen, wo ihre Fehler liegen.“*

Diese Äußerung impliziert, dass die Untersuchungsteilnehmer teilweise unentwegt nach alternativen Schülervorstellungen in der Versuchsauswertung suchten, keine identifizieren konnten, da sie diese anderenfalls konkret hätten benennen können und deshalb sehr allgemein antworteten, um einen Schein von fachlicher Kompetenz zu suggerieren.

Da die ersten drei Items jeweils eine oder mehrere alternative Vorstellungen von Lernenden beinhalten und die Probanden deshalb schnell glaubten, den Forschungshintergrund zu durchschauen, empfanden einige von ihnen das vierte Item irritierend (z.B. Pilotierungsbogen Nr. 3, Item 4). Fragen wie „*Wo ist der Haken?*“ (Pilotierungsbogen Nr. 4, Item 4) oder „*Was soll eigentlich untersucht werden?*“ (Pilotierungsbogen Nr. 17, Item 4) signalisieren, dass dieses Item genau den angedachten Zweck erfüllt und bei den Untersuchungsteilnehmern nicht sofort der Verdacht geweckt wurde, dass ihre fachliche Kompetenz getestet werden soll und sie deshalb direkt die korrekte Erklärung theoretisch formulierten. Weiterhin fiel bei der Analyse der Rückmeldungen zu der Versuchsauswertung auf, dass acht Probanden Kritik bzw. Verbesserungsvorschläge für die Formulierung der Auswertung äußerten (Item 4 der Pilotierungsbögen Nr. 3, Nr. 10, Nr. 15, Nr. 16, Nr. 19, Nr. 21, Nr. 22 und Nr. 25). Die Kritik bezog sich vorwiegend auf den schematischen Aufbau der Versuchsauswertung (Pilotierungsbogen Nr. 22, Item 4) bzw. die fehlende Abgrenzung von den Beobachtungen und der Deutung (Item 4 der Pilotierungsbögen Nr. 15 Nr. 16 und Nr. 25), sowie auf die Verwendung des Begriffes „Chloratome“ (Item 4 der Pilotierungsbögen Nr. 3, Nr. 19 und Nr. 21). Jedoch wird im Falle des vierten Items lediglich eine Auswertung und nicht ein vollständiges Versuchsprotokoll abgebildet. Aus diesem Grund kann der Einwand einer besseren Strukturierung der von den Probanden als Protokoll verstandenen Auswertung zurückgewiesen werden. Des Weiteren werden in der Versuchsauswertung des Items keine Beobachtungen geschildert, sodass auch der Einwand einer nichtvorhandenen Trennung von Beobachtung und Deutung vernachlässigt werden kann. Es entstand erneut der Eindruck, dass ein Teil der Probanden motiviert durch die Vermutung über den Untersuchungshintergrund mit aller Mühe versuchten, Fehler oder Kritikpunkte zu finden. Um zu verhindern, dass ein Fehler im Aufbau der Versuchsauswertung bzw. in der Vermischung von Beobachtung und Deutung vermutet werden kann, könnte der im Item verwendete Begriff „Versuchsauswertung“ durch „Deutung“ ersetzt werden, da der Deutungsbegriff nicht missverständlich interpretiert werden kann. Ebenso kann die Kritik bezüglich der Verwendung des Terminus „Chloratome“ im Kontext der Versuchsauswertung vernachlässigt werden, da die vorgelegte Versuchsauswertung fachlich einwandfrei ist. Im Item 4 des Pilotierungsbogens Nr. 3 wurde der Begriff „Chloratome“ vom Probanden sogar mit einem Rotstift unmittelbar in der handschriftlichen Auswertung markiert. Ungeachtet der Tat-

sache, dass diese Anmerkung aufgrund der fachlichen Richtigkeit der Deutung hinfällig ist, zeigt es, dass dieses Item überaus authentisch auf die Untersuchungsteilnehmer wirken kann und sie es deshalb wie eine reale Schülersarbeit behandeln und mit einem Rotstift korrigieren.

Insgesamt konnten bei allen Items zahlreiche authentische Rückmeldungen in den Antworten der Probanden erfasst werden. Dabei wurden einige direkt an die jeweiligen Lernenden unter Verwendung von Personalpronomen gerichtet, wie die folgenden Beispiele demonstrieren sollen:

*„Du hast richtig beobachtet, dass [...]“<sup>1718</sup>*

*„Erinnert euch mal an das letzte Schuljahr. Da fällt euch bestimmt noch eine andere Def. ein.“<sup>19</sup>*

*„Die Wanderung der Ionen hast du verständlich wiedergegeben.“<sup>20</sup>*

Andere Rückmeldungen wurden wie folgt als Ausrufesatz formuliert und signalisierten entweder Lob oder wiesen auf einen Fehler hin:

*„Die Versuchsauswertung ist dir gut gelungen!“<sup>21</sup>*

*„Weiter so!“<sup>22</sup>*

*„Das ist falsch!“<sup>23</sup>*

Andere Probanden wiederum gaben anstatt einer direkten Rückmeldung an den Lernenden eine indirekt formulierte Antwort auf das Item und beschrieben lediglich, wie sie in der dargestellten Unterrichtssituation reagieren würden. Die folgenden zwei Antworten sollen als Beispiele für solch eine beschriebene Handlungsweise dienen:

*„Ich würde die Frage zuerst einmal an die Klasse zurückgeben und die anderen Schüler fragen, ob sie dies genauso sehen [...]“<sup>24</sup>*

*„Ich würde die Situation kurz weiter beobachten und schauen, ob die anderen Schüler ihr den Zusammenhang erklären können.“<sup>25</sup>*

Demgegenüber entstand bei anderen Antworten der Eindruck, dass die Rückmeldungen der Probanden nicht an den Schüler, sondern vielmehr an den Testauswerter gerichtet wurden. Dies zeigte sich beispielsweise in Aus-

---

<sup>17</sup> Aus Gründen der Übersichtlichkeit, werden die Quellenangaben der hier und im Folgenden zitierten Antworten von Probanden der Pilotierung in Form von Fußnoten dargestellt.

<sup>18</sup> Pilotierungsbogen Nr. 3, Item 3

<sup>19</sup> Pilotierungsbogen Nr. 4, Item 1

<sup>20</sup> Pilotierungsbogen Nr. 8, Item 2

<sup>21</sup> Pilotierungsbogen Nr. 23, Item 4

<sup>22</sup> Pilotierungsbogen Nr. 13, Item 4

<sup>23</sup> Pilotierungsbogen Nr. 3, Item 1

<sup>24</sup> Pilotierungsbogen Nr. 1, Item 1

<sup>25</sup> Pilotierungsbogen Nr. 5, Item 3

sagen wie: „In erster Linie wird die Fehlvorstellung, dass an jeder Redoxreaktion  $O_2$  beteiligt sein muss, behandelt.“ (Pilotierungsbogen Nr. 22, Item 3) oder „Das ist nicht angemessen für die Jahrgangsstufe 13 [...]“ (Pilotierungsbogen Nr. 2, Item 2).

Um vorzubeugen, dass die Untersuchungsteilnehmer ihre Reaktion auf eine alternative Schülervorstellung lediglich indirekt beschreiben oder ihre Antwort an den Testauswerter richten, sollte der Hauptuntersuchung eine Instruktion vorangestellt werden, in der die Probanden explizit darum gebeten werden, sich so gut wie möglich in die in den Items geschilderten Unterrichtssituationen hineinzusetzen und ihre Antwort als direkte Rückmeldung an die jeweiligen Schüler zu formulieren.

Schließlich kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Pilotierung der Items mit offenem Antwortformat hilfreiche und für die Weiterentwicklung der Items essentielle Erkenntnisse hervorbrachte. Insgesamt zeigte die Pilotierung zudem, dass die Items mit offenem Format prinzipiell in einer Weise konzipiert wurden, dass sie sich zur Erforschung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen eignen und nur ein geringfügiger Bedarf einer Ergänzung oder Optimierung besteht. Sie können deshalb als geeignet für den der Arbeit zugrunde liegenden Forschungszweck angesehen werden, da die Mehrheit der Probandenantworten zeigte, dass die Items sprachlich als auch inhaltlich so gestaltet wurden, dass sich die Untersuchungsteilnehmer in die geschilderte Unterrichtssituation hineinversetzen und die Items bei ausreichendem Fachwissen und einem vorhandenen Überblick über die Lehrplaninhalte „sinnvoll“ beantworten konnten.

## **6.2 Pilotierungsergebnisse der Items mit geschlossenem Antwortformat**

Wie schon bei den Items mit offenem Antwortformat, lieferte auch die Pilotierung der Mehrfach-Wahlaufgaben eine Reihe wichtiger Erkenntnisse. Während der Fokus der Pilotierung bei ersteren primär auf der Überprüfung der sprachlichen sowie der inhaltlichen Verständlichkeit lag, war das Ziel der Pilotierung der Mehrfach-Wahlaufgaben, Aussagen über den Schwierigkeitsgrad dieser Items und die Eignung der jeweiligen Distraktoren treffen zu können.

Die quantitative Auswertung des fünften Fragebogenitems (siehe Kapitel 5.5) ergab, dass 84 % der Probanden diese Mehrfach-Wahlaufgabe richtig beantworteten konnten und die vierte Antwortmöglichkeit wählten. Im Gegensatz dazu interpretierten zwei der 25 Probanden die Oxidation als eine Elektronenaufnahme und entschieden sich für die dritte Antwortmöglichkeit. Zwei weitere



Untersuchungsteilnehmer beantworteten das fünfte Item wiederum überhaupt nicht, was vermuten lässt, dass diese beiden Studierenden nicht über das zur Beantwortung notwendige Fachwissen verfügten. Die Tatsache, dass die meisten Probanden das fünfte Item korrekt beantworteten, deutet darauf hin, dass diese Mehrfach-Wahlaufgabe für Chemiestudierende verhältnismäßig einfach zu lösen ist. Dies mag u.a. daran liegen, dass bedingt durch die gegenseitige Abhängigkeit der Auswahlantworten und die dementsprechende Fragenformulierung offensichtlich war, dass lediglich eine Antwort richtig sein kann. Die folgende Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Auswertung des fünften Items noch einmal in übersichtlicher Form:

**Tabelle 4:** Quantitative Auswertung des fünften Fragebogenitems

	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
richtige Antwort	21	84 %
Antwortmöglichkeit 3	2	8 %
keine Antwort	2	8 %

Demgegenüber offenbaren die Auswertungsergebnisse des sechsten Fragebogenitems (siehe Kapitel 5.6), dass der Schwierigkeitsgrad im Vergleich zur ersteren Mehrfach-Wahlaufgabe bei diesem Item höher zu sein scheint. Insgesamt waren nämlich lediglich sieben der 25 Probanden in der Lage, das sechste Item korrekt zu beantworten. Zwar wählten zwölf Probanden die vierte und richtige Auswahlantwort, jedoch entschieden sich fünf von ihnen gleichzeitig für eine oder zwei weitere Antwortalternativen. Die folgende Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Antwortverteilung, wie sie bei dieser Mehrfach-Wahlaufgabe auftrat:

**Tabelle 5:** Quantitative Auswertung des sechsten Fragebogenitems

	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
richtige Antwort	7	28 %
Antwortmöglichkeit 2	5	20 %
Antwortmöglichkeit 3	2	8 %
keine Antwort	4	16 %
<b>Kombinationen</b>		
Antwortmöglichkeiten 1 / 3	2	8 %
Antwortmöglichkeiten 1 / 4	2	8 %
Antwortmöglichkeiten 1 / 3 / 4	2	8 %
Antwortmöglichkeiten 2 / 3 / 4	1	4 %

Die Probanden, die den ersten und dritten Distraktor wählten und jene, die sich zusätzlich für die richtige Antwort entschieden, verwechselten offenbar die Bezeichnungen der Elektroden und die an ihnen stattfindenden Prozesse in galvanischen Elementen mit denen in Elektrolysezellen. Des Weiteren erkannten diese Probanden die Abhängigkeit des ersten und dritten Distraktors. Wird nämlich einer dieser Distraktoren gewählt, so sollte aus einer logischen Schlussfolgerung auch der jeweils andere Distraktor gewählt werden.

Ein Indiz für die hohe Qualität der Distraktoren des sechsten Items ist, dass alle Distraktoren ungefähr gleich häufig von den Probanden angekreuzt wurden. Idealerweise sollten die Distraktoren nämlich möglichst plausibel erscheinen, mit ungefähr der gleichen Wahrscheinlichkeit ausgewählt werden und unwissende Untersuchungsteilnehmer von der richtigen Antwort ablenken (Bortz & Döring 2006, S. 215; Lienert & Raatz, 1994, S. 101). Dies war bei der Pilotierung des sechsten Items der Fall, wie die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse zeigen:

**Tabelle 6:** Auswahlhäufigkeiten der Antwortmöglichkeiten des sechsten Fragebogenitems

	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
richtige Antwort	12	48 %
Antwortmöglichkeit 1	6	24 %
Antwortmöglichkeit 2	6	24 %
Antwortmöglichkeit 3	7	28 %
keine Antwort	4	16 %

Demzufolge können die für dieses Item konzipierten falschen Antwortmöglichkeiten als „gute Distraktoren“ (Bortz & Döring 2006, S. 215) bezeichnet werden.

Schließlich soll noch erwähnt werden, dass mithilfe der Pilotierung die Bearbeitungsdauer der sechs Fragebogenitems ermittelt werden konnte. Diese betrug zwischen 18 und 64 Minuten und lag mit einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 41 Minuten im erwarteten Zeitrahmen. Probandenkommentare (Pilotierungsbögen Nr. 8, Nr. 10, Nr. 15 und Nr. 16) lassen erkennen, dass der Umfang der Items als angemessen empfunden wurde. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass das Interesse der Untersuchungsteilnehmer während der Beantwortung aufrecht erhalten werden konnte und keine Motivationseinbußen durch die Bearbeitungsdauer und den Umfang der Items entstanden. Allerdings sei an dieser Stelle betont, dass die entwickelten Items nicht als ein in sich geschlossener Fragebogen verstanden werden dürfen, da der Fokus der Items auf nur einem Themengebiet beruht und die Items teilweise die gleichen alternativen Schülervorstellungen behandeln. Dies könnte ermüdend auf die Probanden wirken (Pilotierungsbogen Nr. 10). Vielmehr dienen die einzelnen Items der Erweiterung eines bereits bestehenden Fragebogens, mit dessen Hilfe der Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen erhoben werden soll und der eine Vielzahl von Themengebieten des Chemieunterrichts abdeckt.

Insgesamt lieferte die Pilotierung fruchtbare Anregungen, wie die konzipierten Items noch weiter optimiert werden könnten. Im folgenden Kapitel sollen die Items deshalb unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Pilotierung in einer zum Teil abgeänderten Fassung präsentiert werden.

## 7. Optimierte Fassung der Fragebogenitems

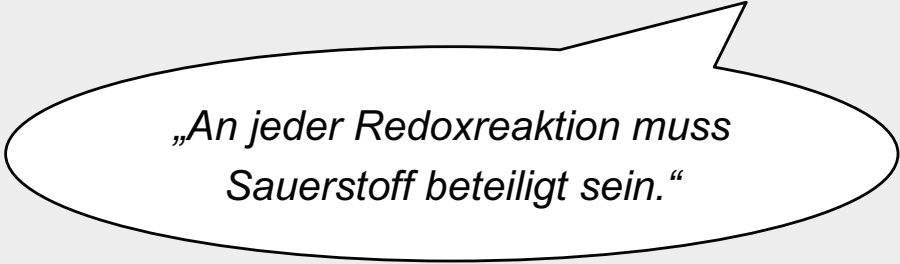
Dieses Kapitel soll nun eine zusammenfassende Übersicht über die endgültige Form der in der vorliegenden Arbeit konzipierten Items geben. Sowohl das dritte Item (*Concept Cartoon*) als auch das vierte Item (Versuchsauswertung) wurden auf der Grundlage der Pilotierungsergebnisse ergänzt bzw. geringfügig umgestaltet.

So wurden, wie bereits in Kapitel 6 erörtert, den Figuren des *Concept Cartoons* Namen zugewiesen. Außerdem wurde bei diesem Item die Frage, wie die Probanden in der beschriebenen Situation reagieren würden, neu formuliert, um zu verhindern, dass die Lehrkräfte angeben, aufgrund des kooperativen Lernsettings nicht in die Austauschphase eingreifen zu wollen.

Das vierte Item wurde dahingehend verändert, dass der Begriff „Versuchsauswertung“ durch den unmissverständlichen Begriff der „Deutung“ ersetzt wurde. Die zugrunde liegenden Motive wurden bereits in Kapitel 6 erläutert. Zudem wurde die Fachsprache in der Versuchsauswertung leicht modifiziert, damit deutlich wird, dass der Protokollant weiß, dass Chlor in molekularer Form vorliegt, sich bei der Deutung jedoch korrekterweise auf die „Atome des Chlormoleküls“ bezieht. Im Folgenden werden alle sechs Items in ihrer endgültigen Form noch einmal dargelegt:

### 1. Unterrichtsvignette

Sie sind Lehrer einer 11. Klasse (G9) im Fach Chemie. In der heutigen Stunde möchten Sie galvanische Zellen behandeln und den Aufbau des Daniell-Elements sowie die in der Zelle ablaufenden Redoxprozesse thematisieren. Zu diesem Zweck haben Sie ein Daniell-Element aufgebaut und den elektrischen Strom und die elektrische Spannung gemessen. Bevor Sie zur Auswertung der Beobachtungen kommen, möchten Sie den Lernenden einen Denkanstoß geben und fragen nach der Definition einer Redoxreaktion. Ein Schüler äußert sich wie folgt:



„An jeder Redoxreaktion muss Sauerstoff beteiligt sein.“

**Wie würden Sie auf diesen Schülerbeitrag reagieren?**

## 2. Schülerantwort auf eine Klausuraufgabe

Nachdem Sie in der Jahrgangsstufe 13 (G9) in Ihrem Chemie-Leistungskurs das Wahlthema „Elektrochemie“ behandelt haben, schreiben Sie eine Leistungsüberprüfung unter anderem zu den Redoxprozessen in elektrochemischen Zellen. Sie haben die folgende Aufgabe gestellt:

*Beschreiben Sie die Vorgänge, die bei der Elektrolyse von verdünnter Salzsäure ablaufen.*

Auf diese Frage haben Sie die folgende Schülerantwort erhalten:

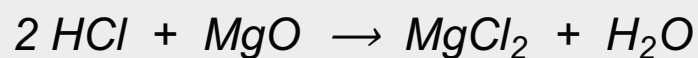
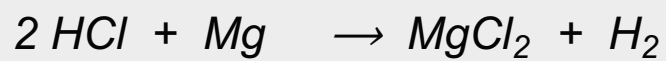
Die Elektrolyse spaltet Salzsäure in  $H^+$ - und  $Cl^-$ -Ionen. Da die Kathode negativ geladen ist und positive und negative Ladungen sich anziehen, wandern die  $H^+$ -Ionen zur Kathode und die  $Cl^-$ -Ionen zur Anode.

**Welche Rückmeldung würden Sie dem Schüler zu dieser Antwort geben?**

### 3. Concept Cartoon

In den letzten Chemiestunden haben Sie in der 11. Jahrgangsstufe (G9) die Redoxreaktion als eine Elektronenübertragungsreaktion unter Zuhilfenahme von Oxidationszahlen eingeführt. Sie möchten nun, dass sich die Lernenden noch einmal intensiv mit dem neuen Unterrichtsinhalt beschäftigen und die elektronenbasierte Definition auf ein Beispiel anwenden. Deshalb geben Sie den Schülern die folgende Aufgabe:

*Bei welcher der folgenden Reaktionen handelt es sich um eine Redoxreaktion?*



Sie geben den Schülern den Arbeitsauftrag, diese Aufgabe in einer Gruppenarbeitsphase zu lösen und hören während der Austauschphase die folgende Diskussion:

*Die erste Reaktion ist eine Redoxreaktion. Die Magnesium-Atome werden oxidiert.*

*Ich glaube auch, dass die erste Reaktion eine Redoxreaktion ist: Magnesium wird oxidiert und Salzsäure reduziert.*



Thomas

Laura



*Aber die erste Reaktion kann doch gar keine Redoxreaktion sein, weil ja gar kein Sauerstoff beteiligt ist! Dafür ist die zweite Reaktion eine Redoxreaktion, weil MgO ein O abgibt.*

Eva



**Wie würden Sie in der anschließenden Plenumsphase auf diese Schülerdiskussion reagieren?**

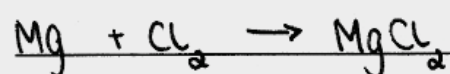
#### 4. Versuchsauswertung

Sie behandeln gerade in der 11. Jahrgangsstufe (G9) den Redoxbegriff und thematisieren die Reaktion von Metallen mit Nichtmetallen. Sie haben bereits die für Redoxreaktionen charakteristische Elektronenübertragung eingeführt. In der vergangenen Chemiestunde haben Sie die folgende Reaktion als Lehrerdemonstrationsexperiment vorgeführt:

*Ein brennendes Stück Magnesiumband wurde in einen Standzylinder gehalten, der mit Chlorgas gefüllt war. Bei der Reaktion entstand unter heftigem Aufblitzen ein farbloser Feststoff.*

Sie haben die Lernenden gebeten, die gemachten Beobachtungen in Partnerarbeit auszuwerten. Zum Stundenschluss haben Sie einige Versuchsprotokolle eingesammelt. Unter anderem haben Sie folgende Deutung des Versuchs erhalten:

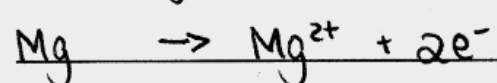
Magnesium reagierte in einer exothermen Reaktion mit Chlor. Der dabei entstandene farblose Feststoff heißt Magnesiumchlorid. Und davon wissen wir: es ist ein Salz mit der Summenformel  $MgCl_2$ .



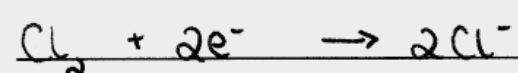
Salze sind aus Ionen aufgebaut. In diesem Fall handelt es sich um  $Mg^{2+}$ - und  $Cl^-$ -Ionen. Bei der Reaktion von Magnesium mit Chlor müssen also Elektronen übertragen worden sein.

Die Magnesiumatome besitzen jeweils zwei Valenzelektronen, die sie bei der Reaktion an die Atome des Chlormoleküls abgeben.

Die Magnesiumatome werden dabei zu Magnesiumionen oxidiert:



Die Atome des Chlormoleküls nehmen jeweils ein Elektron auf, sodass Chloridionen entstehen. Die Atome des Chlormoleküls werden zu Chloridionen reduziert:



Bei der Reaktion von Magnesium mit Chlor handelt es sich also um eine Redoxreaktion.

**Welche Rückmeldung würden Sie dem Schüler zu seiner Versuchsauswertung geben?**

### 5. Mehrfach-Wahlaufgabe

Sie möchten, dass die Schüler Ihres Chemiekurses in der 11. Jahrgangsstufe (G9) den folgenden Satz vervollständigen: *Wenn ein Atom oxidiert wird...*

Sie erhalten diese vier Schülerantworten:

- ... nimmt es formal Elektronen auf und heißt Oxidationsmittel.
- ... gibt es formal Elektronen ab und heißt Oxidationsmittel.
- ... nimmt es formal Elektronen auf und heißt Reduktionsmittel.
- ... gibt es formal Elektronen ab und heißt Reduktionsmittel.

**Welcher Schülerantwort würden Sie zustimmen?**

### 6. Mehrfach-Wahlaufgabe

In einer Unterrichtsdiskussion zu galvanischen Elementen wurden in der 11. Jahrgangsstufe (G9) die folgenden Schüleraussagen geäußert.

**Welcher/n Schüleräußerung/en würden Sie zustimmen?**

- Die Kathode ist der Minuspol.
- Die Kathode nimmt Elektronen auf.
- An der Anode herrscht ein Elektronenmangel.
- An der Kathode findet die Reduktion statt.

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden sechs Items zur Ergänzung des von Sarah Uhren (Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013) erstellten Fragebogens zur Untersuchung des Umgangs von Chemielehrkräften mit alternativen Vorstellungen von Schülern entwickelt. Ziel der Arbeit war es, Items zu konzipieren, mit deren Hilfe gezielt der Umgang von Lehrern mit alternativen Schülervorstellungen erhoben werden kann, die speziell bei der Behandlung des Themengebietes „Redoxreaktionen“ im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II typischerweise auftreten. Dieses für den Chemieunterricht grundlegende Themengebiet wurde deshalb ausgewählt, da bedingt durch die Schwierigkeit und Komplexität der zugrunde liegenden Theorie besonders vielfältige und



zahlreiche alternative Schülervorstellungen zu Redoxreaktionen identifiziert werden konnten.

Da Schülervorstellungen und der Umgang von Lehrkräften mit ihnen den Lernprozess stark beeinflussen und bislang erst wenig darüber bekannt ist, wie Chemielehrer tatsächlich in der alltäglichen Unterrichtspraxis auf die Vorstellungen ihrer Schüler reagieren, war mit der Entwicklung der vorgelegten Items der Anspruch verbunden, durch deren Einsatz in einer Fragebogenstudie einen Einblick erhalten zu können, ob und wenn ja, wie Lehrkräfte mit alternativen Vorstellungen im Chemieunterricht umgehen und welche allgemeinen Handlungsmuster sich dabei ausfindig machen lassen. Durch die Wahl charakteristischer Schülervorstellungen und deren Einbettung in eine fiktive, aber dennoch realitätsnahe und lehrplanorientierte Unterrichtssituation soll den Untersuchungsteilnehmern die Möglichkeit gegeben werden, sich in die geschilderte Unterrichtssituation hineinzusetzen und folglich so authentisch, wie es im Rahmen einer Fragebogenstudie möglich ist, zu schildern, wie sie in der im Item beschriebenen Situation handeln würden. Dazu wurden vier Items mit offenem Antwortformat in Form einer Unterrichtsvignette, einer Schülerantwort auf eine Klausuraufgabe, eines *Concept Cartoons* und einer Versuchsauswertung gestaltet. In die Unterrichtsvignette wurde die alternative Vorstellung, dass für das Stattfinden einer Redoxreaktion immer eine Sauerstoffbeteiligung notwendig ist, integriert. Mit diesem Item kann demzufolge untersucht werden, wie Lehrkräfte auf alternative Vorstellungen zum Redoxbegriff reagieren. Mithilfe der Schülerantwort auf eine Klausuraufgabe zur Elektrolyse von verdünnter Salzsäure kann überprüft werden, wie Lehrkräfte mit alternativen Vorstellungen zu den in einer Elektrolysezelle ablaufenden Prozessen umgehen. Das *Concept Cartoon* ist sehr komplex und beinhaltet alternative Schülervorstellungen zur Kopplung von Oxidations- und Reduktionsvorgängen, zur Vermischung der Teilchen- und Stoffebene und zum Verständnis des Redoxbegriffes. Im Gegensatz zu den ersten drei Items weist das als Versuchsauswertung gestaltete Item kein alternatives Schülerkonzept auf. In der Auswertung wird lediglich die korrekte Deutung der Reaktion von Magnesium mit Chlorgas ausführlich dargelegt. Zudem wurden zwei Mehrfach-Wahlaufgaben konzipiert, mit deren Hilfe Aussagen über das Fachwissen der Probanden und deren persönliche (alternative) Vorstellungen über Oxidations- und Reduktionsmittel einerseits und andererseits über die Bezeichnungen von Anode und Kathode in elektrochemischen Zellen sowie den an ihnen stattfindenden Elektronenübertragungen gemacht werden können. Somit ist es möglich, nicht nur einen Einblick in die Art der Lehrerreaktion, sondern auch in die fachlichen Vorstellungen der Untersuchungsteilnehmer zu erhalten.

Um überprüfen zu können, ob die im Rahmen der vorliegenden Arbeit konzipierten Items für den Forschungszweck geeignet und für die Zielgruppe ver-

ständig sind, wurde eine Pilotierung mit Chemie-Lehramtsstudierenden der Universität Kassel durchgeführt. Die Pilotierungsergebnisse offenbaren, dass alle Items sowohl inhaltlich als auch sprachlich so formuliert wurden, dass im Allgemeinen keine Schwierigkeiten beim Verstehen und Beantworten der Items auftraten. Mit Ausnahme eines Probanden, der das zweite Item unbeantwortet ließ, bearbeiteten die anderen teilnehmenden Studierenden alle Items mit offenem Antwortformat. Der Großteil der Antworten zeigt, dass die Angaben bezüglich der Unterrichtssituation in den Items so gewählt wurden, dass sich die Mehrheit der Probanden mühelos in den geschilderten Kontext hineinversetzen konnte und ihre Antworten unter Berücksichtigung der Informationen aus dem Itemstamm formulierten. Dies konnte im besonderen Maße bei den Antworten auf das als *Concept Cartoon* dargebotene Item beobachtet werden. Bei allen Items mit offenem Antwortformat wurden sowohl ausführliche und dem Kontext angepasste Antworten erhalten, als auch aufgrund der bewusst offen gestalteten Fragenformulierungen sehr allgemein und oberflächlich verfasste Rückmeldungen. Diesen Antworten konnte daher nicht entnommen werden, ob die Probanden in der Lage waren, die integrierte alternative Vorstellung zu identifizieren. Die offene Fragestellung wird dennoch beibehalten, um die Untersuchungsteilnehmer beim Bearbeiten der Items mit offenem Format nicht in eine bestimmte Richtung zu drängen. Außerdem erwies sich das vierte Item, welches keine alternative Vorstellung beinhaltet, als zweckdienlich: Es sollte verhindern, dass die Probanden den Forschungshintergrund vorschnell zu durchschauen glauben und die richtige theoretische Erklärung bezüglich der alternativen Vorstellungen unmittelbar notieren, um zu demonstrieren, dass sie fachlich so kompetent sind, dass sie alternative Vorstellungen identifizieren und korrigieren können. Dass das vierte Item für diesen Zweck geeignet ist, stellte sich in der Pilotierung heraus. Weiterhin offenbarte die Auswertung der Mehrfach-Wahlaufgaben, dass das sechste Item aufgrund der hervorragenden Distraktorenwahl komplexer und anspruchsvoller zu sein scheint als das fünfte Item.

Insgesamt lieferten die Pilotierungsergebnisse nützliche Hinweise, wie die entwickelten Items noch weiter optimiert werden könnten. Auf deren Grundlage wurden die Items teilweise ergänzt und weiterentwickelt und im siebten Kapitel dieser Arbeit in einer Fassung vorgestellt, wie sie als Ergänzung des bereits bestehenden Erhebungsinstruments von Sarah Uhren in einer Fragebogenstudie zur Ermittlung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Vorstellungen von Lernenden potentiell eingesetzt werden könnten.

Inwieweit die entwickelten Items die in der Arbeit präsentierten Qualitätsanforderungen erfüllen und inwieweit sie das Handeln der Lehrkräfte in realen Unterrichtssituationen zu erfassen vermögen, kann trotz des Versuches einer authentischen Itemformulierung nicht vollends eingeschätzt werden. Dies

könnte nach einem erfolgten Einsatz der Items in einer Untersuchung mittels Fragebogen z.B. durch eine Videostudie überprüft werden. Möglichenfalls kann auf diese Weise herausgefunden werden, ob sich Lehrkräfte bislang schlichtweg nur selten mit Forschungsarbeiten über Schülervorstellungen beschäftigten und aus diesem Grund nicht wissen, wie sie im Chemieunterricht mit alternativen Vorstellungen ihrer Schüler umgehen sollen (Gabel 1999, S. 552), oder ob es vielmehr organisatorische und zeitliche Rahmenbedingungen sind, die einen angemessenen Umgang von Lehrern mit alternativen Schülervorstellungen erschweren. Ist ersteres der Fall, können mit Hilfe der entwickelten Items und deren Einsatz in einer Fragebogenstudie möglicherweise Konsequenzen für die Lehrerbildung gezogen werden. Somit könnte es gelingen, der Forderung von Schmidt (2004, S. 50f) nach einer besseren Integration der aus der chemiedidaktischen Forschung hervorgehenden Erkenntnisse in die Ausbildung von angehenden Lehrern nachzukommen und (hausgemachten) alternativen Vorstellungen vorzubeugen oder ihnen nachhaltig entgegenzuwirken.

## 9. Literaturverzeichnis

- Alexander, P., Kulikowich, J. M. & Jetton, T. L. (1994). The role of subject-matter knowledge and interest in the processing of linear and nonlinear texts. *Review of Educational Research* 64, 201-252.
- Altmayer, W. (Hrsg.) (2012). *Salter's Chemie – Chemical Ideas. Theoretische Grundlagen*. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers.
- Anderson, C. W. & Smith, E. L. (1983). Children's preconceptions and content area textbooks. In: G. Duff, L. Rochler & J. Mason (eds.). *Comprehension instruction: Perspectives and suggestions*. New York: Longman, 197-201.
- Arni, A. (2011). *Grundkurs Chemie I und II. Allgemeine, anorganische und organische Chemie für Fachunterricht und Selbststudium*. Weinheim: Wiley.
- Asselborn, W., Jäckel, M. & Risch, K. T. (2001). *Chemie heute – Sekundarbereich I Gesamtband*. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers.
- Ausubel, D. P. & Novack, J. D. (1980). *Psychologie des Unterrichts*. 2. Auflage. Weinheim: Beltz.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.
- Barke, H.-D. (2012). Der einfache und erweiterte Redoxbegriff. Schülervorstellungen und deren Prävention im Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 4/61, 11-15.
- Baumert, J., Krauss, S., Kunter, M., Brunner, M., Blum, W., Neubrand, M., Jordan, A. & Löwen, K. (2009). *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV): Dokumentation der Erhebungsinstrumente (Materialien aus der Bildungsforschung Nr. 83)*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Beywl, W. & Schepp-Winter, E. (2000). *Zielgeführte Evaluation von Programmen – ein Leitfaden. Broschürenreihe Qs Nr. 29: Materialien zur Qualitätssicherung in der Kinder und Jugendhilfe*. Berlin: Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend.
- Bindernagel, J. & Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. *Chemie Konkret* 4/15, 181-186.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer.
- Brown, D. & Clement, J. (1992). Classroom teaching experiments in mechanics. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (eds.). *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies – Proceedings of an International Workshop*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 380-397.

- Brüning, L. & Saum, T. (2009). *Erfolgreich Unterrichten durch Kooperatives Lernen, Band 2*. Essen: Neue Deutsche Schule.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Pearson.
- Burger, N. (2002). *Vorstellungen von Schülern über Elektrochemie – eine Interviewstudie*. Dissertation. Dortmund.
- Caramazza, A., McCloskey, M. & Green, B. (1981). Naïve beliefs in 'sophisticated' subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition* 9, 117-123.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research* 1/63, 1-49.
- Cho, H., Kahle, J. B. & Nordland, F. H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science education* 5/69, 707-719.
- Cropley, A. J. (2011). *Qualitative Forschungsmethoden. Eine praxisnahe Einführung*. 4., überarbeitete Auflage. Eschborn/Magdeburg: Klotz.
- Demuth, R., Parchmann I. & Ralle B. (2006). *Chemie im Kontext. 11.-13. Schuljahr. Band 1*. Berlin: Cornelsen.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In: P. Adey, J. Bliss, J. Head & M. Shayer (eds.). *Adolescent development and school science: Based on the proceedings of an international seminar held at Kings College Centre for Educational Studies*. New York: Falmer Press, 79-104.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham (PA): Open University Press.
- Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (Hrsg.). *Lernen in den Naturwissenschaften – Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 145-162.
- Duit, R. & Treagust, D. (1998). Learning in Science – From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin (eds.). *International Handbook of Science Education. Part One*. Dordrecht (NL): Kluwer, 3-26.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In: Schmotz, W., Vosniadou, S. & Carretero, M. (eds.). *New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon, 263-282.
- Duit, R., Widodo, A. & Wodzinski, C. T. (2007). Conceptual change ideas – Teachers' views and their instructional practice. In: S. Vosniadou, A. Baltas & X. Vamvakousi (eds.). *Re-framing the problem of conceptual change in learning and instruction*. Amsterdam: Elsevier, 197-217.
- Duit, R. (2008). Zur Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht. *Geographie heute* 265, 2-7.
- Duit, R. (2009). *Bibliography – STCSE: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

- Duit, R. & Treagust, D. F. (2012). How can conceptual change contribute to theory and practice in science education? In: B. Fraser, K. Tobin & C. McRobbie (eds.). *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Springer, 107-118.
- Eisner, W., Fladt, R., Gietz, P., Justus, A., Laitenberger, K. & Schierle, W. (1995). *Elemente Chemie I. Unterrichtswerk für Gymnasien*. Stuttgart: Klett.
- Eisner, W., Gietz, P., Justus, A., Laitenberger, K., Nickolay, H., Schierle, W., Schmidt, B., Sternberg, M. & Zippel, T. (2009). *Elemente Chemie I. Unterrichtswerk für Gymnasien*. Stuttgart: Klett.
- Engel, T. & Reid, P. (2006). *Physikalische Chemie*. München: Pearson Studium.
- Fiebig, S. & Melle, I. (2001). „Problemthemen“ des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I – gegenwärtige Situation und fachdidaktische Konsequenzen. *Chemie Konkret* 8, 199-202.
- Fisher, K. M. (1983). Amino acids translation: A misconception in biology. In: Helm, H., Novak, J. D. (eds.). *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca (NY): Cornell University Press, 407-419.
- Freytag, K., Scharf, V. & Thomas, E. (2001). *Handbuch des Chemieunterrichts Sekundarbereich I. Band 2: Stoffe – Elemente – Periodensystem*. Köln: Aulis.
- Freytag, K., Scharf, V. & Thomas, E. (2002). *Handbuch des Chemieunterrichts Sekundarbereich I. Band 3: Teilchen – Formeln – Redoxreaktionen*. Köln: Aulis.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of chemical education* 4/76, 548-554.
- Garnett, P. J. & Treagust, D. F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching* 10/29, 1079-1099.
- Geisler, A. & Sumfleth, E. (2001). Veränderung von Schülervorstellungen im Bereich Säuren und Basen. *Chimica didactica* 27/86, 122-157.
- Glaserfeld, E. (1997). *Radikaler Konstruktivismus*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Gmelin, L. (1971). *Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie. Kupfer. Teil B-Lieferung 1*. 8. Auflage. Weinheim: Verlag Chemie.
- Göhlich, M., Wulf, C. & Zirfas, J. (Hrsg.) (2007). *Pädagogische Theorien des Lernens*. Weinheim: Beltz.
- Häcker, H. O. & Stapf, K. H. (Hrsg.) (2009). *Dorsch Psychologisches Wörterbuch*. 15. Ausgabe. Bern: Huber.
- Hähndel, J. (1991). Die Oxidation und Reduktion im Anfangsunterricht Chemie. Eine Auseinandersetzung mit den bisherigen Erfahrungen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie* 8/2, 4-13.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren*. 2. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer.

- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998). *Naturwissenschafts-didaktische Forschung - Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Heimann, R. & Eckert, T. (2012). Verbrennung – Oxidation – Redoxreaktion? Ein Vorschlag zur Einführung von Redoxreaktionen in der Sekundarstufe I. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 4/61, 27-32.
- Heints, V. (2005). *Redoxreaktionen – empirische Erhebung von Schülervorstellungen und Vorschläge zu deren Korrektur*. Staatsexamensarbeit. Münster.
- Heran-Dörr, E. (2011). *Von Schülervorstellungen zu anschlussfähigem Wissen im Sachunterricht*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.
- Hessisches Kultusministerium (2010). *Lehrplan Chemie. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 8 bis 13*. [http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM\\_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9](http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9)
- Hewson, P. & Hewson, M. (1992). The status of students' conceptions. In: R. Duit, F. Goldberg, F & H. Niedderer (eds.) *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies – Proceedings of an International Workshop*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 59-73.
- Holleman, A. F. & Wiberg, N. (1985). *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. 91.-100., verbesserte und stark erweiterte Auflage. Berlin: De Gruyter.
- Horton, C. (2007). *Student alternative Conceptions in Chemistry*. [www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf](http://www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf) (abgerufen am 14.02.2013).
- Jander, G. & Blasius, E. (1989). *Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie*. 13., neubearbeitete Auflage. Leipzig: Hirzel.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice in Europe* 1/1, 9-15.
- Kallus, K. W. (2010). *Erstellung von Fragebogen*. Wien: Facultas.
- Kęcki, Z. (1991). Didaktische Schwierigkeiten mit den Begriffen „Oxidation – Reduktion“. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie* 8/2, 26-27.
- Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. London: Institute of education (University of London).
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2009). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer.
- König, A. & Reiners, C. (2003). Synopse und Vorstellungen von Misconceptions. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 2/52, 19-25.
- Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hrsg.) (2006). *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse*. 5., überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz.

- Markic, S. & Eilks, I. (2005). Kooperatives und kontextorientiertes Lernen zu Batterien und Akkumulatoren in der SI. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 8/54, 8-14.
- Marohn, A. (2008). „Choice2learn“ – eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 14, 57-79.
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). *Die Entwicklung von Metakonzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*. Berlin: Logos.
- Möller, K. (2007). Genetisches Lernen und Conceptual Change. In: J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.). *Handbuch der Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 258-266.
- Möller, K. (2010). Lernen von Naturwissenschaften heißt: Konzepte verändern. In: P. Labudde (Hrsg.). *Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.-9. Schuljahr*. Stuttgart: Haupt, 57-72.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.) (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Mortimer, C. E. & Müller, U. (2007). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie*. 9. überarbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme.
- Mummendey, H. D. & Grau, I. (2008). *Die Fragebogen-Methode*. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Nieswandt, M. (2001). Von Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Konzepten: Lernwege von Schülerinnen und Schülern im einführenden Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 7, 33-52.
- Oetken, M. (2011). Schüler(„fehl“)vorstellungen als Chance begreifen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 3/60, 4.
- Paschmann, A., Oetken, M. & de Vries, T. (2002). Schülervorstellungen zum Sieden – Der Wechsel des Aggregatzustandes als didaktisches Problem. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 55/7, 413-420.
- Petermann, K. (2010). *Das „PANDORA-PROJEKT“: Programm zur Diagnose und Korrektur von Fehlvorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren – Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Unterrichtsbausteinen zum Abbau von Schülerfehlvorstellungen*. Göttingen: Sierke.
- Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. 3. Auflage. München: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Raab-Steiner, E. & Benesch, M. (2010). *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS/PASW-Auswertung*. 2., aktualisierte Auflage. Wien: Facultas.
- Riedel, E. (2010). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. 10. Auflage. Berlin: De Gruyter.



- Rossow, M. & Flint, A. (2012). Redox-Reaktionen ohne Sauerstoff??? Ein Vorschlag für eine „Erweiterung“ des Redox-Begriffs nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 4/61, 5-10.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching* 4/34, 377-398.
- Schmidt, H. J. (1994). Der Oxidationsbegriff in Wissenschaft und Unterricht. *Chemie in der Schule* 1/41, 6-10.
- Schmidt, H. J. (1997). Students' misconceptions – Looking for a pattern. *Science Education* 2/81, 123-135.
- Schmidt, H. J. (2004). Die Rolle chemiedidaktischer Forschung für die Ausbildung von Chemielehrern am Gymnasium. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 1/57, 50-53.
- Schmidt, S. & Parchmann, I. (2011). Schülervorstellungen - Lernhürde oder Lernchance? *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 3/60, 15-20.
- Steininger, R. & Lembens, A. (2011). Concept Cartoons zum Thema Redoxreaktionen. Erfahrungen und Anregungen für den Einsatz im Unterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 3/60, 26-31.
- Steininger, R. (2010). Oxidation und Reduktion im Chemieanfangsunterricht. Schülervorstellungen – Begriffsdefinitionen – mögliche Lehr-Lern-Wege. Teil 2. *Chimica didactica* 103/36, 89-109.
- Strike, K. A. & Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education* 3/4, 231-240.
- Strike, K. A. (1983). Misconceptions and conceptual change: Philosophical reflections on the research programm. In: H. Helm & J. D. Novak (eds.). *Proceedings of the international seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca (NY): Cornell University Press, 67-78.
- Sumfleth, E., Stachelscheid, K. & Todtenhaupt, S. (1991). Redoxreaktionen in der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie* 8/2, 3-13.
- Sumfleth, E. (1992). Schülervorstellungen im Chemieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 7/45, 410-414.
- Taber, K. (2002a). *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background*. London: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. (2002b). *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure. Volume II: classroom resources*. London: Royal Society of Chemistry.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education* 2/10, 159-169.
- Uhren, S. & Ralle, B. (2011). Wie gehen Lehrkräfte mit alternativen Schülervorstellungen um? In: S. Bernholt (Hrsg.). *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Oldenburg 2011*. Berlin/Münster: LIT, 167-169.

Uhren, S., Di Fuccia, D.-S. & Ralle, B. (2012). *Wie gehen Lehrkräfte mit alternativen Schülervorstellungen um?* Bei der 29. Fortbildungs- und Vortragstagung der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) – Fachgruppe Chemieunterricht „Chemie macht Schule!“, 13.-15. Sep. 2012. Freiburg.

Uhren, S., Ralle, B. & Di Fuccia, D.-S. (2013). Zum Umgang von Lehrkräften mit alternativen Schülervorstellungen. *Chimica didactica* (zur Veröffentlichung angenommen).

## 10. Abbildungen

Abbildung 1:	Lernwege zum Thema „Redoxreaktionen“ (entnommen: Steininger 2010, S. 90)	8
Abbildung 2:	<i>Chemical Triangle</i> nach Johnstone, das die drei unterschiedlichen Betrachtungsebenen der Chemie abbildet (entnommen: Barke 2006, S. 31)	14
Abbildung 3:	Überblick über die konstruktivistische Unterrichtsstrategie nach Driver (1989) (entnommen: Häußler et al. 1998, S. 215)	24
Abbildung 4:	Forschungsfragen des Kooperationsprojektes zwischen der Universität Kassel und der TU Dortmund zur Untersuchung des Umgangs von Lehrkräften mit alternativen Vorstellungen von Schülern (entnommen: Uhren, Ralle & Di Fuccia 2013, S. 56)	27
Abbildung 5:	Reaktion von Eisen mit einer Kupfersulfat-Lösung, a) Stoffebene, b) Modellzeichnung (entnommen: Barke 2012, S. 11)	43
Abbildung 6:	Aufbau des Daniell-Elements (entnommen: Mortimer & Müller 2007, S. 357)	52

## 11. Tabellen

Tabelle 1:	Auswertung der in der Fragebogenhauptstudie angegebenen Lehrerreaktionen nach Handlungsmustern (Uhren & Ralle 2011, S. 168)	30
Tabelle 2:	Quantitative Auswertung der Mehrfach-Wahlaufgaben der Fragebogenhauptstudie (Uhren, Di Fuccia & Ralle 2012)	31
Tabelle 3:	Auswertung der in der Videostudie identifizierten Lehrerreaktionen nach Handlungsmustern (Uhren & Ralle 2011, S. 168)	32
Tabelle 4:	Quantitative Auswertung des fünften Fragebogenitems	87
Tabelle 5:	Quantitative Auswertung des sechsten Fragebogenitems	88
Tabelle 6:	Auswahlhäufigkeiten der Antwortmöglichkeiten des sechsten Fragebogenitems	89

ISBN 978-3-7376-5004-5



9 783737 650045 >