

Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Gymnasien,
eingereicht der Prüfstelle Darmstadt des Landesschulamtes

Thema:
Schülervorstellungen irritieren –
Eine didaktische Rekonstruktion des Themas Stromkreise

Fachbereich in dem die Hausarbeit geschrieben wurde:
Physik

Name der Verfasserin:
Safiye Celik

Schülervorstellungen irritieren - Eine didaktische Rekonstruktion des Themas Stromkreise

Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Gymnasien

Safiye Celik

Lehramt an Gymnasien, Mathematik und Physik

Matrikel-Nr: 1507829

safiyecelik@gmx.de



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT**

Fachbereich Physik

Darmstadt, den 1. Dezember 2014

Prüfer: Erik Kremser

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Sämtliche aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht.

Darmstadt, den 1. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Forschungsvorhaben.....	1
1.2. Zum Aufbau der Arbeit.....	2
2. Das Begründen der Forschungsmethode.....	3
2.1. Beschreibung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion.....	4
2.2. Die fachliche Klärung.....	6
2.3. Die empirische Erhebung von Schülervorstellungen.....	9
2.4. Die didaktische Strukturierung.....	11
3. Die fachliche Klärung.....	14
3.1. Konzeption der fachlichen Klärung.....	14
3.2. Die Sachanalyse.....	18
3.3. Ergebnisse der fachlichen Klärung.....	28
3.4. Folgerungen für die Didaktische Strukturierung.....	30
4. Erhebung der Schülervorstellungen.....	32
4.1. Allgemeine Präkonzepte.....	32
4.1.1. Die Entstehung von Präkonzepten.....	33
4.1.2. Der Einfluss der Präkonzepte auf das Verstehen und das Lernen.....	35
4.1.3. Die Charakteristika von Präkonzepten.....	38
4.1.4. Zur Rolle der Präkonzepte beim Lernen der Physik.....	40
4.1.5. Wissen über Präkonzepte hat Vorteile für den Lehrer und Unterricht.....	43
4.1.6. Unterrichtsstrategien zum Umgang mit Präkonzepten.....	45
4.2. Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre.....	50
4.2.1. Die Entstehung der Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre.....	52
4.2.2. Die Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre.....	53
4.2.3. Die Struktur in den Schülervorstellungen.....	63
4.2.4. Folgerungen für den Physikunterricht.....	65

5. Die didaktische Strukturierung- Das Entwickeln eines Unterrichtskonzepts.....	68
5.1. Begründung des Einsatzes von Analogiemodellen im Physikunterricht.....	69
5.2. Beispiele von Analogiemodellen.....	72
5.2.1. Vorstellen der Analogiemodelle.....	72
5.2.2. Vergleich der Analogiemodelle.....	75
5.3. Das neue Unterrichtskonzept.....	75
5.3.1. Didaktische Strukturierung des neuen Analogiemodells.....	77
5.3.2. Das Fruchtsaftmodell.....	79
5.3.3. Diskussion des Fruchtsaftmodells.....	81
6. Fazit.....	84
6.1. Ergebnisse der Arbeit.....	85
6.2. Diskussion der Ergebnisse.....	86
6.3. Ausblick.....	87
Persönliche Erkenntnisse.....	92
7. Literaturverzeichnis.....	94
8. Anhang.....	99

1 Einleitung

1.1. Forschungsvorhaben

Zur Einleitung in das Thema der vorliegenden Arbeit wird zunächst einmal die Forschungsfrage formuliert, bevor der aktuelle Stand der Forschung bezüglich des Forschungsvorhabens dargelegt wird. Es wird in diesem Zusammenhang in erster Linie verdeutlicht, an welchen Punkt der Forschung diese Arbeit ansetzt und aus welchem Anlass heraus sich die Forschungsfrage überhaupt ergeben hat.

Die Erfahrungen im Rahmen einer Lehrtätigkeit an einer Schule zeigten, dass die Elektrizitätslehre den Schüler/innen große Schwierigkeiten bereitet. Es war im Klassenzimmer immer wieder deutlich zu erkennen, dass sie der physikalischen Sichtweise widersprüchliche Vorstellungen besitzen. Ferner wurde aus Interesse im Privaten in Gespräche eingeleitet, aus denen ersichtlich wurde, dass die gleichen Vorstellungen, wie sie bei den Schüler/innen vorhanden waren, auch in der Gesellschaft weit verbreitet sind. Dies motivierte dazu, in dieser Arbeit die Zielstellung zu verfolgen, ein Unterrichtskonzept didaktisch zu rekonstruieren, das die lernhinderlichen Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre irritiert.

Dieses Unterrichtskonzept sollte möglich früh in der Elektrizitätslehre eingesetzt werden, damit die außerschulischen Vorstellungen in Betracht gezogen werden. Der aktuelle Stand der Forschung bestätigt das Vorhandensein vorunterrichtlicher Vorstellungen. In vielen Physikfachdidaktikbüchern¹ werden diese Schülervorstellungen bereits thematisiert. Es ergeben sich daraus die nachstehenden Forschungsfragen:

- Können Schülervorstellungen irritiert werden, so dass ihr für den Unterricht lernhinderlicher Aspekt verringert wird?
- Wenn es möglich ist, die Schülervorstellungen zu irritieren, kann für diesen Zweck ein Unterrichtskonzept entwickelt werden?

In der recherchierten Literatur sind Versuche zu Unterrichtskonzepten zu finden, die das Lernen der Elektrizitätslehre begünstigen sollen. Das Forschungsvorhaben im Rahmen dieser Arbeit erforderte jedoch ein einfaches Konzept oder einen Unterrichtsgegenstand, das bzw. der den Lehrinhalt den Schüler/innen näherbringt,

¹ vgl. z.B. Wiesner (2003)/ Bleichroth et al. (1999),

leicht zugänglich ist sowie sie motiviert und die Zusammenhänge des elektrischen Stromkreises vereinfacht darstellt. Es sollte zudem ein Unterrichtsgegenstand sein, der erweiterbar ist, um auf möglichst viele Schülervorstellungen eingehen zu können.

1.2. Zum Aufbau der Arbeit

Die Forschungsschritte, die zum verlangten Unterrichtskonzept führen, ergeben sich durch das Modell der didaktischen Rekonstruktion. Merkmal dieses didaktischen Modells ist es, dass den Schülervorstellungen die gleiche Bedeutung zugeordnet wird wie den Vorstellungen der Wissenschaftler. Im zweiten Kapitel werden das Modell und seine drei Elemente im Einzelnen erläutert. Die fachliche Klärung der wissenschaftlichen Perspektive stellt eines dieser Elemente dar. Im Rahmen dieser Arbeit soll die fachliche Klärung, die in Kapitel 3 durchgeführt wird, die wissenschaftliche Sichtweise des Lehrinhalts der Stromkreise liefern.

Im darauffolgenden Abschnitt werden zunächst die allgemeinen Schülervorstellungen und im Anschluss daran schließlich jene Vorstellungen bezüglich des Stromkreises recherchiert. Die Ergebnisse werden im 4. Kapitel präsentiert.

Im letzten Teil dieser Abhandlung auf der Basis der Erkenntnisse der vorherigen Kapitel ein Analogiemodell begründet. Die an dieser Stelle durchgeführte didaktische Strukturierung fungiert als die dritte Komponente des Modells der didaktischen Rekonstruktion. Hierzu werden auch durch die kritische Betrachtung ähnlicher Analogiemodelle Hinweise für das neue Modell abgeleitet. Abgerundet wird diese Ausarbeitung mit der Diskussion der Ergebnisse und das Darlegen der Grenzen sowie einen Ausblick für die Forschung.

2 Das Begründen der Forschungsmethode

Die Forschungen und Analysen in dieser Arbeit sollen zum Entwickeln eines Unterrichtskonzepts dienen, das sich an den Vorstellungen der Schüler/innen anknüpft und ansatzweise eine Umdeutung dieser ermöglicht. Jene vorunterrichtlichen Vorstellungen, welche die Schüler/innen mit in den Unterricht bringen, beeinflussen das Lernen in vielerlei Hinsicht, wie es im weiteren Verlauf der Arbeit dargelegt wird. Aus diesem Grund ist es wichtig, beim Entwerfen eines Unterrichtskonzepts den Schülervorstellungen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. In dem geplanten Unterrichtskonzept liegt der Schwerpunkt auf den Analogiemodellen von Stromkreisen. Sie sollen durch die Versinnbildlichung den Inhalt der Elektrizitätslehre vermitteln und somit das Verstehen der Inhalte, trotz des Vorhandenseins von individuellen Schülervorstellungen, erleichtern.

Mit Hilfe des Modells der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. (1997)) kann ein derartiges Unterrichtskonzept auf die Beine gestellt werden. Demnach muss zunächst der physikalische Inhalt, der in den Lehrbüchern vorgestellt und als Grundlage für den Unterricht verwendet wird, geklärt werden. Dabei wird bestimmt, welche Inhalte zum einen als „vermittlungswert“ für die Schüler/innen angesehen werden können, und zum anderen, inwieweit die dargestellten fachlichen Inhalte als konsistent und adäquat gewertet werden können. Außerdem soll untersucht werden, wo sich Unstimmigkeiten und Inkonsistenzen aufzeigen lassen, die den Lernenden das Verstehen und den Zugang zu dieser Thematik erschweren. Es soll ferner analysiert werden, in welchen Aspekten der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Sichtweise für die Schüler/innen lernförderlich oder lernhinderlich ist. Die Erkenntnisse aus der Klärung der physikalischen Lehrinhalte sollen den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden gegenübergestellt werden. Die Analyse dieser beiden Gesichtspunkte, ihre Schnittstellen und Abweichungen voneinander liefern grundlegende Hinweise auf die didaktische Strukturierung.

Für die Erreichung meines methodischen Vorgehens eignet sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion, da das Kennzeichen des Modells die gleichberechtigte Berücksichtigung der fachlichen Perspektiven wie auch der Perspektiven der Lernenden ist.² In dem Modell orientiert sich der für den Unterricht geplante Inhalt

² Kattmann et al. (1997), S.6

an den Vorstellungen der Lernenden. Den Vorstellungen der Lernenden wird ein hoher Stellenwert zugeschrieben, darüber hinaus bietet das Modell der didaktischen Rekonstruktion einen theoretischen Rahmen zur fachdidaktischen Strukturierung des Schulunterrichts.³ Im weiteren Verlauf des Kapitels wird nun das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in ihren Grundzügen vorgestellt und es wird die Anwendung des Modells auf die vorliegende Forschungsfrage präsentiert.

2.1. Beschreibung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion

In der Fachliteratur werden physikalische Inhalte dargestellt, bei welchen die innerfachlichen Bezüge nicht deutlich ausgeführt werden, da diese für die diskutierenden Wissenschaftler selbstverständlich sind. Zum einen aus diesem Grund und zum anderen angesichts der Tatsache, dass die fachlichen Inhalte im Schulunterricht in umweltbezogene, gesellschaftliche und individuelle Zusammenhänge eingebettet werden müssen, werden innerhalb des Modells der didaktischen Rekonstruktion die fachlichen Vorstellungen mit Schülerperspektiven in Beziehung gesetzt.⁴ Zur Entwicklung eines Unterrichtsgegenstands wird eine enge Verknüpfung von fachlichen Inhalten und Schülervorstellungen eingefordert. Dank der gleichwertigen Beachtung beider Aspekte und des wechselseitigen Bezugs aufeinander lässt sich daraus ein Unterricht konstruieren (z.B. Unterrichtsprinzipien, -leitlinien und -elemente). Schülervorstellungen bilden demnach eine wesentliche Basis für das schulische Lernen. Da der Unterrichtsinhalt nicht nur aus der Fachliteratur vorgegeben werden kann und die didaktische Analyse, wie bereits oben geschildert wurde, überaus komplex ist, muss der Unterrichtsinhalt didaktisch rekonstruiert werden. Vor diesem Hintergrund geht es in dem Modell um eine wissenschaftliche Arbeit, die bisher nicht als eine wissenschaftliche Aufgabe angesehen wurde.⁵

Kattmann zufolge umfasst die didaktische Rekonstruktion „sowohl das Herstellen pädagogisch bedeutsamer Zusammenhänge, das Wiederherstellen von Wissenschafts- und Lehrbetrieb verloren gegangenen Sinnbezüge, wie auch den Rückbezug auf Primärerfahrungen sowie auf originäre Aussagen der

³ Wiesner (2003), S.76

⁴ Kattmann et al. (1997), S.3

⁵ Kattmann (2007), S.94

Bezugswissenschaft.“⁶ Das Kennzeichen des Modells ist demnach die Interdependenz zwischen den didaktischen und fachlichen Aspekten.⁷ Im Verlauf des Prozesses der didaktischen Rekonstruktion beeinflusst die fachliche Klärung den Umgang mit den Vorstellungen der Lernenden, doch auch umgekehrt beeinflussen die Schülervorstellungen das Verständnis und die Darstellung der fachlichen Position. Des Weiteren gibt die didaktische Strukturierung von Beginn an die Auswahl der fachlichen Inhalte und den zu erfassenden Bereich von Schülervorstellungen vor.⁸ Diese drei wechselwirkenden Komponenten bilden das Modell der didaktischen Rekonstruktion.

Primäres Ziel dieses Modells ist eine forschungsgestützte Entwicklung des Unterrichts.⁹ Aus diesem Grund werden darin die drei Untersuchungsfragen aufeinander bezogen, informieren und fördern sich gegenseitig innerhalb eines rekursiven sowie iterativen Prozesses der Forschung. Sie stehen in Wechselwirkung zueinander¹⁰, was impliziert, dass es stets zwischen den Forschungskomponenten gewechselt und jede so weit bearbeitet wird, wie es die anderen Forschungsergebnisse jeweils erlauben. Daher bezeichnet Kattmann dieses Modell als eine praktische Theorie, zumal die Ergebnisse der jeweiligen Untersuchungen von Anfang an die Forschung wie auch die Auswertungen mit bestimmen.¹¹ Seine Aufgabenbereiche leiten das wissenschaftliche Arbeiten in den drei Bereichen der analytischen, empirischen und konstruktiven Aufgaben an. Bei der fachlichen Klärung handelt es sich um eine hermeneutisch-analytische, bei der Untersuchung der Schülervorstellung um eine empirische und bei der didaktischen Strukturierung schließlich um eine konstruktivistische Forschungsaufgabe.¹² Diese Komponenten werden im weiteren Verlauf dieser Abhandlung noch im Detail erläutert.

Der vollständige Untersuchungsablauf ist in Abbildung (Abb.1) visualisiert. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen folgend die ersten Schritte des gesamten Untersuchungsablaufs darstellen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die ersten Untersuchungen zur Inhaltanalyse der Sachstruktur und der Erhebung der

⁶ Kattmann et al. (1997), S.4

⁷ Kattmann et al. (1997), S.5

⁸ Kattmann et al. (1997), S.5

⁹ Heinicke (2011), S.25

¹⁰ Kattmann et al. (1997), S.13/14

¹¹ Kattmann (2007), S.101

¹² Kattmann et al. (1997), S.10

Schülervorstellungen zusammen mit den ersten Versuchen zur Konstruktion des Unterrichts realisiert.

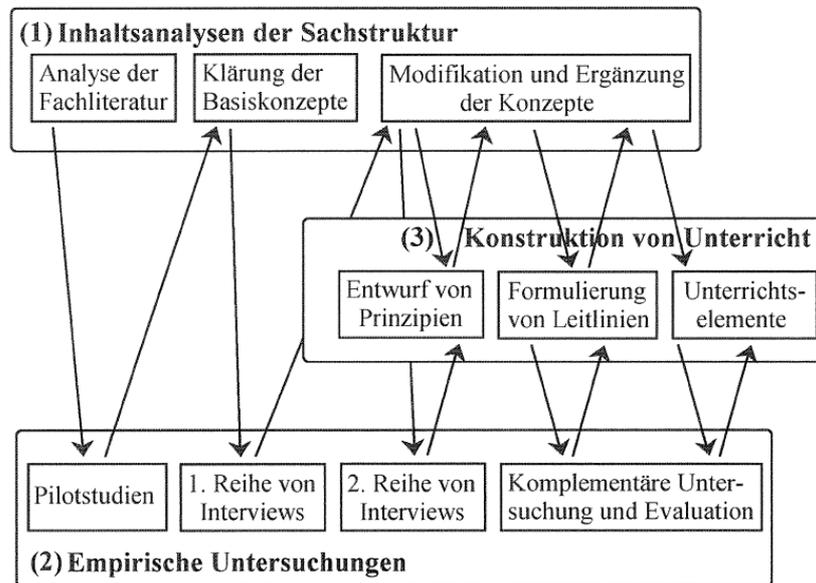


Abbildung 1: Untersuchungsablauf: Iterative Abfolge der Forschungsschritte von Kattman et al. (1997), S.13

2.2. Die fachliche Klärung

Bezüglich der Unterrichtsvorbereitung schaffen die fachwissenschaftlichen Vorstellungen und Methoden die Grundlage für den Lehrinhalt. Diesbezüglich wird davon ausgegangen, dass in den Lehrbüchern aufgeführte Sachverhalte umstandslos zu entnehmen sind, obwohl die fachlichen Darstellungen im Prinzip oftmals persönliche Sichtweisen von Wissenschaftlern darstellen.¹³ Kattmann et al. unterstreicht in diesem Zusammenhang, dass in den wissenschaftlichen Lehrbüchern außerdem innerfachliche Bezüge und historische Verständnisse unerkannt bleiben können.¹⁴

Aus diesen Gründen sei es im Weiteren notwendig, dass die fachwissenschaftlichen Inhalte fachdidaktisch untersucht werden, da dies eine überfachliche und zwischenfachliche Perspektive auf physikalische Inhalte ermöglicht.¹⁵ Eine derartige Perspektive könnte aufgrund der distanzierten Betrachtung des Gegenstandes einen

¹³ Kattmann (2007), S.95

¹⁴ Kattmann et al. (1997), S.3

¹⁵ Kattmann et al. (1997), S.11

Gesamtüberblick des physikalischen Inhalts und einen Blick auf bisher unerkannte Details eröffnen. Die fachliche Klärung, die eine der drei Komponenten der didaktischen Rekonstruktion darstellt, beabsichtigt die Untersuchung und Strukturierung der fachlichen Theorien zu einem Thema unter Vermittlungsabsicht mit fachdidaktischen Methoden.¹⁶

Die Sachstruktur des fachwissenschaftlichen Gegenstands, d.h. die Theorien und Konzepte der Fachwissenschaft, eignet sich aufgrund ihrer bekannten Allgemeinheit und Abstraktheit nicht für den Schulunterricht. Resultierend daraus wird in der fachlichen Klärung die Sachstruktur der Wissenschaft analysiert und durch die Elementarisierung den Fähigkeiten der Lernenden angepasst. Die Sachstruktur wird im Hinblick auf die didaktischen Voraussetzungen und für die jeweilige Lerngruppe rekonstruiert.

In diesem Kontext ist die Elementarisierung der Sachstruktur nicht nur als eine „Vereinfachung“ zu verstehen, sondern vielmehr geht es darum, grundlegende Ideen der Lehrgegenstände so herauszuarbeiten, dass die „fachliche Zulässigkeit“ und die „Erlenbarkeit“ ein ausgewogenes Ganzes bilden.¹⁷ Nach der Auffassung von Bleichroth et al. sind im Prozess der Elementarisierung drei unterschiedliche Aspekte enthalten. Der erste Aspekt ist durch die didaktische Reduktion der fachlich beschriebenen Sachverhalte gekennzeichnet. Ein zweiter Aspekt erklärt, dass durch die Elementarisierung die Grundideen oder die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der fachlichen Inhalte dargelegt werden. Im dritten Aspekt der Elementarisierung wird der fachwissenschaftliche Gegenstand in Unterrichtselemente zerlegt. Hierbei sollen der Inhalt und die Abfolge der einzelnen Unterrichtsabschnitte derart konzipiert werden, dass sie die Wissensvermittlung für die Lernenden begünstigen.¹⁸ Die hier beschriebenen ersten zwei Aspekte, die didaktische Reduktion auf das Lernendenniveau sowie das Herausarbeiten der Grundideen, werden in dem Modell der didaktischen Rekonstruktion als ein Prozess der Elementarisierung in der fachlichen Klärung umgesetzt.¹⁹

Während der fachlichen Klärung werden die in den Lehrwerken verwendeten Theorien, Methoden, Termini, Denkfiguren und Konzepte unter der

¹⁶ Kattmann et al. (1997), S.11

¹⁷ Kattmann et al. (1997), S.9

¹⁸ Bleichroth et al. (1999), S.109ff.

¹⁹ Kattmann et al. (1997), S.9

Vermittlungsabsicht kritisch untersucht.²⁰ Hierzu schlagen Kattmann et al. einige typische Fragen vor, die zur fachlichen Klärung des gegenwärtigen Stands der Theoriebildung zu einem Thema herangezogen werden können:

- „ - Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu diesem Thema vor, und wo zeigen sich deren Grenzen?
- Welche Genese, Funktion und Bedeutung haben die fachlichen Begriffe, und in welchem Kontext stehen sie jeweils?
- Welche Fachwörter werden verwendet, und welche Termini legen durch ihren Wortsinn lernhinderliche bzw. -förderliche Vorstellungen nahe? “²¹

Die fachliche Klärung erfüllt nach Heinicke methodisch eine hermeneutisch-analytische Untersuchungsaufgabe und orientiert sich diesbezüglich an der sozialwissenschaftlichen Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring, die von Gropengießer für die Fachdidaktik adaptiert wurde.²² Nach Kattmann et al. setzt sich der Ablauf der Untersuchung aus den Schritten *Zusammenfassen*, *Explikation* und *Strukturierung* zusammen. Dabei lässt sich das Vorgehen der fachlichen Klärung kaum dogmatisch durchhalten und kann allein zur Orientierung dienlich sein, ohne dogmatisch verfolgt zu werden. Zur Analyse können Lehrbücher wie auch wissenschaftsgeschichtliche Monographien herangezogen werden.²³

In der fachlichen Klärung, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wird, liegt der Schwerpunkt der Analyse der universitären Lehrbücher auf den lernhinderlichen oder förderlichen Begriffen und Konzepten. Es wird konkret untersucht, inwieweit die Fachliteratur bei der Konstruktion der Schülervorstellungsvorstellungen bei eben diesen Schüler/innen einen Einfluss impliziert. Die Ergebnisse der Analyse soll folgend zum Extrahieren und Rekonstruieren der aus didaktischer Sicht vermittlungswerten Grundideen genutzt werden. Für eine ausführliche Erläuterung der Vorgehensweise und Absicht der fachlichen Klärung wird auf Kapitel 3 verwiesen.

²⁰ Kattmann et al. (1997), S.11

²¹ Kattmann et al. (1997), S.11

²² Heinicke (2011), S.40

²³ Kattmann et al. (1997), S.11

2.3. Die empirische Erhebung der Schülervorstellungen

Die empirische Aufgabe des Modells der didaktischen Rekonstruktion ist die Erhebung der Schülervorstellungen.²⁴ In diesem Zusammenhang sind mit den Vorstellungen kognitive Konstrukte verschiedener Komplexitätsebenen, wie z.B. Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien gemeint.²⁵ Außerdem seien gemäß der Fachliteratur unter den Vorstellungen der Lernenden nicht nur die fachlichen Kenntnisse über ein bestimmtes Thema zu verstehen, sondern ebenso ihre persönlichen Konstrukte, die sie durch ihre Alltagserfahrungen²⁶, wie zum Beispiel Stromverbrauchsvorstellung²⁷, individuell konstruieren.²⁸ Als Erfahrungen bezeichnet Gropengießer jenen Vorgang, in welchem das Interagieren mit der physischen und sozialen Umwelt stattfindet.²⁹

Es ist von großer Bedeutung, dass die Schülervorstellungen nicht als Lernhindernisse, sondern Lernvoraussetzungen akzeptiert und genutzt werden.³⁰ Somit wird zudem die Aufgabe der empirischen Erhebung innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion klar ersichtlich, nämlich den notwendigen Ausgangspunkt des Lernens festzustellen.³¹ Darüber hinaus erlaubt es diese empirische Forschung über Präkonzepte, die Frage zu beantworten, welche didaktischen Ziele erreicht werden können und welche der vermittlungswerten Inhalte vermittelbar sind.³²

Die Schülervorstellungen werden auf die wissenschaftlichen Anschauungen bezogen, um die unterschiedlichen Sichtweisen einsehbar zu machen. Mit der Intention, die beiden Perspektiven leichter in Relation setzen zu können, werden die ermittelten Schülervorstellungen zu Kategorien zusammengefasst, die eine bestimmte Denkstruktur oder Vorstellung beschreiben.³³ Dazu werden nur jene Aussagen in Betracht genommen, in welchen die Strukturen und Qualität der Vorstellungen der Lernenden erkennbar sind. Wie oft eine Vorstellung unter den Lernenden vorkommt,

²⁴ Kattmann (2007), S.95

²⁵ Kattmann et al. (1997), S.11

²⁶ vgl. Kapitel 4

²⁷ v. Rhöneck (2011), S.167

²⁸ Kattmann (2007), S.96

²⁹ Gropengießer (2007), S.111

³⁰ vgl. Kap. 4

³¹ Kattmann et al. (1997), S.15

³² Heinicke (2011), S.37

³³ Kattmann et al. (1997), S.12

also die Quantität, spielt dabei keine signifikante Rolle.³⁴ Kattmann verdeutlicht diese Methode mithilfe der folgenden Metapher: „Es soll die Konstruktion einzelner Denkgebäude untersucht werden, und nicht die mittlere Häufigkeit bestimmter Bausteine in den Denkgebäuden von Personen.“³⁵

Angesichts des Umstandes, dass die Aussagen der Lernenden als persönliche Konstrukte angenommen werden, sollen diese in ihrem konzeptuellen Rahmen und Kontext als sinnvoll und stimmig angesehen werden. Sind in den Schüleraussagen Widersprüchlichkeiten vorhanden, seien diese auf das unvollkommene Verstehen der Interpretierenden zurückzuführen.³⁶ Deshalb werden zur Erhebung der Schülervorstellungen methodisch vorwiegend problemzentrierte offene Interviews oder ausführliche Fragebögen³⁷ eingesetzt, um auch das kognitive Konstrukt des Lernenden zu identifizieren.³⁸

Die typischen Fragen, an denen man sich bei der Erhebung von Schülervorstellungen orientieren kann, lauten wie folgt:

- „- Welche Vorstellungen entwickeln Schüler in fachbezogenen Kontexten?
- In welche größeren Zusammenhänge ordnen die Lernenden ihre Vorstellungen ein?
- Welche Erklärungsmuster und Wertungen (Denkfiguren, Grundgedanken, Theorien) wenden sie an?
- Welche Erfahrungen liegen den Vorstellungen der Lernenden zugrunde?
- Welche Vorstellung haben Lernende von Wissenschaft?
- Welche Korrespondenzen zwischen lebensweltlichen Vorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen sind erkennbar?“³⁹

Im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung wird für die empirische Erhebung der Schülervorstellungen auf publizierte Forschungsergebnisse zurückgegriffen. Anstatt eine eigene empirische Befragung der Lernenden durchzuführen, wird eine systematische Recherche des aktuellen Forschungsstandes vorgenommen. Diese

³⁴ Kattmann et al. (1997), S.12

³⁵ Kattman (2007), S.101

³⁶ Kattmann et al. (1997), S.11

³⁷ vgl. Fragebogen von Urban-Woldron und Hopf (2012)

³⁸ Kattmann et al. (1997), S.12

³⁹ Kattmann (2007), S.93

Befunde werden eigenständig systematisiert und nach relevanten Strukturmerkmalen in Kapitel 4 dargestellt.

2.4. Die didaktische Strukturierung

Die didaktische Strukturierung ist der Planungsprozess eines Unterrichtskonzepts, dessen Grundlage die Verknüpfung der Ergebnisse der fachlichen Klärung mit denen der Erhebung von Schülervorstellungen bildet.⁴⁰ Es soll ein wechselseitiger Vergleich zwischen der fachwissenschaftlichen Perspektive und der Perspektive der Schüler/innen durchgeführt werden. Ausgehend von den Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschieden der beiden Perspektiven sollen als Ergebnis zum einen die Charakteristika der jeweiligen Perspektiven deutlich hervortreten, zum anderen sollen die lernförderlichen Übereinstimmungen und voraussehbaren Lernschwierigkeiten erkennbar werden.⁴¹ Die Untersuchungsergebnisse werden dabei „gleichwertig behandelt“⁴², was bedeutet, dass die Erkenntnisse der jeweiligen Forschungen aus der anderen Perspektive unter Vermittlungsabsicht bewertet werden. Die fachlichen Aspekte fungieren demzufolge in der didaktischen Strukturierung als nicht leitend und normsetzend.⁴³ Die Schülervorstellungen sollen als eine Gegebenheit wahrgenommen werden und die Ergebnisse der fachlichen Klärung markieren den Zielbereich, der im Unterricht erreicht werden soll.⁴⁴ Für die didaktische Strukturierung schlägt Kattmann die folgenden Leitfragen vor:

- „Welches sind die wichtigsten Elemente der Alltagsvorstellungen von Schülern, die im Unterricht berücksichtigt werden müssen?
- Welche unterrichtlichen Möglichkeiten eröffnen sich, wenn die Schülervorstellungen beachtet werden?
- Welche Vorstellungen und Konnotationen sind bei der Vermittlung von Begriffen und der Verwendung von Termini zu beachten?

⁴⁰ Kattmann (2007), S.96

⁴¹ Kattmann et al. (1997), S.12

⁴² Kattmann et al. (1997), S.12

⁴³ Kattmann (2007), S.96

⁴⁴ Kattmann et al. (1997), S.13

-
- Welche der lebensweltlichen Vorstellungen von Schülern korrespondieren mit wissenschaftlichen Konzepten dergestalt, dass sie für ein angemessenes und fruchtbares Lernen genutzt werden können?“⁴⁵

Während der Strukturierung des Unterrichts ist es zielführend, sich an didaktischen Planungsmethoden zu orientieren und das erstellte Unterrichtskonzept abschließend zu untersuchen. Als Unterrichtsziel definiert Kattman, „dass die Lernenden eine Metaposition gegenüber wissenschaftlichen und eigenen Vorstellungen entwickeln können, aus der sie auch ihren eigenen Lernfortschritt beurteilen können.“⁴⁶

Ein Unterrichtsvorschlag, basierend auf den Ergebnissen der fachlichen Klärung und den erarbeiteten Schülerperspektiven, wird in dieser Arbeit zwar präsentiert, er kann jedoch auf keine empirische Untersuchungen gestützt werden, weshalb noch viele Ergänzungen und Umgestaltungen notwendig sein werden. In der folgenden Abbildung (Abb.2) werden die ersten Schritte des Untersuchungsablaufs des Modells der Didaktischen Rekonstruktion illustriert, die in dieser Abhandlung bearbeitet wird. Mittels einer iterativen Abfolge der Forschungsschritte kann der Untersuchungsablauf vervollständigt werden. Das Ergebnis wäre ein Unterrichtskonzept, das sowohl die Schülervorstellungen der Lerngruppe miteinbezieht als auch den erforderlichen fachlichen Lehrinhalt kommuniziert. Ein derartig konstruierter Unterricht, der durch die wechselseitige Interpretation entsteht und über die wiederholte Modifikation und Ergänzungen der Unterrichtskonzepte optimiert wird, erfordert eine weitaus umfangreichere Forschung und einen größeren zeitlichen Aufwand für die empirischen Untersuchungen.

⁴⁵ Kattmann (2007), S.96

⁴⁶ Kattmann (2007), S.96

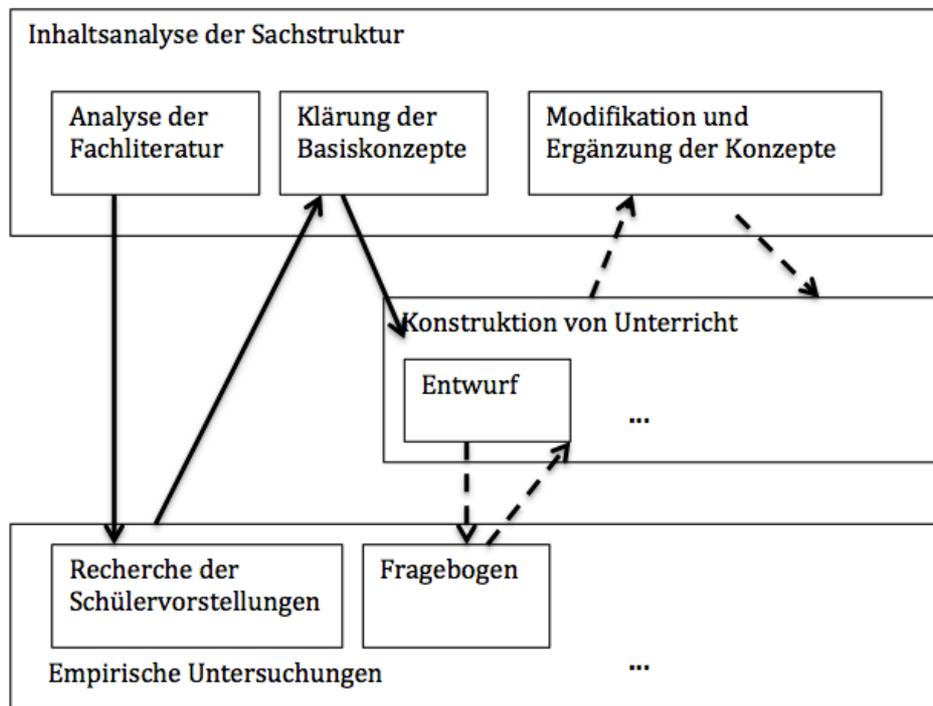


Abbildung 2 : Untersuchungsablauf innerhalb dieser Arbeit / (->-) in Ausblick

3 Die fachliche Klärung

3.1. Konzeption der fachlichen Klärung

Es ist eine Gegebenheit, dass die Schüler/innen von Fehlvorstellungen über elektrische Stromkreise geprägt sind⁴⁷. In der Physikdidaktik sind zahlreiche Studien und Berichte zu finden, in denen diese Fehlvorstellungen untersucht werden.⁴⁸ Im Karlsruher Physikkurs wird beispielsweise wie folgt auf einen besonderen Sachverhalt hingewiesen:

„Oft behalten sie ihre eigenen Vorstellungen bei und deuten die Unterrichtsinhalte nur in diesem Rahmen oder verbinden sie idiosynkratisch mit physikalischen Beschreibungen. Aus der Sicht der Lehrenden erscheinen Schülervorstellungen als Hindernisse auf dem Weg zur physikalischen Begriffsbildung. Dem Physikunterricht gelingt es nur bedingt, Schüler von physikalischen Sichtweisen zu überzeugen“⁴⁹

Einer der größten Auslöser der Schülervorstellungen ist die Alltagssprache, in der aus dem Physikunterricht bekannte Fachbegriffe, unter Berücksichtigung der Sichtweise des Physikers, in einem falschen Wortsinn verwendet werden. Beim Thema Elektrizität bzw. Stromkreise kommen sie noch öfter vor, da sie im Alltag sehr stark versprachlicht sind.

Wie schon im vorangegangenen Kapitel erläutert wurde, wird innerhalb des Modells der didaktischen Rekonstruktion der fachlichen Klärung die Aufgabe zugeordnet, sich mit der komplexen Struktur der Thematik in der Fachliteratur auseinander zusetzen zum einen und die vermittlungswerten Inhalte, unter Berücksichtigung der Randbedingungen⁵⁰ und abgestimmt auf die Lerngruppe, zu elementarisieren zum anderen. Die fachliche Klärung hat an dieser Stelle eine Aufgabe, die weit mehr als die Reduktion des Inhalts erfüllt. Sie sollte deshalb nicht nur als eine Verringerung

⁴⁷ vgl. Kapitel 4.2.

⁴⁸ vgl. dazu die Verweise in den weiteren Kapiteln

⁴⁹ Starauschek (2003), S.39

⁵⁰ Mit den Randbedingungen sind die Merkmale eines guten Unterrichts nach Meyer gemeint. Diese sind z.B. vorbereitete Umgebung, lernförderliches Klima, transparente Leistungserwartung, Methodenvielfalt, etc.

des Abstraktions- und Allgemeinheitsgrads der Themen zu elektrischen Stromkreisen in den universitären Lehrwerken für den Schulunterricht angesehen werden. Für die fachliche Klärung im Sinne der didaktischen Rekonstruktion; lautet die konkrete Forschungsfrage hier, den Einfluss der Fachliteratur bei der Konstruktion von Fehlvorstellungen kritisch zu analysieren. In welchem Maße wirken die Lehrbücher durch angewandte sprachliche Formulierungen, Denkmuster oder Modellvorstellungen, den bei den Schüler/innen vorhandenen Schülervorstellungen entgegen? Gegenteilig kann gefragt werden, ob die Sachstruktur der Lehrwerke die Schülervorstellungen gar fördert. Es könnte der Fall sein, dass Lehrkräfte Begriffe im Unterricht nutzen, ohne sich den mit ihnen verbundenen Assoziationen auseinander zu setzten. Da diese Begriffe sich aus ihrer eigenen Ausbildungsphase heraus verfestigt haben und in den Lehrwerken verwendet wurden, könnte dies der Grund sein, sich keine Gedanken über diese Begriffe zu machen. Das Ergebnis der vorliegenden Analyse soll die Rolle der wissenschaftlichen Perspektive unter dem Aspekt der Schülervorstellungen hervorheben und somit einen Hinweis darauf geben, wie die Fachliteratur bei der Unterrichtskonzeption einzusetzen ist.

Die konkreten Forschungsfragen lauten demnach:

Terminologie: Welche Fachwörter werden verwendet und welche Termini legen durch ihren Wortsinn lernhinderliche bzw. lernförderliche Vorstellungen nahe?

Inhalt: Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu diesem Thema vor? Wie werden die Zusammenhänge und Verknüpfungen innerhalb dieses umfangreichen Themas hergestellt?

Erklärungsmuster und Methode: Welche Erklärungsmuster und Denkfiguren werden verwendet und tragen zu lernhinderlichen bzw. förderlichen Vorstellungen bei? Ist eine bestimmte Vorgehensweise in den jeweiligen Lehrwerken zu erkennen?

In diesem Kapitel werden vor diesem Forschungshintergrund jene Fachtermini, welche für einen Unterricht über Stromkreise für die Sekundastufe I relevant sind im

Einzelnen analysiert. Stützend auf den Lehrplan vom hessischen Kultusministerium⁵¹ wurde die Untersuchung der Begriffe *elektrische Ladung*, *elektrischer Strom*, *Spannung* und *elektrisches Potential*, *elektrischer Widerstand*, *Stromkreis* und *Spannungsquelle/Batterie* als sinnvoll angesehen. In vielen Unterrichtsbeispielen werden den Schüler/innen Modellvorstellungen zu Stromkreisen präsentiert. Wissenswert ist, ob diese oder ähnliche Modelle auch in der Fachliteratur wiederzufinden sind. Darüber hinaus wird darauf geachtet, ob die Lehrwerke die Thematik nach einem eigenen Erklärungskonzept erläutern, da diese Art und Weise wiederum die Lehrerperspektive prägt, zumal sie sich sowohl in der Ausbildungsphase als auch während der Unterrichtsvorbereitungen an diesen Lehrwerken orientieren.

Im Zentrum der Analyse steht die in Bezug auf das Lehramtsstudium relevante Lehrliteratur. Dies impliziert konkret, dass nicht vorgestellt wird, was grundsätzlich an Lehrliteratur vorhanden ist, sondern nur das, was in der aktuellen Ausbildungsphase der zukünftigen Lehrkräfte tatsächlich Anwendung findet. Die Auswahl der zu analysierenden Werke resultiert sowohl aus den Empfehlungen der Lehrenden an der Universität als Experten auf diesem Gebiet, als auch den Interessen der Lehramtsstudierenden als Experten ihres eigenen Lernprozesses. Susanne Heinicke führte für ihre Dissertationsarbeit eine informelle Befragung unter Studierenden und Lehrenden in Schule und Hochschule zu den von ihnen präferierten Werken durch und hat auf dieser Basis eine Liste der Lehrwerke mit hoher Bekanntheit und Verwendungshäufigkeit erstellt.⁵² Auf der Grundlage dieser Forschung ergab sich für diese Arbeit die folgende Zusammenstellung der zu analysierenden Literatur⁵³:

- Demtröder (2008): Experimentalphysik, Band 2: Elektrizität und Optik ,
- Tipler (2007): Physik,
- Gerthsen (Meschede (Hrsg.), 2004): Physik.
- Halliday (2003)

⁵¹ Hessisches Kultusministerium (2010), S.14

⁵² Heinicke, S.84 ff.

⁵³ Die oben genannten Lehrwerke sind meistens unter dem Namen des Erstautors bekannt, deshalb wird der einfachen Lesbarkeit halber im folgenden Text hin und wieder auf die umgangssprachliche Bezeichnung (beispielsweise „im Tipler“ usw.) der Lehrbücher zurückgegriffen.

Im Rahmen der Analyse werden die Analysepunkte nach gemäß Kriterien von Muckenfuß bewertet. Muckenfuß befasst sich mit einer Umgestaltung des Elektrikunterrichts. Sein vorgeschlagener Unterrichtsgang, die Darstellung des Energiestroms als fundamentale physikalische Größe einzuführen, sei von einigen Lehrkräften in der Unterrichtspraxis umgesetzt worden und es ließe sich bestätigen, dass das Entwickeln von Vorstellungen problemloser möglich sei.⁵⁴ Aus diesem Grund hat er bereits eine umfangreiche Analyse des Lehrinhalts der Elektrizitätslehre geleistet und das Ergebnis dieser Forschung ist in dem vorliegenden Material „Neue Wege im Elektrikunterricht“ dargestellt. Dieses soll in der folgenden fachlichen Klärung das Fundament für eine fachdidaktische Sichtweise auf die vorliegenden physikalischen Inhalte der Lehrwerke sowie die traditionelle Terminologie, die in den Lehrwerken zum Einsatz kommt, bilden. Die Ausführungen von Muckenfuß (1997) stellen hier ein normatives und analytisches didaktisches Modell, im Bezug darauf, wie es Terhart (2009) versteht⁵⁵, dar. Im normativen Sinn dienen die Ideen von Muckenfuß als Vorbild oder als Beispiel, an denen man sich orientieren kann und somit die zu analysierenden Aussagen bewerten kann. Im analytischen Sinn ermöglichen die Kriterien von Muckenfuß (1997) die Sachverhalte und Zusammenhänge hervorzuheben und diese zu analysieren. Im Vorgehen der fachlichen Klärung werden zunächst in der Beschreibungsebene die einzelnen Lehrwerke auf die Forschungsfragen hin untersucht.⁵⁶ Im anschließenden Schritt werden die Ergebnisse nach den Kriterien von Muckenfuß gedeutet. In der Abbildung (Abb.3) ist noch mal die Struktur der Konzeption dargestellt.

⁵⁴ Muckenfuß (1997), S. 8

⁵⁵ Terhart (2009), S.130f.

⁵⁶ vgl. auch Tabelle 1 im Anhang



Abbildung 3: Struktur der fachlichen Klärung

3.2. Die Sachanalyse

Aus den Tabellen 1 und 2 im Anhang kann der detaillierte Vergleich entnommen werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Vergleichs deutend dargestellt.

Elektrische Ladung

Zunächst muss für die Schüler/innen die Frage geklärt werden, was sich in den elektrischen Leitern bewegen; bzw. wenn von elektrischen Stromkreisen die Rede ist, was denn in diesem Fall elektrischen Anlagen im Kreis strömt. Die Antwort der Schüler/innen wird „Strom“ lauten. Dies ist aber keine Aussage, aus der erkannt werden kann, ob sie die Vorstellung haben, dass der elektrische Strom bewegte Elektrizität ist oder nicht. In vielen Lehrwerken wird der Strom als eine bewegte Ladung definiert. In der Fachliteratur kommt zuletzt immer mehr die Bezeichnung *elektrische Ladung* vor, die ein Synonym zu dem Begriff *Elektrizitätsmenge* ist.⁵⁷

⁵⁷ Muckenfuß (1997), S.27

In den geläufigsten Lehrwerken wie Tipler, Demtröder, Gerthsen und Halliday ist keine ausführliche Definition des Begriffs *elektrische Ladung* zu finden. In Halliday wird die Stärke der elektrischen Wechselwirkung als elektrische Ladung definiert⁵⁸. Eine gänzlich andere Vorgehensweise wird in dem Lehrwerk von Tipler verfolgt. Darin wird der Freihandversuch, in dem durch das Reiben eines Plastikstabs mit einem Fell die Körper unterschiedlich elektrisch geladen werden, beschrieben und in diesem Kontext angegeben, dass die Elektrizitätsmenge der jeweiligen Körper als elektrische Ladung bezeichnet wird.⁵⁹ Diesbezüglich ist die Bedeutung des Ladungsbegriffs die Quantität, durch welche sich der Körper vom elektrischen Neutralzustand unterscheidet.⁶⁰ Muckenfuß hat ferner die Ansicht, dass der Ladungsbegriff nicht eindeutig definiert sei und ihm in den Lehrbüchern unterschiedliche Bedeutungen zugeschrieben werden, was auch in dem hier durchgeführten Vergleich festzustellen ist. Folglich betrachtet er die Verwendung dieser Ausdrucksweise als Synonym für den Begriff Elektrizität mit Skepsis.⁶¹

In Gerthsen wird anstelle einer Definition lediglich die Beschreibung vorgelegt, dass die Ladungen elektrische Felder in ihrer Umgebung erzeugen.⁶² Anhand dieser Beschreibung ist zu erkennen, dass der Ladungsbegriff im Vergleich zur Definition in Tipler eine andere Bedeutung aufweist. Nach Muckenfuß würde man in den Beschreibungen in Tipler unter Ladungen mikrophysikalische Ladungsportionen verstehen, die auf Quasi-Körperchen⁶³ sitzen, oder mit dieser Beschreibung von Ladungen werden die Elektronen, Protonen oder Ionen selbst erfasst.⁶⁴ Die dritte Bedeutung, die dem Ladungsbegriff nach Muckenfuß zugeordnet wird, werde durch die Antwort auf die Frage „Woraus besteht die Ladung des Körpers?“ erhalten. Sie besteht aus negativer oder positiver Ladung. In der Konsequenz dieser Antwort ist mit Ladung die Art der Substanz gemeint, mit der der elektrische Neutralzustand verändert wurde.⁶⁵ Der letzte beschriebene Wortsinn konnte in den untersuchten Lehrwerken hingegen nicht aufgefunden werden.

⁵⁸ Halliday (2003), S.624

⁵⁹ Tipler (2007), S.642

⁶⁰ Muckenfuß (1997), S.28

⁶¹ Muckenfuß (1997), S.28f.

⁶² Gerthsen (2004), S.293

⁶³ gemeint sind damit Teilchen einer atomaren Theorie der Elektrizität

⁶⁴ Muckenfuß (1997), S.29

⁶⁵ Muckenfuß (1997), S.28

Dass zwei Arten von Ladungen existieren und die Eigenschaften der Ladung, dass sie z.B. eine Erhaltungsgröße und quantisiert ist, wird in allen Lehrwerken ohne signifikante Abweichungen voneinander thematisiert. Ebenso wird in allen der untersuchten Fachliteraturen, bis auf Gerthsen, darauf hingewiesen, dass Ladung analog wie Masse; eine intrinsische Eigenschaft der Elektronen und an massive Teilchen gebunden ist. Mit diesen Beschreibungen kommen die Erklärungsversuche der Lehrwerke mit den Formulierungsvorschlägen und dem Umfang der inhaltlichen Aussagen von Muckenfuß auf einen gemeinsamen Nenner. Muckenfuß bezieht sich bei der Formulierung des Ladungsbegriffs auf die historische Bedeutungsentwicklung:

„Neutrale Körper enthalten beide Elektrizitätssorten, sind aber ungeladen und tragen daher keine Ladung. Ladung bezeichnet die Elektrizitätsmenge, die einen Körper vom Neutralzustand unterscheidet, hat also kein Vorzeichen.

(...) Ionen tragen z.B. eine Ladung mit dem n-fachen Betrag der kleinstmöglichen Elektrizitätsportion. (...)

In diesem Punkt unterscheiden sich Elektronen und Protonen von den Ionen. Sie tragen immer genauso viel Ladung, wie sie negative bzw. positive Elektrizität enthalten. Nur bei Elektronen und Protonen wäre also ein synonyme Gebrauch der Begriffe Ladung und Elektrizität zu rechtfertigen.

Die mikrophysikalischen Quasi-Körper selbst werden nicht als Ladungen sondern als „Ladungsträger“ bezeichnet.“⁶⁶

Muckenfuß vertritt die Meinung, dass es für die richtige Vorstellung zur Elektrizitätsleitung von großer Relevanz sei, dass gelehrt werde, dass elektrische Ladung sich durch Kräfte auf andere Körper bemerkbar macht und sich mit gleichartiger Elektrizität geladene Körper abstoßen, mit ungleichartiger dagegen anziehen.⁶⁷ In Demtröder wird allein angeführt, dass die zwei Ladungsarten sich durch ihre Kraftwirkungen aufeinander unterscheiden.⁶⁸ In Unterstützung der Meinung von Muckenfuß, wird in Tipler und Gerthsen⁶⁹ das Coulombsche Gesetz wie folgt eingeführt: „Die Kraft, die von einer Punktladung auf eine andere ausgeübt wird, wirkt längst der Verbindungslinie zwischen zwei Ladungen. Sie ändert sich

⁶⁶ Muckenfuß (1997), S.29

⁶⁷ Muckenfuß (1997), S.81

⁶⁸ Demtröder (2004), S.1

⁶⁹ Gerthsen (2004), S.295

umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands der Ladungen und proportional zum Ladungsprodukt. ...“⁷⁰. In Gerthsen wird allerdings noch eine weitere Eigenschaft der elektrischen Ladungen aus dem Gesetz gefolgert, die den relevanten inhaltlichen Rahmen für den Schulunterricht überschreitet. Beachtenswert ist, dass in Halliday die Erläuterung, dass sich die „Körnigkeit“ der Elementarladungen im Makroskopischen nicht zeigt, durch die Analogie der Wassermoleküle im Wasserstrahl verdeutlicht wird.⁷¹ Des Weiteren werden in diesem Lehrbuch weitere Hinweise auf Formulierungen gegeben, wie etwa „Übertragene Ladungsmenge“ oder „die von einem Elektron getragene Ladung“⁷², damit bei den Schüler/innen keine Fehlvorstellungen über elektrische Ladungen hervorgerufen werden.⁷³ Ähnliche Erklärungsmuster sind in den anderen betrachteten o.g. Lehrwerken nicht zu finden.

Elektrischer Strom

In der Mehrzahl der untersuchten Lehrwerke ist der elektrische Strom als Ladungsfluss bzw. Ladungstransport definiert. In Halliday wird nochmals darauf hingewiesen, dass nicht jede Bewegung von den Ladungen ein elektrischer Strom sei, denn es sei ausschlaggebend, dass bei dem Elektronenstrom durch eine Fläche ein effektiver Ladungstransport stattfinde. Bei einem Potentialgleichgewicht fließe in einer Leiterschleife kein Strom, obwohl sich freibewegliche Elektronen in dem Leiter befänden. Herrsche nämlich ein Gleichgewicht, so existiere kein elektrisches Feld und auf die Teilchen werde keine Kraft ausgeübt.⁷⁴ Die Differenz zwischen der mittleren Geschwindigkeit der Ladungsträger und der Driftgeschwindigkeit in einem Leiter wird in Tipler thematisiert. Für das Verständnis des Unterschiedes wird das Beispiel der Luftmoleküle übernommen, deren Momentangeschwindigkeit nicht wahrgenommen wird, sobald kein Wind mehr weht. Weht hingegen ein kleiner Wind, so überlagert sich eine geringe Geschwindigkeitskomponente mit der Momentangeschwindigkeit und die Bewegung der Luftmoleküle wird verspürt.⁷⁵

⁷⁰ Tipler (2007), S. 647

⁷¹ Halliday (2003), S.635

⁷² Halliday (2003), S.635

⁷³ hierzu gibt es kein Kriterium von Muckenfuß, da es aber ein Erklärungsmuster ist, welches in den anderen Lehrwerken nicht zu finden ist, sollte es hier genannt werden.

⁷⁴ Halliday (2003), S.752f.

⁷⁵ Tipler (2007), S. 782f.

Auch Muckenfuß vertritt dazu die Auffassung, dass die Schüler/innen über diesen Sachverhalt, innerhalb der gesamten Unterrichtseinheit, informiert werden sollten.⁷⁶ Obwohl in drei der vier untersuchten Fachliteraturwerke die Stromrichtung explizit genannt und als Flussrichtung der positiven Ladungsträger konkretisiert wird, geht Muckenfuß auf die Relevanz dieses Themas nicht weiter ein. Übereinstimmend heißt es in sämtlichen überprüften Lehrwerken, dass die Stromstärke der Fluss der freien Ladungen pro Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters ist. In Demtröder wird die Definition von Ampere detaillierter wie folgt formuliert:

Definition von Ampere: „1A= Stärke eines zeitlich konstanten Stromes, der durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1m voneinander angeordnete unendlich lange, dünne Leiter fließt und zwischen diesen Leitern eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N je m Leitungslänge bewirkt.“⁷⁷

Jedoch kritisiert Muckenfuß die Verwendung des Begriffs der Stromstärke, da damit das Risiko verbunden sei, dass die Unterscheidung vom Spannungsbegriff nicht klar werde.⁷⁸ In dem Kapitel Fehlvorstellungen in der Elektrizitätslehre wird auf die Gefahr und die Differenzierung dieser Begriffe näher eingegangen.

Muckenfuß erläutert den Aspekt des konstanten Stroms als einen Gleichgewichtszustand. Die Elektrizität muss durch die Quelle ständig angetrieben werden, weil ihre Bewegungen im Leiter durch Bewegungswiderstände gehemmt werden und die Strömung das Resultat dieses Gleichgewichtszustandes. Zur Veranschaulichung liefert er das Beispiel des Fahrradfahrens. Mit dem Fahrrad wird eine gleichmäßige Geschwindigkeit erreicht, wenn es genauso stark angetrieben, wie es durch den Luftwiderstand oder weitere Hindernisse gehemmt wird.⁷⁹ Sowohl in Halliday⁸⁰; als auch Tipler⁸¹ wird dieser Zusammenhang durch eine weitere Analogie den Schüler/innen nähergebracht: Es wird die konstante Strommenge in einem Leiter mit den Wassertropfen im Gartenschlauch verglichen. Jeder Tropfen, der aus dem Gartenschlauch kommt, wird durch einen weiteren aus dem Wasserhahn ersetzt. In Demtröder wird hingegen mittels Formeln die Kontinuitätsgleichung dargestellt und die Gesetzmäßigkeit des konstanten Stroms in elektrischen Leitern aus der Gleichung

⁷⁶ Muckenfuß (1997), S.92

⁷⁷ Demtröder (2004), S.43

⁷⁸ Muckenfuß (1997), S.31/S.106

⁷⁹ Muckenfuß (1997), S.100

⁸⁰ Halliday (2003), S.755f.

⁸¹ Tipler (2007), S.758

abgeleitet.⁸² In Tipler wird zudem die Frage beantwortet, weshalb denn die Glühlampe sofort leuchtet, wenn der Schalter betätigt wird, obwohl die Elektronen doch erst noch bis zur Glühlampe gelangen müssen. Die Antwort auf diese lebenswesentliche Fragestellung erhalten die Leser durch die Gartenschlauchmetapher. Es sind zwar langsame aber viele Ladungsträger enthalten, die alle durch den jeweils vorausgehenden angeschoben werden⁸³.

Spannung und elektrisches Potential

In den betrachteten Lehrwerken wird zunächst das elektrische Potential definiert, bevor der Spannungsbegriff eingeführt wird. Erstgenanntes ist die potentielle Energie pro Einheitsladung an einem Punkt eines elektrischen Feldes. Die Begriffserklärungen der jeweiligen Lehrbücher weichen dabei in geringem Maß voneinander ab. Zum Beispiel wird die Definition in Demtröder unter Rückgriff auf Formeln detaillierter dargestellt als in anderen Werken.⁸⁴ In Tipler wird der Versuch unternommen, die richtige Vorstellung durch den Vergleich mit Gravitationsfeldern zu erzeugen⁸⁵. Auf den Feldbegriff wird mehr in Halliday eingegangen. Hier wird beschrieben, dass die elektrische potentielle Energie U die Energie des Systems aus dem Objekt und äußeren elektrischen Feld ist und das System sowie das Objekt gemeinsam ein elektrisches Feld mit der Stärke U erzeugen. In diesem Zusammenhang wird die Energie nicht dem Teilchen, sondern dem System zugeordnet⁸⁶.

Nachdem das elektrische Potential verständlich dargestellt wurde, wird folgend der Begriff der elektrischen Spannung eingeführt. Entweder liegt der Schwerpunkt bei der Erläuterung auf dem Begriff der Arbeit „ die Spannung einer Spannungsquelle {ist} gleich der Arbeit, die von der Quelle der Ladungseinheit zu verrichten ist, um sie vom Pol mit niedrigem Potential zum Pol mit hohem Potential zu transportieren.“⁸⁷ oder es wird, wie z.B. in Demtröder⁸⁸ oder Tipler⁸⁹ hervorgehoben, dass die Spannung die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten im elektrischen Feld

⁸² Demtröder (2004), S.44f.

⁸³ Tipler (2007), S.758

⁸⁴ Demtröder (2004), S.9f.

⁸⁵ Tipler (2007), S.713

⁸⁶ Halliday (2003), S.696

⁸⁷ Halliday (2003), S.779

⁸⁸ Demtröder (2004), S.9

⁸⁹ Tipler (2007), S.714

abbildet. Jedoch ist zu erkennen, dass jedes der Lehrbücher eine andere Vorgehensweise hinsichtlich der Ausführung des Inhalts praktiziert. Demtröder behält seine durch viele Formeln geprägte fachsprachliche Ausdrucksweise bei und gibt an dieser Stelle die Position-Gleichung an.⁹⁰ In Tipler wird hingegen darauf abgezielt, den Lernenden die Spannung anhand eines Beispiels näherzubringen. „Bei einer 12V-Autobatterie ist das Potential der positiven Elektrode 12V höher als das der negativen Elektrode. Wenn man einen äußeren Stromkreis an die Batterie anschließt und eine Ladung von 1C über den Stromkreis von der positiven zur negativen Elektrode fließt, nimmt die elektrische Energie dieser Ladung um $(1C)(12V)=12J$ ab.“⁹¹ „Ohne das Wort `zwischen` hat das Wort Spannung keinen Sinn, ebenso wenig wie das Wort Strom ohne die Präposition `durch`.“⁹² heißt es in Gerthsen, der durch die präzise Versprachlichung den Sachverhalt vermitteln möchte. Auf die Versprachlichung des Spannungsbegriffs legt Muckenfuß ebenso den Fokus und formuliert verschiedene Beschreibungen des Begriffs der Spannung. Einige Beispiele sind:

- „Die Spannung ist ein Maß für den von der Quelle zum Verbraucher fließenden Energiestrom, der durch einen zirkulierenden Ladungsträgerstrom von 1Ampere erzeugt wird.“
- „Die Spannung ist ein Maß für die Leistung, die quellenseitig aufgebracht werden muss, um in einem Leiter eine Elektrizitätsströmung von 1 A zu erzeugen („Quellenspannung“), und die an den Verbrauchern pro 1 A verfügbar ist („Verbraucherspannung“).“
- „Die Spannung ist ein Maß für die Energie, die durch die Bewegung eines einzelnen Elektrons übertragen wird.“⁹³

Muckenfuß zufolge führt eine Konkretisierung und Veranschaulichung des Spannungsbegriffs zu einem gewissen Verlust der Allgemeingültigkeit und Abstraktheit.⁹⁴ Aus diesem Grund hat er eine Struktur entworfen (Abb.4), in der die wichtigsten Gleichungen und Zusammenhänge bestimmten Abstraktionsebenen zugeordnet werden.

⁹⁰ Demtröder (2004), S.10

⁹¹ Tipler (2007), S.714

⁹² Gerthsen (2004), S.298

⁹³ Muckenfuß (1997), S.44f.

⁹⁴ Muckenfuß (1997), S.37

Ebene	fachlicher Anwendungsbereich	Gleichungen (Operationen)	Einheitengleichungen
IV	Potentialdifferenzen in E -Feldern	$U_{12} = \int_1^2 E \cdot ds$ für homogene Felder: $U = E \cdot s$	$1 \text{ V} = 1 \text{ (V/m)} \cdot 1 \text{ m}$
III	Bewegung elektrischer Ladungen in E -Feldern	(für $E = \frac{F}{Q}$ bzw. $F \cdot s = W$): $U_{12} = \int_1^2 \frac{F}{Q} \cdot ds \rightarrow U = \frac{F \cdot s}{Q} \rightarrow U = \frac{W}{Q}$	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{N}}{\text{As}} \cdot 1 \text{ m}$ $= 1 \frac{\text{J}}{\text{As}}$
II	Stromkreise mit kontinuierlicher Ladungsträgerbewegung	(Multiplikation mit t/t): $U = \frac{F}{I} \cdot v \rightarrow U = \frac{P}{I}$	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}}$
I	Ströme durch ohmsche Leiter	(Substitution: $P = I^2 \cdot R$): $U = I \cdot R$	$1 \text{ V} = 1 \text{ A} \cdot 1 \Omega$

Abbildung 4: Abstraktionsgrad Abstraktionsebenen und Anwendungsbereiche auf die sich der Spannungsbegriff bezieht, Muckenfuß (1997), S.39

In den untersuchten Lehrbüchern werden die Abstraktionsebenen 3 und 4 wiedergegeben, da die Spannung zum einen als Potentialdifferenz und zum anderen als die Arbeit, die benötigt wird, um eine Ladung im elektrischen Feld zu bewegen, beschrieben wird. Der Spannungsbegriff in Abhängigkeit vom Energiestrom in Stromkreisen wird in der zweiten Abstraktionsebene erklärt. Infolge dieses Ansatzes reich nach Muckenfuß (1997) die Reduktion auf die ersten zwei Ebenen aus, um den Spannungsbegriff im Kontext des Stromkreises den Schüler/innen verständlich zu machen⁹⁵. In diesem Kontext werden sicherlich einige Zusammenhänge und Aussagen zum physikalischen Inhalt, die in den Lehrwerken ausgeführt werden, nicht mehr vorhanden sein, allerdings sind die notwendigen Inhalte, die an die Schüler/innen vermittelt werden sollten, in der Fachliteratur in der gewünschten einfachen Darstellung oder in den entsprechenden Erklärungsmustern nicht wiederzufinden.

Elektrischer Widerstand

In die Thematik des elektrischen Widerstands wird seitens der Fachliteratur auf unterschiedliche Weise eingeführt. Die häufigste Verfahrensweise vollzieht sich über

⁹⁵ Muckenfuß (1997), S.40

die Definition des Widerstandes als der Quotient bzw. die Proportionalität zwischen der Stromstärke und Spannung. Dies spiegelt auch die Art der Lehrbücher Tipler⁹⁶ und Gerthsen⁹⁷ wider. In Halliday wird ebenfalls eine leicht verständliche Erklärung vorgebracht, in dem der Widerstand als eine Eigenschaft des Gegenstandes selbst bezeichnet wird. Dies ist jene Eigenschaft des Körpers, welche die Angabe macht, welche Stromstärke bei der angegebenen Spannung durch den Körper fließt⁹⁸. Etwas detaillierter wird die Bewegung der Teilchen im Material, die durch das äußere elektrische Feld verursacht werden, in Demtröder erläutert. Aus diesen Beschreibungen wird die Stromdichte in Abhängigkeit des elektrischen Feld gefolgert, bevor im Anschluss daran die elektrische Leitfähigkeit des Körpers daraus abgeleitet wird.⁹⁹ Nachdem der Inhalt des Widerstandbegriffs dargelegt wurde, wird in sämtlichen Lehrwerken, die materialabhängige Größe, also der spezifische Widerstand genannt. Ferner sind keine beachtlichen Unterschiede bezüglich der Darbietung der Ohmschen Gesetzmäßigkeiten vorzufinden. Jedoch sollte erwähnt werden, dass in Demtröder das Ohmsche Gesetz auch mit der Formel $\rho = p_{el}E$ beschrieben wird, was zum wiederholten Male zeigt, dass in diesem Lehrbuch viele Gesetzmäßigkeiten durch Formeln ausführlich erklärt werden.¹⁰⁰

Muckenfuß zufolge wird der Begriff des Widerstands in der Fachsprache in verschiedenen Bedeutungsvarianten genutzt. Zum einen sei mit Widerstand das elektrische Bauteil gemeint und zum anderen werde damit eine physikalische Größe R angegeben. Didaktisch könne dieser Bedeutungsvielfalt im Unterricht gelöst werden und führe daher nicht zu Problemen aufseiten der Lernenden. Allerdings, so fährt er fort, sei mit dem Wort Widerstand ein anderes Problem verwoben. Der Wortsinn des Begriffs „Widerstand“ würde nämlich bei den Lernenden eine falsche Vorstellung evozieren, da mit der Formulierung „der Strom erfährt einen Widerstand“ eine „Hemmung“ des Stromes im Leiter assoziiert werde. Diese Hemmung stimmt aber vorstellungsmäßig nicht mit der physikalischen Größe R überein, sondern beschreibt den Betrag der Ohmschen Spannung $U = I \cdot R$. Für die physikalische Größe R würde sich ein Wort wie z.B. „Hindernis“ eignen. Muckenfuß

⁹⁶ Tipler (2007), S.786

⁹⁷ Gerthsen (2004), S.318

⁹⁸ Halliday (2003), S.759

⁹⁹ Demtröder (2004), S.45

¹⁰⁰ Demtröder (2004), S.47

verdeutlicht den Unterschied mit den folgenden Sätzen: „Wie groß dann die jeweils vom Hindernis R erzeugte `Hemmung` $I \cdot R$ ist, hängt vom Strom ab, der durch das Bauteil getrieben werden muss.“¹⁰¹ und „Man vergleicht also die `Hemmung` ($I \cdot R$) bei festgelegtem Strom um ein Maß für das Hindernis zu haben.“¹⁰². Der Quotient $R = \frac{I \cdot R}{I} = \frac{U}{I}$ sei ein Maß für die Höhe des „Hindernisses“.¹⁰³ In Halliday und Demtröder wird der Widerstandsbergriff als die Eigenschaft des Materials verstanden oder der Widerstandbegriff wird erklärt, in dem das Verhalten der Teilchen im Material dargestellt wird. Diese Erklärungen sind so formuliert, so dass man nicht sagen kann, ob nun die beschriebene missverständliche Vorstellung daraus abgeleitet werden kann oder ob es gegen diese Vorstellung wirkt. In diesem Fall könnte es wohl darauf ankommen, wie der Widerstandsbergriff in Einzelheiten ausgearbeitet und wie ausführlich er erläutert wird.

Elektrische Stromkreise

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass Muckenfuß mit seinem Unterrichtskonzept beabsichtigt, den Energiestrom als fundamentale physikalische Größe einzuführen, weil dadurch zum einen die Fehldeutungen von Strom und Energie verhindert und zum anderen die elementaren Begriffe sowie Zusammenhänge der Elektrizitätslehre deutlicher differenziert werden können. Resultierend aus dieser Intension ist Muckenfuß der Meinung, dass im Elektrikunterricht die grundlegende Aufgabe darin bestehen müsste, die Frage, wie Energie auf elektrischem Wege übertragen wird, zu klären.¹⁰⁴

Die Energietransportfunktion des Stromkreises wird in dem Lehrbuch von Halliday explizit genannt¹⁰⁵. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die Maschenregel einer der vielen Folgerungen der Energieerhaltung ist¹⁰⁶. Auch in diesem Abschnitt wird der typische Erklärungsstil des Lehrbuchs beibehalten, indem die Zusammenhänge des Stromkreises anhand von Höhenmodellvorstellungen versinnbildlicht werden. In den restlichen untersuchten Lehrwerken werden die Gesetzmäßigkeiten und Regeln des Stromkreises dagegen in Formeln visualisiert, wobei es keine zusätzliche

¹⁰¹ Muckenfuß (1997), S.57

¹⁰² Muckenfuß (1997), S.57

¹⁰³ Muckenfuß (1997), S.53ff.

¹⁰⁴ Muckenfuß (1997), S.37

¹⁰⁵ Halliday (2003), S.779

¹⁰⁶ Halliday (2003), S.781

Veranschaulichung oder nähere Erklärungen dazu gibt. Die meisten Kenntnisse werden aufseiten der Lerner an dieser Stelle also schlichtweg vorausgesetzt.

Spannungsquelle/ Batterie

Ein Beispiel für die Beschreibung von Energiequellen lautet folgendermaßen: „Alle Stromquellen benutzen die durch Energieaufwand erfolgte Trennung von positiven und negativen Ladungen und die dadurch erzeugte Potentialdifferenz zwischen zwei räumlich getrennten Orten der Stromquelle als Energiespeicher.“¹⁰⁷ Die hier genannten Aspekte sind in vergleichbarer Weise auch in allen der analysierten Lehrwerke wiederzufinden. Für Muckenfuß bringt es Schwierigkeiten mit sich, der Batterie die Rolle einer Quelle im Stromkreis zuzuschreiben, was er damit erklärt, dass dadurch die Vorstellung, dass die Batterie als „Behältnis für den Strom“ oder „Elektronenfass“ fungiere, bei den Lernenden entstehen würde.¹⁰⁸ Auch die weiteren Analogien, z.B. eine Pumpe, wie es in Halliday¹⁰⁹ und Gerthsen¹¹⁰ zu finden ist, um die Funktion einer Batterie zu präzisieren, würden nicht ausreichen diesen Fehlvorstellungen entgegen zu wirken. Der Grund für die überaus starke Verankerung dieser Fehlvorstellung ist die alltägliche Redeweise von „vollen“ und „leeren“ Batterien. An dieser Stelle wird der Einfluss der Alltagssprache aber nicht näher erläutert, da hierauf in den folgenden Kapiteln der Fokus gelegt werden soll. Außerdem wäre bei der Verwendung der Batterie eine Sinneswahrnehmung über den Energieumwandlungsprozess ausgeblieben. Sein Vorschlag geht somit in die Richtung, in den Einführungsstunden Netzwerk, Solarzellen oder Thermoelemente einzusetzen, um die Vorstellung zu fördern, dass die Quelle die Rolle als Energiequelle im Stromkreis übernimmt.¹¹¹

3.3. Ergebnisse der fachlichen Klärung

Die Untersuchungen der Termini ergaben, dass auch aus wissenschaftlicher Perspektive den verwendeten Wörtern unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet

¹⁰⁷ Demtröder (2004), S.78

¹⁰⁸ Muckenfuß (1997), S.64

¹⁰⁹ Halliday (2003), S.778

¹¹⁰ Tipler (2007), S.757

¹¹¹ Muckenfuß (1997), S.64f.

werden können, wie es exemplarisch bei dem Begriff der elektrischen Ladung der Fall ist.¹¹² Ferner existieren in der fachwissenschaftlichen Literatur Fachtermini, wie z.B. Stromstärke und Widerstand, denen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Fachleute klare Definitionen zuzuschreiben, aufseiten der Lernenden werden hiermit aber unbeabsichtigte Vorstellungen hervorrufen.

Die Analyse der fachlichen Klärung zeigt, dass in den universitären Lehrwerken die inhaltlichen Forderungen abgedeckt, sogar weit überschritten werden, weil sie in einem höheren Abstraktionsgrad dargestellt sind. Die für den Schulunterricht notwendigen inhaltlichen Zusammenhänge sind zumeist deren Spezialfälle. Angesichts des Umstandes, dass die Themen abstrakt und allgemein erklärt werden, fehlen explizite Hinweise auf komplexe Sachverhalte oder Aspekte die leicht verwechselt oder falsch verstanden werden können. Wie die fachliche Klärung erkennen lässt, sind zwischen den einzelnen Lehrwerken keine großen Divergenzen nachzuweisen, was den fachlichen Lehrinhalt angeht.¹¹³ Auf einige Details wird in der einen Literatur und auf andere in dem anderen der Fokus gerichtet. Problematisch wird es jedoch, wenn in die Thematik eingeleitet wird und wichtige Gesichtspunkte ausgelassen werden, weil diese Kenntnisse vorausgesetzt werden, wie es z.B. im Kapitel über Stromkreise der Fall ist.

Der Ursprung der im Schulunterricht vorgetragenen Modellvorstellungen ist in den analysierten Lehrwerken wiederzufinden. Dabei werden sie eingesetzt, um bestimmte Eigenschaften der physikalischen Zusammenhänge zu veranschaulichen. Das Modell des Gartenschlauchs erklärte den Stromfluss, das Höhenmodell sollte den Lesern den Spannungsbegriff näherbringen. In einigen Kapiteln, wie z.B. über den elektrischen Widerstand oder die Spannung, werden im Rahmen der Einführung keine näheren Erklärungen zu den Begriffen kommuniziert. Es werden ausschließlich Zusammenhänge zu anderen Begriffen hergestellt und dank dieser Abhängigkeit soll der Lernende sich nunmehr eine klare Definition bilden können. An diesen Stellen sind Erklärungsmuster eine große Notwendigkeit, werden jedoch nicht angeboten. Dagegen gibt es Erklärungsmodelle, die aber wiederum den festverankerten Fehlvorstellungen nicht entgegenwirken können. Muckenfuß ist der Ansicht, dass das

¹¹² Dies bestätigt auch noch die Ansicht von Kattmann et al. (1997), der die Meinung vertritt, dass die fachlichen Inhalte als Vorstellungen der Wissenschaftler angesehen werden soll und deshalb in dem Modell der didaktischen Rekonstruktion gleichbewertet mit den Schülervorstellungen verglichen werden soll.

¹¹³ vgl. auch Tabelle 1

Modell einer Pumpe, das die Batterie als Spannungsquelle verständlich machen soll, der Fehlvorstellung, die Batterie sei ein Behälter für den Strom, nicht effektiv entgegenstehen.¹¹⁴

Wie auch schon im Verlauf der Analyse erwähnt wurde, unterscheiden sich die Lehrwerke in ihrem Stil vor allem auch dahingehend, wie sie die fachwissenschaftlichen Inhalte präsentieren. Lehrwerke wie Demtröder legen den Schwerpunkt auf Erklärungen mit Formeln und Lehrwerke wie Halliday bedienen sich vieler unterschiedlicher Erklärungsmuster und Modellvorstellungen. In den Lehrbüchern Gerthsen und Tipler sind hingegen Ausformulierungen der physikalischen Sachverhalte ausgeprägt.

3.4. Folgerungen für die Didaktische Strukturierung

In den universitären Fachliteraturen werden die physikalischen Inhalte sehr allgemein und auf einem hohen Anforderungsniveau erarbeitet, weshalb die Inhalte abstrakt dargestellt sind. Werden diese Inhalte reduziert, um sie verständlicher zu gestalten, resultieren daraus Formulierungen, die zu Missverständnissen führen können. Innerhalb des Gesamtkontextes der Physik, dass in den Lehrwerken ausgeführt werden, würden die Formulierungen keine Missverständnisse hervorbringen. Aus der Perspektive von Muckenfuß (1997) entstehe die Gefahr der Fehlvorstellungen aber dann, wenn diese Versprachlichungen abgetrennt vom gesamten Kontext an Lernende weitergegeben werde. Deshalb unterstreicht er immer wieder diesen Aspekt ganz besonders dick. Der Einfluss der Sprache auf die Vorstellungen ist auch im größeren Umfang Gegenstand dieser Arbeit. Beim Entwerfen des Unterrichtskonzeptes ist es deshalb besonders wichtig, wie weit die Reduktion für die Lerngruppe realisiert werden kann, bei der aufgrund der abgespaltenen Zusammenhänge, Fehlvorstellungen aufseiten der Lernenden verstärkt werden.

Um diesen Missverständnissen entgegenzuwirken, die Sachverhalte den Lesern trotzdem vereinfacht darzubieten, hat z.B. Halliday die Vorgehensweise, gewählt mittels vieler Modellvorstellungen die physikalischen Zusammenhänge zu

¹¹⁴ Muckenfuß (1997), S.64

veranschaulichen. In dem Lehrbuch von Demtröder überwiegend die Erklärungen der Definitionen und Beschreibungen mittels Formeln, womit hier ebenfalls die möglichen, ungünstigen Formulierungen vermieden werden. Die analysierten Lehrwerke stellen unterschiedliche Modelle, Denkfiguren und Erklärungsmodelle vor und nähern sich den Inhalten ebenso verschiedenartig. Der Lehrperson wird damit eine Vielzahl an Möglichkeiten offeriert, das Unterrichtskonzept auf diverse Arten zu gestalten.

Im Rahmen der Ergebnisse zur fachlichen Klärung wurde bereits erörtert, dass die inhaltliche Darbietung der Lehrwerke zu Problemen führt, wenn in ein neues Kapitel eingeführt wird und dabei einige Kenntnisse vorausgesetzt oder anstelle von klaren Definitionen, die Begriffe durch andere physikalische Zusammenhänge erklärt werden. In diesen Fällen ist es erforderlich ein neues Konzept zu entwerfen und den Unterrichtsinhalt in sinnvollen kleinen Erweiterungen vorbereiten.

4 Erhebung der Schülervorstellungen

4.1. Allgemeine Präkonzepte

Es ist in der alltäglichen Praxis des Unterrichts nicht selten der Fall, dass die Lehrperson im Unterricht mit Sorgfalt den physikalischen Inhalt erklärt, diesen mittels anschaulicher Demonstrationsexperimente und Schülerexperimente vorführt, doch trotzdem haben die Schüler/innen am Ende der Unterrichtseinheit immer noch nichts oder es falsch verstanden. Die Schüler/innen haben durch ihre Alltagserfahrungen tief verankerte vorunterrichtliche Vorstellungen zu den Begriffen, Phänomenen und Prinzipien, die Gegenstand des Physikunterrichts sind. Diese Erfahrungen bestimmen das Verstehen der physikalischen Inhalte, zumal die Schüler/innen das Neue durch die „Brille“ ihrer Vorstellungen betrachten.¹¹⁵ Sie können also nicht wie im „Tabula Rasa Modell“ als leere Blätter angesehen werden, auf die der Lehrer den vorbereiteten Lernstoff einfach nur noch einschreibt¹¹⁶.

Problematisch wird es, wenn diese Vorstellungen im Gegensatz zu den wissenschaftlichen Inhalten stehen, da sie in diesem Fall bei den Schüler/innen große Lernschwierigkeiten verursachen. Vorstellungen determinieren schließlich den Prozess des Verstehens und somit auch den Prozess der Sinnkonstruktion. Oft begreifen die Schüler/innen nicht, was sie im Unterricht hören, sehen oder wahrnehmen.¹¹⁷ Für einen erfolgreichen Unterricht müssen die Schülervorstellungen bekannt sein und beim Konzipieren des Unterrichts bereits berücksichtigt werden. Der Physikunterricht muss demnach zum einen an den Schülervorstellungen anknüpfen, denn „ohne die Kenntnis des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich“ (Diesterweg)¹¹⁸, und zum anderen hat er die wissenschaftliche Sichtweise zu vermitteln. Zur Erreichung dieser zwei Ziele werden neue Unterrichtsstrategien in der Fachdidaktik ausgearbeitet.

¹¹⁵ Duit (2002), S.3

¹¹⁶ Jung (2011), S.15

¹¹⁷ Duit (2011a), S.3

¹¹⁸ zitiert in Jung (2011), S.15

Es wurden bis heute schon zahlreiche Studien und empirische Untersuchungen realisiert,¹¹⁹ die den Beleg dafür brachten, dass Schüler/innen durch vorunterrichtliche Vorstellungen geprägt sind und diese wiederum zu Lernhindernissen führen können. In den fachdidaktischen Literaturen gibt es eine Vielzahl von Bezeichnungen für diese vorunterrichtlichen Wissen- und Denkstrukturen der Schüler/innen, wie z.B. *Schülervorstellungen*, *Alltagsvorstellungen*, *Fehlvorstellungen*, *Präkonzepte*, die grundsätzlich als Synonyme angesehen werden können¹²⁰.

In diesem Kapitel werden auf der einen Seite zunächst einmal die Ursachen der vorunterrichtlichen Vorstellungen aus wissenschaftlichen Artikeln herausgearbeitet, bevor auf der anderen Seite ihre Bedeutungen und Wirkungen für den Schulunterricht daraus abgeleitet werden. Diese allgemeinen Kenntnisse über Schülervorstellungen im Physikunterricht sind hilfreich, wenn innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion die Schülervorstellungen und die fachliche Klärung der Lehrinhalte einander gegenübergestellt werden, um ein didaktisch strukturiertes Unterrichtskonzept zu entwerfen. Im daran anschließenden Kapitel (4.2) werden diese allgemeinen Informationen auf die Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre bezogen.

4.1.1. Die Entstehung von Präkonzepten

Die soziale, kulturelle und materielle Umgebung beeinflusst das Lernen.¹²¹ Der Lernende ist seit seiner Kindheit von seinem sozialen Leben geprägt und konstruiert deshalb Vorstellungen, welche von diesen Erfahrungen bedingt sind. In jeder Situation werden diese Erfahrungen verwendet. Des Weiteren ist die Welt des sozialen Lebens in der Sprache institutionalisiert, weshalb es sehr schwierig ist, aus diesen sozial-konstruktivistischen Vorstellungen auszutreten.¹²² Hinzu kommt das Faktum, dass diese Vorstellungen durch die Alltagssprache gefestigt werden. Vor diesem Hintergrund ist ein weiterer Grund für die Entstehung und die feste Verankerung der Schülervorstellungen die Verwendung der physikalischen Begriffe

¹¹⁹ Duit (2011b), S.8

¹²⁰ Wiesner et al.(2013), S.34

¹²¹ Duit (2002) , S.10

¹²² Jung (2011), S.17

im alltäglichen Sprachgebrauch. Diesen Begriffen werden Bedeutungen zugeschrieben, die im Sinne der Fachwissenschaft nicht korrekt sind. Muckenfuß (1992) führt als Beispiel für dieses Phänomen den Begriff „elektrischer Strom“ an, dem die Schüler/innen außerhalb des Physikunterrichts sehr oft begegnen. Mit diesem Begriff ist jedoch nicht die zirkuläre Energieströmung gemeint, obwohl diese Bedeutung die einzig zugelassene Definition des Begriffs im Physikunterricht darstellt.¹²³ Um dies zu belegen, zitiert er aus verschiedenen Werbe- und Zeitungstexten Beispiele, in denen die Zuordnung von gegenüber dem physikalischen Verständnis abweichenden Bedeutungen deutlich gemacht werden kann. Einige dieser Beispiele lauten wie folgt:

„Bislang wurden nur kleinere Windenergieanlagen gefördert, die in der Regel bis zu 250 Kilowatt Strom erzeugen.“

„Strom steht immer für sie bereit-sauber, vielseitig und genau in der Menge, die Sie benötigen.“¹²⁴

Darüber hinaus begegnen die Lernenden speziellen Alltagserfahrungen zu bestimmten naturwissenschaftlichen Phänomenen. Der Schüler macht beispielsweise die Erfahrung, dass er das Heft sieht, weil die Lampe es heller macht, obwohl auf Basis der physikalischen Erklärungen das Licht von der Lampe auf das Heft fällt und von dort aus wiederum in das Auge gestreut wird.¹²⁵ Es kann aber nicht gesagt werden, dass die Alltagsvorstellungen der Schüler/innen falsch seien, denn sie nehmen diese Phänomene so wahr.¹²⁶ Sie fügen jedoch ihren Beobachtungen und Wahrnehmungen das „Dazu-Denken“ hinzu.¹²⁷ Diese Erfahrungen, die unterschiedlich gedeutet werden, resultieren darin, dass Vorstellungen erzeugt werden, die nicht mit den physikalischen Deutungen kongruent sind.¹²⁸ Exemplarisch wird bei einer andauernden Bewegung die Erfahrung gemacht, dass ständig Kraft aufgebracht werden muss, obwohl die Bewegung aus physikalischer Sicht träge ist. Die Schüler/innen bilden ihre Vorstellungen und Denkstrukturen durch ihre Alltagserfahrungen. Da diese auch durch den umgangssprachlichen

¹²³ Muckenfuß (1992), S.29

¹²⁴ Muckenfuß (1992), S.30

¹²⁵ Folien: Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Physikunterricht; Horst Schrecker, Uni Berlin

¹²⁶ Duit (2002), S.12

¹²⁷ Duit (2011b), S.9

¹²⁸ Folien: Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Physikunterricht; Horst Schrecker, Uni Berlin

Gebrauch gefördert und gefestigt werden, sind diese Präkonzepte tief in ihnen verankert. Bezüglich der Alltagsvorstellungen sind die Forscher am meisten über die Hartnäckigkeit dieser Vorstellungen beunruhigt.¹²⁹

Neben den tiefverankerten Vorstellungen, die durch die Alltagserfahrungen entstanden sind, tauchen auch Präkonzepte auf, die etwas leichter veränderbar sind. Nichtsdestotrotz müssen sie im Unterricht dennoch Berücksichtigung finden. Diese Vorstellungen werden von den Schüler/innen ad hoc gebildet, wenn sie sich mit etwas Neuem und Unbekanntem auseinandersetzen. Sie beruhen ebenfalls auf den Vorerfahrungen, wobei zu beobachten ist, dass je nachdem, wie stark ihre Erfahrungen sind, desto tiefer werden ihre Vorstellungen verankert.¹³⁰

Präkonzepte können ferner durch den vorangegangenen Physikunterricht hervorgerufen werden.¹³¹ Nimmt der Lernende nur bruchstückhafte und lückenhafte Inhalte aus dem Unterricht mit, kann er durch falsche Zusammenhänge und eigene Verknüpfungen fachlich nicht vertretbare Vorstellungen entwickeln und von diesen durchaus überzeugt sein. Meistens dominieren formale Definitionen den Physikunterricht, bevor sich überhaupt konsistente Vorstellungen gebildet haben. Nach Muckenfuß (1992) bringt dies scheinbare Vorteile mit sich, denn so würden die Schüler/innen mit offensichtlich exakten Begriffen und quantitativen Übungen arbeiten können und die Lernleistungen könne man auf diesem Wege außerdem vergleichbar machen. Die „Exaktheit“ sei aber inhaltsleer und der qualitative Umgang mit Größen eine verständnislose „Rechnerei“. Dies führe wiederum dazu, dass die Schüler/innen den Begriffen unkontrolliert und unwillkürlich Vorstellungsinhalte zuordnen würden, was der Grund für die Misskonzepte im Unterricht sei.¹³²

4.1.2. Der Einfluss der Präkonzepte auf das Verstehen und das Lernen

Vorstellungen beeinflussen das Lernen.¹³³ Sie sind der Einfluss auf den Prozess des Verstehens, also auf den Prozess der Sinnkonstruktion. Die wahrgenommenen Sinnesdaten werden zunächst gefiltert. Dies geschieht, indem die Aufmerksamkeit

¹²⁹ Jung (2011),

¹³⁰ Duit (2011a), S.3

¹³¹ Duit (2011a), S.3

¹³² Muckenfuß (1992), S.26

¹³³ Duit (2011b), S.9

durch verankerte Vorstellungen auf etwas Bestimmtes gerichtet wird, und zwar darauf, was dem Wahrnehmenden als wichtig erscheint.¹³⁴ Dies beeinflusst wiederum die Interpretation des Wahrgenommenen und ordnet den Sinnesdaten eine Bedeutung zu.¹³⁵ In einer gewöhnlichen Unterrichtssituation sieht dieser Ablauf wie folgt aus: Die Lehrperson erzählt oder zeigt etwas, um eine bestimmte Information an den Lernenden zu vermitteln. Letzterer nimmt die Sinnesdaten auf und interpretiert sie auf der Basis seiner eigenen Vorstellungen. Er ordnet den Daten also spezifische Bedeutungen zu. Es ist in diesem Fall nicht damit zu rechnen, dass beide Bedeutungen übereinstimmen. Antwortet nun der Lernende, so wird die Lehrkraft die sie erreichenden Sinnesdaten interpretieren und ihnen eine vom Gemeinten abweichende Bedeutung zuordnen. Duit (2004) bezeichnet diese Situation als den Zirkel des Verstehens des Verstehens und macht somit darauf aufmerksam, dass bei der Beurteilung der Lernenden dies mit zu berücksichtigen ist.

Die Präkonzepte spielen innerhalb des Prozesses des Wissenserwerbs eine zentrale Rolle. Somit kann das Wissen nicht von der Lehrperson direkt in die Köpfe der Schüler/innen transportiert werden, wie es im Lehr- und Lernmodell des Nürnberger-Trichters angenommen wird.¹³⁶ Zu diesem Zweck diskutiert Jung (1986) detaillierter den Einfluss der Präkonzepte auf die Aspekte *Verstehen*, *Lernen*, *Speichern* und *Anwenden*, die am Prozess des Wissenserwerbs teilhaben und eng miteinander verbunden sind.

Verstehen ist ein komplizierter und aktiver Vorgang, dessen Einzelheiten noch nicht bekannt sind. Allerdings kann er im Groben wie folgt erklärt werden: Der Lernende aktiviert seine gespeicherten Vorstellungen, nachdem er die Information aufgenommen hat, und ordnet die Informationen in den eigenen Vorstellungsrahmen ein. Aufgrund der Verbindung zu dem Bekannten kann der Lernende einen Sinn konstruieren, was als Verstehen bezeichnet wird.

Lernen bedeutet nicht, den Sinngehalt von physikalischen Begriffen auswendig zu lernen, sondern einen Rahmen des Verstehens zu entwickeln, der die Grundvorstellungen zu einem gesamten Themengebiet beschreibt. Somit ergibt sich auch eine deutliche Abgrenzung zum Alltagsverständnis der verwendeten Begriffe.¹³⁷

¹³⁴ Duit (2002), S.12

¹³⁵ Wiesner et al. (2013), S.31

¹³⁶ Wiesner et al. (2013), S.29

¹³⁷ Jung (2011), S.16

Es fällt schwer, den Unterschied zwischen den Aspekten *Verstehen* und *Lernen* zu erkennen. Unter *Verstehen* ist der Prozess der Sinnkonstruktion gemeint, unter *Lernen* hingegen die Eingliederung und langfristige Speicherung des Verstandenen.¹³⁸ Lernen soll Duit (1993) zufolge „als Konstruieren des Wissens unter Zuhilfenahme des bereits vorhandenen Wissens“ aufgefasst werden. Dieses vorhandene Wissen ist der Rahmen der Grundvorstellungen zum gesamten Themengebiet. In der Lehr- und Lernforschung wird diese Sichtweise als „konstruktivistisch“ bezeichnet. Die Lernenden sind für das Lernen selbst verantwortlich und aktive Konstrukteure des eigenen Wissens. Aus der gegensätzlichen „Transportsicht“ heraus sind sie dagegen passive Empfänger.¹³⁹ Wenn die Rolle des Lernenden sich verändert, so hat dies sicherlich Folgen für die Rolle des Lehrenden.¹⁴⁰

Beim *Speichern* von Wissen wird zwischen aktiven und passiven Lerninhalten differenziert. Der Unterschied wird durch den Vergleich mit der Datenspeicherung eines Computers verständlicher. Passive Lerninhalte sind Speicherungen von Fakten, wie z.B. die Zahl Pi. Aktive Daten sind in der Metapher hingegen Programmspeicher: Durch einen Befehl werden sie aktiviert und setzen eine bestimmte Computertätigkeit in Gang. Wenn wissenschaftliche Vorstellungen im Gegensatz zu den Alltagsvorstellungen nicht als aktive Programme gespeichert werden und deshalb keine geistige Aktivität entfalten wird, sind sie im Vergleich zu den Alltagsvorstellungen sehr instabil. Alltagsvorstellungen sind jene, mit welchen „gearbeitet“ wird.¹⁴¹ Die Stabilität dieser Alltagsvorstellungen begründet Wodzinski dadurch, dass sie zum prozeduralen Wissen gehören, womit gemeint ist, dass die Vorstellungen der Schüler/innen aufgrund der wiederholten Anwendungen zur Erklärung von Phänomenen im Alltag zu Automatismen geworden sind. In der Konsequenz davon sind sie nur schwer wieder zu korrigieren.¹⁴²

Das *Anwenden* von Wissen spielt eine gleichermaßen große Rolle wie die Informationsverarbeitung, also das Verstehen von Lerninhalten per se. Vor allem beim Problemlösen hat das Anwenden eine große Relevanz. In diesem Zusammenhang wenden die Lernenden ihr Wissen an, indem sie die Informationen

¹³⁸ Duit (2011b), S.10

¹³⁹ Duit (2004), S.2

¹⁴⁰ vgl. Kapitel 4.1.6.

¹⁴¹ Jung (2011), S.16f.

¹⁴² Wodzinski (2011), S.26

mit ihren Präkonzepten verknüpfen. Diese sollten dafür zuvor als Programmcharakter gespeichert worden sein. Infolgedessen werden qualitative Vorstellungen benötigt und nicht irgendwelche Formeln, denn diese „qualitativen Vorstellungen erlauben es erst, einen Plan für die Verwendung von Formeln zu entwerfen.“¹⁴³ Das Vermitteln der Formeln anstelle der wissenschaftlichen Vorstellungen ist eine leichtere Lehraufgabe. Demgegenüber werden die Formeln aber auch sehr schnell nutzlos und können nicht angewendet werden, wenn die wissenschaftlichen Vorstellungen nicht verfügbar sind und der Lernende von seinen Alltagsvorstellungen geleitet wird.

4.1.3. Die Charakteristika von Präkonzepten

Über Präkonzepte wird nach wie vor viel in der Fachwissenschaft gesagt und geforscht. Deshalb umfassen sie eine Vielfalt an Bedeutungen. Den in den verschiedenen Literaturen beschriebenen Vorstellungen können spezifische Eigenschaften zugeordnet werden, wodurch ein Überblick über jene Vorstellungen gewonnen werden kann, welche als vorunterrichtliche Schülervorstellungen aufgefasst werden können.

Ausmaß

Der Begriff der Vorstellung kann zum einen konkrete Schülervorstellungen einzelner meinen oder eine viel abstraktere Bedeutung implizieren, wobei er dann die Vorstellungen beschreibt, die einer ganzen Kultur zugeordnet werden.¹⁴⁴

Inhaltlicher Umfang

Zum anderen können Vorstellungen einen inhaltlich divergenten Umfang haben. Es gibt Vorstellungen, die inhaltsbezogen und spezifisch sind.¹⁴⁵ Es existieren aber ebenso Vorstellungen, die übergreifend sind und ein bestimmtes Schema beschreiben, gemäß dem die Schüler/innen denken, wie z.B. die Verbrauchervorstellung oder die Idee, dass Kräfte durch unmittelbaren Kontakt

¹⁴³ Jung (2011), S.17

¹⁴⁴ Wodzinski (2011), S.23

¹⁴⁵ Wiesener et al. (2013), S.34

übertragen würden.¹⁴⁶ Derartige *alternative conceptions* in der Physik können zu Kategorien, wie z.B. Vorstellungen zur Erhaltung oder Verbrauchervorstellung, zusammengefasst werden.^{147 148}

Stabilität

Eine weitere Variable ist die Stabilität der Präkonzepte.¹⁴⁹ Einige Vorstellungen werden spontan erzeugt und sind deshalb einfacher zu verändern. Andere Vorstellungen sind wiederum fest verwurzelt und treten direkt oder indirekt hervor.¹⁵⁰ Niedderer und Schecker benennen diese beiden Arten von Vorstellungen als „deep structure“ und „current construction“.¹⁵¹ Die Stabilität der Präkonzepte hängt auch von dem Gesichtspunkt der Glaubwürdigkeit ab. Dabei gibt es Vorstellungen, von denen ein Schüler oder eine Schülerin fest überzeugt ist, und jene Vorstellungen, welche ein Schüler oder eine Schülerin kennt oder versteht, aber nicht daran glaubt.¹⁵²

Flexibilität

Wodzinski charakterisiert die Präkonzepte als flexibel¹⁵³, was impliziert, dass äußere Faktoren darüber entscheiden, wie das Problem verstanden und in welchen Kontext es eingeordnet wird. Die Schüler/innen ordnen physikalische Phänomene anders ein als ausgebildete Physiker, da sie einen ganz anderen Vorstellungsrahmen aufweisen. Dabei gibt es Kontexte, in denen eine physikalische Idee für die Lernenden einsichtiger erscheint als in anderen Kontexten, da je nach Kontext unterschiedliche Vorstellungen aufgerufen werden.¹⁵⁴ Resultierend aus diesem Umstand wird nun der Lehrkraft die Aufgabe auferlegt, die geeigneten Kontexte in den Unterricht einzubauen.

¹⁴⁶ Bleichroth et al. (1999), S.198

¹⁴⁷ Bleichroth et al. (1999), S.199; es werden ca. 15 Gruppen von Vorstellungen aufgelistet.

¹⁴⁸ In Kapitel 4.2. werden die Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre gegliedert und zu Kategorien zusammengefasst.

¹⁴⁹ vgl. auch 4.1.1

¹⁵⁰ Wodzinski (2011), S.23

¹⁵¹ Niedderer & Schecker (1992)

¹⁵² Wodzinski (2011), S.23

¹⁵³ Wodzinski (2011), S.27

¹⁵⁴ Wodzinski (2011), S.27

4.1.4. Zur Rolle der Präkonzepte beim Lernen der Physik

Die tiefverankerten Präkonzepte der Schüler/innen übernehmen beim Lernen im Physikunterricht eine Doppelrolle.¹⁵⁵ Einerseits determinieren sie den Ausgangspunkt des Unterrichts und sind damit ein notwendiger Anknüpfungspunkt im Unterricht, andererseits fungieren sie als die zentrale Ursache der Lernschwierigkeiten, weil sie ein Lernhemmnis darstellen.

Die vorunterrichtlichen Vorstellungen unterscheiden sich in wichtigen Aspekten von den zu lernenden wissenschaftlichen. In diesen Aspekten verhalten sich beide konträr zueinander.¹⁵⁶ Allerdings sind es nicht allein die Präkonzepte, die das Lernen von Physik so schwer machen. Nach Jung, Reul und Schwedes ist zu empfehlen, die Lernschwierigkeiten in drei Teile zu gliedern, da das schulische Lernen ebenfalls in drei Faktoren geordnet werden kann: *Lerninhalte*, *Lernender* und *Lehrender*.¹⁵⁷ Somit sind die drei Lernschwierigkeiten die sachbedingte, lehrbedingte und innenbedingte Lernschwierigkeit.

Unter *sachbedingten Lernschwierigkeiten* sind jene zu fassen, welche durch die Abstraktheit oder Komplexität der Lerninhalte für die Lernenden Schwierigkeiten bereiten.¹⁵⁸ Schwierigkeiten, die durch unangemessene fachliche Darstellungen, wie z.B. fachliche Fehler und missverständliche Vereinfachungen, oder mangelnde fachdidaktische Überlegungen, wie z.B. mangelhaftes Betonen von Schlüsselideen oder -phänomenen, entstehen, werden als *lehrbedingte Lernschwierigkeiten* bezeichnet. Auch wenn diese Handlungsweisen für Physikexperten keine Probleme bereiten würden, verstärkten sie bei den Lernenden die Lernschwierigkeit und verfestigen ihre Vorstellungen.¹⁵⁹

Innenbedingte Lernschwierigkeiten beziehen sich auf jene Lernschwierigkeiten, welche mit dem kognitiven System¹⁶⁰ der Lernenden verwoben sind. Hiermit sind folglich die Probleme gemeint, die während der Aufnahme und Verarbeitung von

¹⁵⁵ Duit (2004), S.1

¹⁵⁶ Duit (2011b), S.8

¹⁵⁷ Wiesner et al. (2013), S.35

¹⁵⁸ Wodzinski (2011), S.27f.

¹⁵⁹ Wiesner et al. (2013), S.36

¹⁶⁰ Wiesner et al. (2013), S.31

Informationen auftreten. Neue Informationen werden schließlich durch die Denk- und Wissensstruktur der Lernenden bewertet und interpretiert, weshalb sie von den beabsichtigten Lerninhalten abweichen können.¹⁶¹

Wie bereits erwähnt wurde, bestimmen Vorstellungen das Lernen, da die Schüler/innen alles, was sie lesen, hören oder sehen durch die Brille des bereits Bekannten, also auf Grundlage ihrer Vorstellungen, betrachten.¹⁶² Dieses Verhalten ist sogar bei den Beobachtungen von Experimenten präsent. Duit unterstreicht diesbezüglich, „wie wenig empirische Evidenz gegenüber festgefügt Vorstellungen auszurichten vermag“¹⁶³, denn Schüler/innen beobachten in Experimenten allein das, was ihnen ihre Vorstellungen erlauben, und nicht das, was aus Sicht des Lehrers klar und deutlich zu sehen sein sollte. Ein Beispiel aus der Unterrichtspraxis von Schlichting zeigt, dass Schüler/innen ein von ihren Vorstellungen „diktiert“ Beobachten an den Tag legen. Dazu wird der in Abb. 1 gezeigte Versuch durchgeführt. Bevor der Versuch demonstriert wird, werden die Schüler/innen gefragt, wo der Glühdraht zuerst glühend rot wird, wenn der Stromkreis geschlossen wird. *„Nach Durchführung des Experiments musste der Lehrer erstaunt zur Kenntnis nehmen, dass der Versuchsausgang die beiden `abtrünnigen` Gruppen offenbar nicht eines besseren belehrt hatte. Fast jeder sah das, was er zu sehen erwartete.“*¹⁶⁴ Die erwähnten zwei Gruppen sind zum einen Schüler/innen mit der Aussage, dass das Erglühen des Drahtes in der Mitte ansetze und sich zu den Enden ausbreite, und zum anderen jene Lernenden mit der Überzeugung, dass das Erglühen des Drahtes sich von der einen Seite zur anderen ausbreite, und zwar in Abhängigkeit von der Richtung des Stromes.

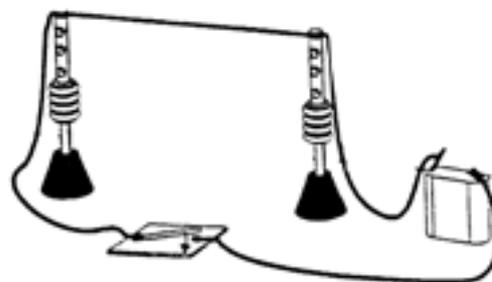


Abb 1: Versuchsaufbau , Duit (2002), S.11

¹⁶¹ Wiesner et al. (2013), S.37

¹⁶² Duit (2004), S.1

¹⁶³ Duit (2011b), S.9

¹⁶⁴ Zitat von Schlichting, zitiert in Duit (2011b), S.9

Obgleich die Schüler/innen tatsächlich das, was aus wissenschaftlicher Perspektive erwartet wurde, beobachten, akzeptieren sie doch nicht, dass ihre Vorstellungen falsch sind. Dies ist ein weiterer Aspekt, der die eingeschränkte Überzeugungskraft von empirischen Ergebnissen darstellt, sobald Schüler/innen von Präkonzepten geprägt sind.¹⁶⁵ Diese Experimente sind in der Regel „Entscheidungsexperimente“, die auf einen kognitiven Konflikt abzielen. Es werden von daher ganz bewusst Ergebnisse, die den Schülervorstellungen entgegenstehen, sehr deutlich demonstriert, jedoch glauben die Schüler/innen diesen Ergebnissen nicht und bemühen sich vielmehr, das Unerwartete „wegzudiskutieren“.¹⁶⁶ Hieran wird deutlich, dass dazu, Schüler/innen von einer wissenschaftlichen These überzeugen zu können, mehrere derartige Beobachtungen und eine neue Vorstellung, die den Schülern/innen einleuchtend ist, benötigt werden.¹⁶⁷

Die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen liegen in vielen Fällen „schief“ zu den physikalischen Lerninhalten.¹⁶⁸ Die Alltagsvorstellungen werden nicht als falsch gewertet, da sie sich in verschiedenartigen Alltagserfahrungen schon bewährt haben.¹⁶⁹ Der Interpretationsrahmen, den die Lernenden sich aufgrund ihrer Alltagsvorstellungen aufgebaut haben, hat sich in ihrem alltäglichen Leben schließlich längst als geeignet erwiesen.¹⁷⁰ Des Weiteren ist es gar nicht möglich, die Alltagsvorstellungen auszurotten. Demnach wird dann von einem erfolgreichen Physikunterricht gesprochen, wenn die Lernenden ihre Alltagserfahrungen im Rahmen der physikalischen Vorstellungen verstehen können.¹⁷¹ Das Ziel des Physikunterrichts kann es damit nicht sein, die Alltagsvorstellungen der Schüler/innen zu ersetzen, sondern stattdessen muss eine Koexistenz beider Vorstellungen für einen guten Unterricht erreicht werden.

Die Alltagsvorstellungen können sogar als Lerngelegenheit wahrgenommen werden, da aus Fehlern gelernt werden kann.¹⁷² Werden die Schüler/innen auf ihre Fehler aufmerksam gemacht und diese anschließend ausführlich diskutiert, so bietet dies für die Lernenden eine gute Gelegenheit dazu, sich das fachlich akzeptierte Wissen

¹⁶⁵ Duit (2011c), S.21

¹⁶⁶ Duit (2011b), S.9

¹⁶⁷ Duit (2011b), S.9

¹⁶⁸ Jung (2011), S.15

¹⁶⁹ Duit (2002), S.12

¹⁷⁰ Duit (2011b), S.9

¹⁷¹ Jung (2011), S.19

¹⁷² Duit, (2002), S.12

anzueignen. Außerdem könnten sie sich über die möglichen Fehlerquellen bewusst werden und somit mehr darauf konzentrieren, diese zu vermeiden.

4.1.5. Wissen über Präkonzepte hat Vorteile für den Lehrer und Unterricht

In den Forschungen zu den Vorstellungen hat sich herausgestellt, dass auch die Lehrkräfte von Schülervorstellungen geprägt sein können. Diese Vorstellungen betreffen sowohl das Fachwissen, d.h. bei schlecht ausgebildeten Lehrkräften sind die Schülervorstellungen zu den physikalischen Begriffen und Phänomenen ebenfalls vorhanden, als auch die Lehrtätigkeit an sich. Lehrer stünden der passiven Sicht vom Lernen näher als der Sicht des Lernens als aktiver Konstruktionsprozess.¹⁷³

Die gesammelten Erkenntnisse über Präkonzepte können dem Lehrer in vielerlei Hinsicht eine Hilfestellung anbieten. Zunächst einmal können sie sich über ihre eigenen Schülervorstellungen bewusst werden. Darüber hinaus bieten die Ergebnisse die Möglichkeit, die Einstellungen des Lehrers zum Unterricht zu korrigieren. Sicherlich sind sich die Lehrkräfte im Klaren darüber, dass Schülervorstellungen existieren, die im Unterricht Beachtung finden müssen. Anhand der Forschungsergebnisse werden die Lehrer das Verständnis dafür aufbringen, dass ihre Aufgabe viel umfassender ist, als einfach nur an die Schülervorstellungen anzuknüpfen. Das Lernen ist vielmehr ein langandauernder Prozess und eine einmalige Erklärung und Diskussion berichtigen die tiefverankerten Schülervorstellungen keineswegs. Es muss von daher ein ständiger Dialog zwischen den Alltagsvorstellungen und den physikalischen Vorstellungen hergestellt werden, damit die Schüler/innen nicht in ihre Alltagsvorstellungen zurück fallen.¹⁷⁴ Während dieses Dialogs werden die Schüler/innen dazu aufgefordert, das Wissen Schritt für Schritt zu konstruieren, indem immer wieder über das erworbene und das alte Wissen reflektiert wird.¹⁷⁵ Die Lehrkräfte müssen also „am Ball bleiben, am Ball der Beziehung zwischen Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen, und das oft jahrelang“.¹⁷⁶ Diese Einsicht wirkt simultan als eine Entlastung für die

¹⁷³ Duit (2011b), S.11

¹⁷⁴ Jung (2011), S.18

¹⁷⁵ Duit (2002), S.15

¹⁷⁶ Jung (2011), S.19

Lehrkraft, da der Misserfolg im Physikunterricht nicht primär auf persönliches Versagen zurückzuführen ist. Aus diesem Blickwinkel heraus kann sich die Lernschwierigkeit eher eingestanden und effektiver nach Lösungen gesucht werden. Neben diesen indirekten Hilfen formuliert Jung¹⁷⁷ direkte Hilfen für den Unterricht; konkret handelt es sich dabei um die Möglichkeiten für den Umgang mit den Schülervorstellungen. Diesbezüglich gibt es mehrere Vorgehensweisen, wie die Schülervorstellungen in den Unterricht implementiert werden können. Der Unterrichtsinhalt kann etwa so aufgebaut werden, dass er an die Schülervorstellungen anknüpft, sie umdeutet oder einen Widerspruch zu ihnen vor Augen führt. Diese Potentiale für den guten Unterricht werden im Folgenden näher erläutert.

Anknüpfung

Bei den Schülern/innen sind neben den lernhinderlichen Vorstellungen ebenso nützliche Vorstellungen ausgeprägt. Bei der Anknüpfungsstrategie wird ein bruchloser Übergang beabsichtigt, weshalb an Alltagsvorstellungen angeschlossen wird, die wenig mit dem Wissenschaftlichen kollidieren. Zum Beispiel ist die Vorstellung, dass die Batterie ein Speicher von Strom ist und in einem geschlossenen Stromkreis verbraucht wird, eine sehr verbreitete Schülervorstellung. Aus diesem Grund kann im Unterricht mittels Spannungsquellen wie z.B. der Solarzelle damit begonnen werden, dass Schüler/innen zunächst die Aufgabe einer Spannungsquelle in einem Stromkreis selbst begreifen. Dieses Wissen kollidiert nicht mit ihren Vorstellungen von einer Batterie.

Konfrontation

Bei dem Verfolgen dieser Strategie wird an Erfahrungen angeknüpft, die in Kontrast zu den Alltagserfahrungen der Schüler/innen stehen. Die Schüler/innen werden somit zu einem kognitiven Konflikt geführt, um sie von den physikalischen Vorstellungen zu überzeugen. Dieser kognitive Konflikt¹⁷⁸ kann durch Diskussionen über ein bestimmtes Phänomen oder aber Beobachtungen eines Experimentes¹⁷⁹ ausgelöst werden. Jedoch muss beachtet werden, dass Schüler/innen den Konflikt

¹⁷⁷ Jung (2011), S.19

¹⁷⁸ vgl. 4.1.6. nähere Erläuterungen für den kognitiven Konflikt

¹⁷⁹ vgl. 4.1.4.

manchmal nicht als solchen wahrnehmen, obwohl es aus Lehrersicht ein klarer Konflikt ist. Ferner muss in Erwägung gezogen werden, dass durch das Thematisieren der Alltagsvorstellungen die Schüler/innen bewusst über ihre Fehlvorstellungen nachdenken und sich davon überzeugen können.¹⁸⁰

Umdeuten

Schüler/innen sind auch von entwicklungsfähigen Vorstellungen geprägt. Diese Vorstellungen sind nicht falsch, sondern gründen auf einer physikalisch sinnvollen Bedeutung, wenn sie umgedeutet werden. Es soll dabei ein kontinuierlicher Übergang zwischen den Alltagsvorstellungen und Schülervorstellungen stattfinden. Zum Beispiel kann die Vorstellung des Stromverbrauchs in den Energieverbrauch umgedeutet oder verstanden werden, dass der Körper sich nicht aufgrund einer in ihm vorhandenen Kraft, sondern wegen des Impulses bewegt. Dieser Ansatz darf aber nicht dahingehend missinterpretiert werden, dass nur Wörter umgedeutet werden und das richtige Wort gelehrt wird, sondern es werden komplette Vorstellungen umgedeutet.

4.1.6. Unterrichtsstrategien zum Umgang mit Präkonzepten

Das Lernen von Physik ist sehr langwierig und der Lernprozess erstreckt sich über viele Jahre. Während dieses Lernprozesses wird der Lernende von seinem tatsächlichen Entwicklungsstand, also von seinen Vorstellungen, zu einem neuen und anderen Niveau, dem Niveau der Naturwissenschaften, geführt.¹⁸¹ Dieses Lernen der Physik wird als Konzeptwechsel angesehen, da die Lernenden von einem Konzept der Alltagsvorstellung zu einem neuen Konzept der physikalischen Sichtweise gelangen.¹⁸²

Im Falle der Konzeptwechselstrategie im Unterricht kann unterschieden werden, ob zunächst der physikalische Lerninhalte dargeboten wird und dann, nachdem die Schüler/innen sich damit auseinandergesetzt haben, ihre physikalischen Kenntnisse und Alltagsvorstellungen gegenübergestellt werden. Oder aber der Unterricht

¹⁸⁰ vgl. 4.1.6. Konzeptwechsel

¹⁸¹ Bliss (1996), S.9

¹⁸² Duit (2004), S.3

beginnt mit den Diskussionen über die Schülervorstellungen und nach deren Feststellung wird der Lerninhalt unterrichtet.¹⁸³

Ein entscheidender und viel diskutierter¹⁸⁴ Aspekt manifestiert sich darin, wie adäquat an die Schülervorstellungen angeknüpft werden soll. Diesbezüglich werden zwei Lernwege differenziert: der diskontinuierliche und der kontinuierliche Lernweg. Bei den kontinuierlichen Lernwegen wird eine Unterrichtsstrategie verfolgt, die einen bruchlosen Übergang von den Alltagsvorstellungen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen beabsichtigt, wie z.B. die Anknüpfungsstrategie und die Umdeutungsstrategie. Clement stellt die Brückenstrategie als einen weiteren kontinuierlichen Lernweg vor, da hierbei anhand von Zwischenschritten jene Übergangsbegriffe eingeführt werden, welche bis zum Zielbegriff weiterentwickelt werden.¹⁸⁵

Bei der diskontinuierlichen Unterrichtsstrategie steht der kognitive Konflikt im Vordergrund, wie es z.B. bei der Konfrontationsstrategie der Fall ist. Es werden die Fehlvorstellungen direkt angesprochen und die Schüler/innen werden mit diesen konfrontiert. Der Konflikt wird dadurch initiiert, dass die vorhandene kognitive Struktur und die wahrgenommene Realität nicht übereinstimmen oder die verschiedenen, nicht miteinander zu vereinbarenden Sichtweisen eines Problems kontrastiert werden. Im Anschluss an die Konfrontation werden die Lernenden zu einer Stellungnahme aufgefordert. An dieser Stelle entsteht Diskussionsbedarf, weil einige Experten der Meinung sind, dass es auch unbewusste Fehlvorstellungen gäbe, die aber durch dieses direkte Ansprechen für die Lernenden bewusst werden, woraufhin sie diese verteidigen.¹⁸⁶

Weiterhin ist darauf zu achten, dass der Konflikt für den Lernenden ebenso sichtbar sein muss wie für die Lehrkraft. Ein erfolgreicher Konzeptwechsel mittels kognitiven Konflikts hängt somit von der Lerngruppe ab. Den Lernenden aus jüngeren Altersstufen fällt sowohl das Erkennen des Konflikts als auch das Reflektieren seiner Erkenntnisse noch schwer. Das Leistungsniveau ist gleichermaßen entscheidend für diese Strategie, denn leistungsstarke Schüler/innen reagieren begeistert und engagiert auf die Konfliktstrategie, wogegen leistungsschwächere durch diese

¹⁸³ Wodzinski (2011), S.29f.

¹⁸⁴ Wiesner et al. (2013), S.48

¹⁸⁵ Wiesner et al. (2013), S.51

¹⁸⁶ Wodzinski (2011), S.30

Strategie vielmehr verunsichert werden.¹⁸⁷ In der nachstehenden Abbildung (Abb.5) sind die einzelnen Phasen einer Unterrichtsstrategie von Driver illustriert, bei der die Schülervorstellungen durch den kognitiven Konflikt umstrukturiert werden.¹⁸⁸

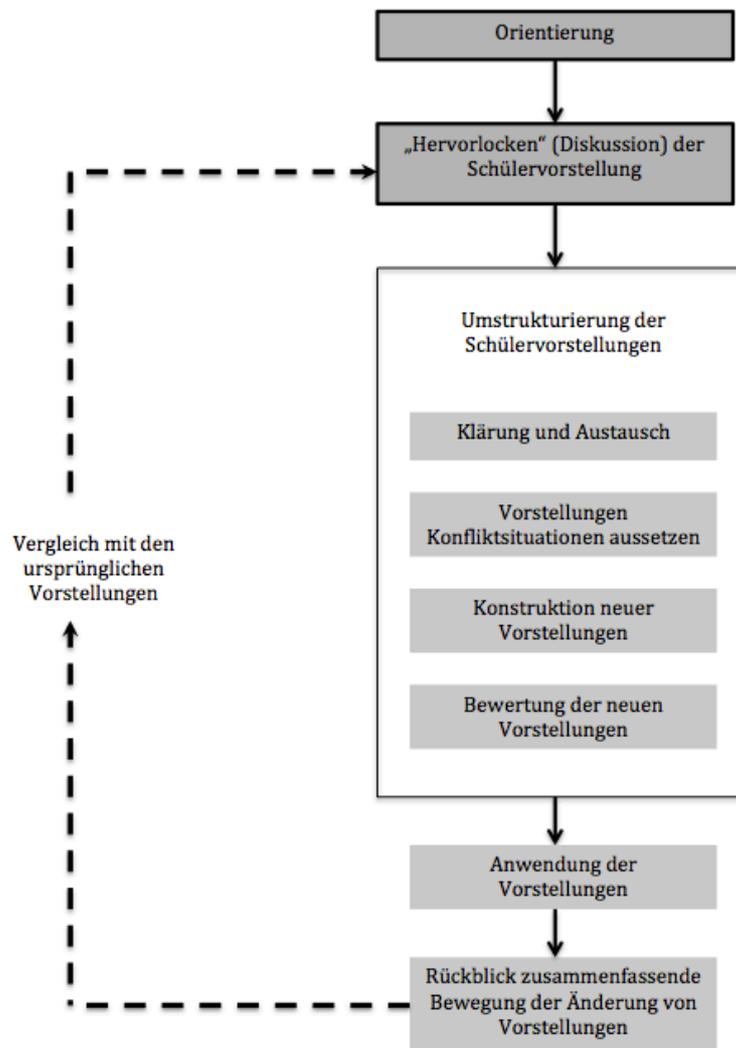


Abbildung 5: Phasen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie von Driver, Duit (2011b), S.13

Von Duit wird ein Grundmuster der Unterrichtsphasen (Abb.6) begründet, die zu einem erfolgreichen Konzeptwechsel führen, und zwar unabhängig davon, ob ein kognitiver Konflikt enthalten ist oder nicht¹⁸⁹

¹⁸⁷ Wodzinski (2011), S.32

¹⁸⁸ Duit (2011b), S.13

¹⁸⁹ Duit (2002), S.16 f.

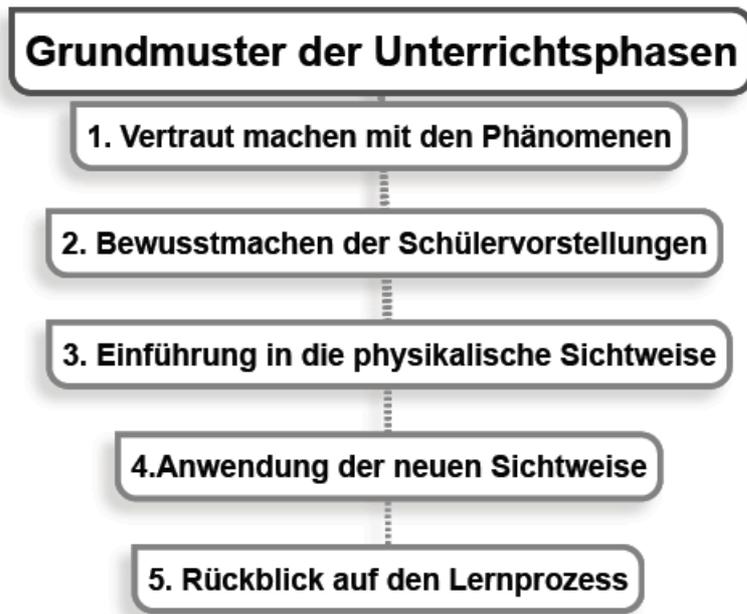


Abbildung 6: Unterrichtsstrategie von Duit, die den Konzeptwechsel im Unterricht unterstützt

Zu Beginn des Unterrichts erhalten die Schüler/innen die Gelegenheit, sich mit dem Lerngegenstand vertraut und dabei eigene Erfahrungen zu den Phänomenen zu machen. In der sich daran anschließenden Unterrichtsphase diskutieren sie über ihre Vorstellungen, die sie zu diesem Phänomen besitzen. Die physikalische Sichtweise wird folgend durch die Lehrkraft in der nächsten Phase thematisiert und die Schüler/innen wenden das Erlernte auf neue Beispiele an, um es zu festigen und zu erweitern. Schließlich reflektieren die Schüler/innen ihren eigenen Lernprozess kritisch und vergleichen ihre Vorstellungen zu Beginn und am Ende des Unterrichts miteinander.

Diese Phasen können sicherlich dahingehend variiert werden, ob ein diskontinuierlicher oder kontinuierlicher Lernweg beabsichtigt wird. Welche Unterrichtstrategie nun zum Lösen der Probleme der Schülervorstellungen besser geeignet ist, kann nicht eindeutig definiert werden, da es nicht nur *eine* funktionierende Strategie gibt. Die Entscheidung für eine Strategie hängt zum Teil davon ab, wie verbreitet die Schülervorstellung ist und welche Möglichkeiten für eine Umdeutung oder Brückenbauen vorliegen.¹⁹⁰ Das Lernen sollte vielmehr als ein Zusammenspiel von diskontinuierlichen und kontinuierlichen Lernwegen betrachtet

¹⁹⁰ Wiesner et al. (2013), S.53

werden, was mit sich bringt, dass in den Unterricht beide Lernwege integriert werden können.¹⁹¹

Allerdings sind für einen erfolgreichen Konzeptwechsel im Unterricht bestimmte Voraussetzungen sicherzustellen. Für die Schülervorstellungen soll gelten:

- “**dissatisfaction** with existing ideas” (Unzufriedenheit)
- “the new conception must be **intelligible**” (verständlich)
- “the new conception must appear initially **plausible**” (plausibel)
- „the new conception must be **fruitful**“ (fruchtbar)¹⁹²

Darüber hinaus spielt ohne Zweifel das allgemeine Unterrichtsklima eine entscheidende Rolle. Damit die Lernenden ihre Vorstellungen überhaupt preisgeben, muss ein vertrauensvolles Klima herrschen. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Unterrichtsform, denn bei offenen Unterrichtsformen erhalten die Lernenden eher die Möglichkeit, über ihre Vorstellung zu sprechen und sich mit den Mitschülern darüber auszutauschen.

Auch die Lehrerrolle als Entwicklungshelfer unterstützt den Unterricht, indem die Schülervorstellungen berücksichtigt werden. Der Lehrer wird in diesem Sinne nicht nur als eine Informationsquelle und Bewertungsinstanz angesehen, sondern übt die Tätigkeit als Helfer beim Lernen aus. Der Dialog zwischen den Alltagsvorstellungen und physikalischen Vorstellungen, der bereits im vergangenen Kapitel dargelegt wurde, muss durch den Lehrer deshalb gezielt gefördert werden. Dieses Ziel wird realisiert, indem der spezifische Nutzen der Alltags- und der physikalischen Vorstellungen ausgehandelt wird.¹⁹³

Die Kennzeichen eines erfolgreichen Unterrichts lassen sich vor diesem Hintergrund unter den folgenden Punkten wie folgt zusammenfassen.

- „-Die Schülervorstellungen ernst nehmen, sie ausdrücklich bei der Unterrichtsplanung berücksichtigen, sie im Unterricht ggf. zur Sprache bringen.
- Die Themen des Unterrichts in sinnstiftende Kontexte einbetten, damit sie den Schülerinnen und Schülern als lernenswert erscheinen.

¹⁹¹ Duit (2002), S.17

¹⁹² Bleichroth et. al (1999), S.197f.

¹⁹³ Duit (2011b), S.13

- Nicht allein Lernangebote machen, sondern diese nachhaltig unterstützen.
Freiräume für eigenständiges Erarbeiten des eigenen Wissens schaffen.“¹⁹⁴

Werden diese Unterrichtsstrategien eingeführt und die erforderlichen Faktoren sowie Kennzeichen berücksichtigt, so kann eines der Ziele des Physikunterrichts, die Duit formuliert, verwirklicht werden. Dieses manifestiert sich darin, den Lernenden zu vermitteln, dass es neben ihrer eigenen Vorstellung zugleich die physikalische Sichtweise gibt, die in bestimmten Situationen angemessener und fruchtbarer ist.¹⁹⁵ Es wird von daher nicht angestrebt, die Schülervorstellungen komplett als falsch auszuradieren. Obgleich der Lernende von den physikalischen Vorstellungen nicht überzeugt ist, „ihn dazu zu veranlassen, die Welt mit der ‚physikalischen Brille‘ zu sehen, kann doch erreicht werden- und darin mag sogar ein Lernanreiz liegen-, dass der Lerner probe- und vergleichsweise immer auch die physikalische Brille aufsetzt: Sie hat sich jedenfalls vielfältig bewährt. Wenn der Lerner am Ende seine Brille als ebenso gut, oder vielleicht sogar besser, beurteilt, sollte man sie ihm lassen-lernen soll er die physikalische als physikalische trotzdem.“¹⁹⁶

4.2. Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Entstehung der allgemeinen Präkonzepte und ihr Einfluss auf den Physikunterricht dargestellt. In diesem Abschnitt wird nun der Fokus auf die möglichen Schülervorstellungen zu den Begriffen und Phänomenen in der Elektrizitätslehre gerichtet.

Im Rahmen von zahlreichen Studien und wissenschaftlichen Artikeln ist schon über die unterschiedlichsten Schülervorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu den Grundbegriffen der Elektrizitätslehre berichtet worden. Die Präkonzepte der Schüler/innen werden dabei hauptsächlich anhand von Testergebnissen diskutiert. Umfangreiche Tests zur Erhebung der Schülervorstellungen entwickelten Ulla

¹⁹⁴ Duit (2004), S.5

¹⁹⁵ Duit (2004), S.3

¹⁹⁶ Jung zitiert in Wodzinski (2011), S.33

Maichle und Christian von Rhöneck in ihren Forschungen. Sie leisteten damit einen großen Beitrag zu diesem Forschungsgebiet, da viele weitere Forschungen sich auf die von ihnen konzipierten Fragebogen stützen.¹⁹⁷

Zur Ermittlung von Schülervorstellungen in diesem Abschnitt werden neben weiteren Forschungsergebnissen vor allem die Forschungen der eben genannten Experten herangezogen. Unter anderen beschreibt Willer, dass beide Ansätze umfangreiche Diagnosetests zu den Schülervorstellungen bieten, wobei sich ihre Vorgehensweisen in der konkreten Forschung voneinander unterscheiden. Maichle arbeite mit den kognitionspsychologischen Modellen der Wissensrepräsentation und wende sie auf die Diagnose an. Von Rhöneck diagnostiziere hingegen zunächst die Schülervorstellungen, untersuche deren Einfluss auf den Lernprozess und vergleiche seine Ergebnisse schließlich mit denen von anderen Autoren. Erst daraufhin deute und formuliere er seine Befunde über die Schülervorstellungen.¹⁹⁸

Die Untersuchungen zur Problemlösekompetenz ermöglichen ebenfalls Einblicke in die Schülervorstellungen,¹⁹⁹ zumal die Lernenden bei ihrem Ansatz des Problemlösens nach ihren eigenen Wissens- und Denkstrukturen auf bestimmte Begriffe und Regeln zurückgreifen.²⁰⁰ Caillot und Chalouhi berichten in ihrem Artikel „Problemlösen im Bereich der Elektrizitätslehre“²⁰¹ davon, dass Schüler/innen Stromkreisprobleme allein dann lösen könnten, wenn sie z.B. symbolische Informationen richtig verarbeiten und grundlegende Schaltelemente in komplexen Schaltungen erkennen sowie wahrnehmen können. Wird diesbezüglich ihr Problemlöseverhalten analysiert, so können auf diesem Wege Rückschlüsse über ihre Vorstellungen gezogen werden. Auch von ihm entwickelten Aufgaben werden in dieser Arbeit verwendet.

Damit in dieser Arbeit das angestrebte Ziel, durch geeignete Analogiemodelle die Schülervorstellungen zu irritieren, erreicht werden und die dazu notwendige Analyse der Schülervorstellungen für die didaktische Strukturierung durchgeführt werden kann, wurden auf der Grundlage von publizierten Forschungsergebnissen relevante

¹⁹⁷ vgl. Urban-Woldron & Hopf (2012)

¹⁹⁸ Willer (2003), S. 294

¹⁹⁹ v. Rhöneck (2011), S. 167

²⁰⁰ v. Rhöneck (2011), S. 167

²⁰¹ erschienen in der Zeitschrift Physikunterricht 1984,18 (2)

Informationen gesammelt. Diese Informationen zu den Schülervorstellungen wurden eigenständig strukturiert und zu übergeordneten Begriffen zusammengefasst.²⁰²

4.2.1. Die Entstehung der Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre²⁰³

Das Lernen der Elektrizitätslehre wird zum einen aufgrund der stabilen Alltagsvorstellungen und zum anderen durch das Lehren der abstrakten und hypothetisch-deduktiven Aspekte der Elektrizitätslehre erschwert. Hinzu kommt der Umstand, dass die physikalischen Begriffe zu enge Verknüpfungen zueinander aufweisen. Für viele Lernende ist eine Differenzierung zwischen den Begriffen *Energie* und *Strom* oder *Strom* und *Spannung* nicht einsichtig. Dies führt wiederum zu einer zusätzlichen Anstrengung für das Denken in Relationen.²⁰⁴

Bevor die notwendigen Kenntnisse über einfache Stromkreise oder die Probleme, welche aufgrund von Verbrauchervorstellungen auftauchen können, im Unterricht geklärt werden, wird in abstraktere Schaltkreise, das Ohm'sche Gesetz und die Energieberechnung eingeführt. Dies hat zur Folge, dass Schüler/innen gegenüber den Anforderungen des Unterrichts in Rückstand geraten und den Lerninhalt nur in geringem Maße verstehen. In einem derartigen Unterricht werden zudem die Alltagsvorstellungen der Schüler/innen nicht angesprochen, weshalb sie ebenso wenig geändert werden können und damit bestehen bleiben.²⁰⁵

„Die Elektrizitätslehre behält für den Schüler einen geheimnisvollen Aspekt“²⁰⁶, da die Lernenden nicht, wie es z.B. in der Mechanik der Fall ist, die Vorgänge direkt sinnlich wahrnehmen können. Als Folge davon bilden sich die Erklärungsmuster für diese Phänomene erst im Unterricht überhaupt aus, indem die Schüler/innen in das Verfahren des modellhaften Beschreibens und Denkens eingeführt werden. Dies bildet eine weitere Schwierigkeit für den Lerninhalt der Elektrizitätslehre.²⁰⁷

²⁰² In dieser Arbeit werden die Schülervorstellungen zu den physikalischen Begriffen und Phänomenen aus den Ergebnissen der Forschungen und Testfragen dargestellt. Dabei wird nicht angegeben, welche Vorstellung in den Tests mit welcher Häufigkeit auftritt. Details können in den angegebenen Literaturen nachgelesen werden.

²⁰³ Die Aspekte, die im Folgenden für die Entstehung der Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre genannt werden, sollten als Ergänzung zu den genannten Gründen in 4.1.1. verstanden werden.

²⁰⁴ Andersson (1984), S.32

²⁰⁵ Andersson (1984), S.35

²⁰⁶ Closset (1984), S.22

²⁰⁷ Langensiepen (1984), S. 6

4.2.2. Die Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre

Vorstellungen über den Strombegriff

Strom als Brennstoff / Stromverbrauchervorstellung

Wie bereits festgestellt wurde, lässt sich auch bei der Vorstellung über den Strombegriff, der im Physikunterricht zweifellos dominant ist,²⁰⁸ die wichtige Rolle der Alltagssprache bezüglich der Entwicklung der Schülervorstellung wiedererkennen. Die Schüler/innen sind der Überzeugung, dass der Strom wie eine Art Brennstoff verbraucht werden könne. Somit wird der Strom von der Glühlampe oder von anderen Geräten ihrer Auffassung nach vernichtet, verbraucht oder umgewandelt.²⁰⁹ Aus diesem Grund begegnet man häufig der Schüleraussage, dass im Stromkreis der Strom nach dem Widerstand eine geringere Stromstärke als vor dem Widerstand habe.²¹⁰ Diese Vorstellung wird durch die alltäglichen Redeweisen über die Stromerzeugung, den Stromverbrauch und die Stromkosten hervorgerufen und ist demnach ungemein fest verankert, so dass diese Meinungen auch durch Demonstrationsexperimente nicht dauerhaft verändert werden können.²¹¹ Willer bezeichnet diese Vorstellung als das Geben-Schema, wobei die Batterie (Agent) den elektrischen Strom (Objekt) enthält und diesen an den Widerstand (Rezipient) abgibt.²¹² Resultierend daraus stellen die Schüler/innen eine kausale Verbindung zwischen der Batterie und der Glühlampe her.²¹³ Die abgebildete Aufgabe (Abb. 7) soll in diesem Sinne dazu dienen, genau zu unterscheiden, ob die Glühlampe als Widerstand oder Verbraucher angesehen wird.

²⁰⁸ v. Rhöneck (2011), S.167

²⁰⁹ v. Rhöneck,(2011), S.167

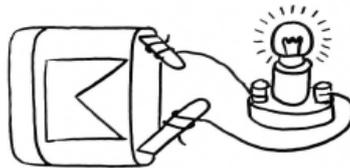
²¹⁰ Willer (2003), S. 298

²¹¹ Willer (2003), S. 315

²¹² Willer (2003), S.297

²¹³ v. Rhöneck & Niedderer (2006), S.53

③ Du siehst hier ein Lämpchen an eine Batterie angeschlossen. Das Lämpchen leuchtet. Entscheide!



	stimmt	falsch	weiß nicht
1. Die Lampe verbraucht den elektrischen Strom.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Die Lampe treibt den elektrischen Strom an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Die Lampe behindert den elektrischen Strom.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Die Lampe nimmt dem ankommenden elektrischen Strom einen Teil seiner Energie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Die Lampe ist ein elektrischer Widerstand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 7: Aufgabenstellung von Rhöneck & Völker (1984), S.401

In dieser Vorstellung wird der Strom als Objekt des Transferprozesses aufgefasst, obwohl er selbst den Prozess beschreibt. Folglich ist für die meisten Schüler/innen der Strom eine Art Substanz mit mengenartigem Charakter, die gespeichert werden kann.²¹⁴ Die Vorstellung vom „ruhenden“ Strom in der Batterie und in den Drähten wird in den Testaufgaben durch die 1. Aufgabe (Abb. 8) vor Augen geführt, wenn die Schüler/innen hier der Meinung sind, dass der Strom im Aufbau A und B vorhanden sei.²¹⁵

²¹⁴ Maichle (1982), S.384

²¹⁵ v. Rhöneck (2011), S.167 buch

① Schau Dir die vier Abbildungen A, B, C und D an

Nun lies jeden der drei folgenden Sätze durch und entscheide, auf welche der 4 Abbildungen er jeweils zutrifft. Mache in dem entsprechenden Kästchen ein Kreuz!

	A	B	C	D	weiß nicht
1. Das Lämpchen leuchtet in:	<input type="checkbox"/>				
2. Elektrischer Strom ist vorhanden in:	<input type="checkbox"/>				
(3. Elektrische Stromstärke ist vorhanden in:)	<input type="checkbox"/>				
4. Elektrische Spannung ist vorhanden in:	<input type="checkbox"/>				

② Für die nebenstehende Abbildung gilt: Es ist keine Lampe angeschlossen. Der Schalter ist eingeschaltet. Entscheide!

	stimmt	falsch	weiß nicht
1. Es ist ein elektrischer Strom in den Drähten zur Lampenfassung vorhanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(2. Es ist eine elektrische Stromstärke in den Drähten zur Lampenfassung vorhanden.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 8: Aufgabenstellung von Rhöneck & Völker (1984)

Abb. 2 a): Wie kann man das Lämpchen zum Leuchten bringen?

Abb. 2 b): Lösungsvorschläge

Abbildung 9: Aufgaben von Andersson (1984), S.33

Jene Schüler, welche keine Kenntnisse über Stromkreise besitzen, vertreten die Ansicht, dass zur Verbindung zwischen der Batterie und einer Glühlampe ein Draht ausreichen würde. Über diesen könnte der Strom aus der Batterie zum Lämpchen gelangen und sie zum Leuchten bringen. Der häufigste Lösungsvorschlag seitens der Lernenden für die Aufgabe, die in der Abbildung (Abb.9) zu betrachten ist, lautet

damit Schaltung A.²¹⁶ Werden die Schüler auf die beiden Pole an der Batterie hingewiesen, versuchen sie z.B. durch die Aussage, „es existiert ein Plus- und ein Minusstrom“, eine Erklärung dafür zu finden.²¹⁷ Auch diese Ansichten rühren von der Verbrauchervorstellung her und werden mittels der Alltagserfahrungen verfestigt: Der Staubsauger funktioniert schließlich, sobald das Kabel in die Steckdose gesteckt und der Strom eingeschaltet wird. Damit hängt wiederum zusammen, dass die Notwendigkeit des geschlossenen Stromkreises den Schüler/innen nicht bewusst ist.²¹⁸ Das Verständnis dieses simplen Systems ist allerdings unbedingt notwendig, bevor tiefer in die Elektrizitätslehre eingestiegen werden kann.²¹⁹

Die Interpretation der Stromverbrauchervorstellung offenbart, dass diese Vorstellung als eine Verbindung zwischen Strom- und Energievorstellung interpretiert werden kann. Die Eigenschaften des physikalischen Energiebegriffs werden dem Strombegriff zugeordnet. Die Schüler/innen benutzen das Wort *Strom*, wenn sie nach ihren Assoziationen zum Energiebegriff gefragt werden.²²⁰ Mit *Strom* wird für sie im Alltag fast immer Energie oder ein Energiestrom bezeichnet. Für die Schüler/innen sind die Konzepte des zirkulären Ladungsstroms und linearen Energiestroms nicht deutlich voneinander separiert. Die fachlich korrekte Bedeutung des Strombegriffs, also die zirkulierende Ladungsbewegung, wird im alltäglichen Sprachgebrauch schlichtweg nur sehr selten benötigt und ist den Lernern damit oft fremd.²²¹ Als Konsequenz daraus wird der Strom „als eine Substanz gesehen, die ähnlich wie Treibstoff Energie enthält und nicht wie Wasser Energie transportiert.“²²² Die Termini *Strom* und *Energie* werden von den Lernenden als Synonyme wahrgenommen, weshalb die Aussage „Strom ist Energie“ bei den Lernenden vielfach vorzufinden ist.²²³

I= konstant

Eine der Verbrauchervorstellung widersprechende, aber ebenfalls fachlich unzutreffende Vorstellung ist die Deutung der Bedingung dahingehend, dass die

²¹⁶ Andersson (1984), S.33

²¹⁷ Duit (2011a), S.3f.

²¹⁸ Wilhelm (2010), Folie Nr.4

²¹⁹ Andersson (1984), S.32

²²⁰ v. Rhöneck & Völker (1984), S.5

²²¹ Muckenfuß (2009), S.7

²²² Zitat von Niedderer & Goldberg (1995,77), zitiert in Urban-Woldron & Hopf (2012), S.203

²²³ Willer (2003), S.315

Stromstärke I im gesamten Stromkreis konstant bleibe. Diese Bedingung ruft bei den Schüler/innen die Vorstellung hervor, dass die Batterie stets die gleiche Stromstärke liefere und dieser Wert sich nicht ändere.²²⁴ Diese Vorstellung wird zusätzlich durch den häufig verwendeten Begriff „Stromquelle“ unterstützt.²²⁵

Die Schüler/innen vertreten die Überzeugung, dass die Glühlampen in einer Reihenschaltung geringer leuchten als ein einziges Lämpchen im Stromkreis, da alle Glühlampen den gleichen Strom teilen. Nach dem Verständnis der Schüler/innen impliziert dies, dass der Stromkreis stets den gleichen Wert für die Stromstärke aufweist, der wiederum alleine von der Batterie determiniert wird.²²⁶

Die Schüler/innen wenden das abgespeicherte Wissen über $I = \text{konstant}$ ohne große Überlegungen bei Problemen an. Dabei versuchen sie, in einer Vorgehensweise alle Formen von Schaltkreisen auf eine standardisierte Form (Abb.10) zu bringen, um auf diesem Fundament folgend die Regel $I_{ges} = I_1 + I_2$ erfolgreich anwenden zu können. Dies bedingt sicherlich falsche Ergebnisse, wenn einige Zweige der komplexen Schaltkreise nicht in diese Form übertragen werden können.²²⁷

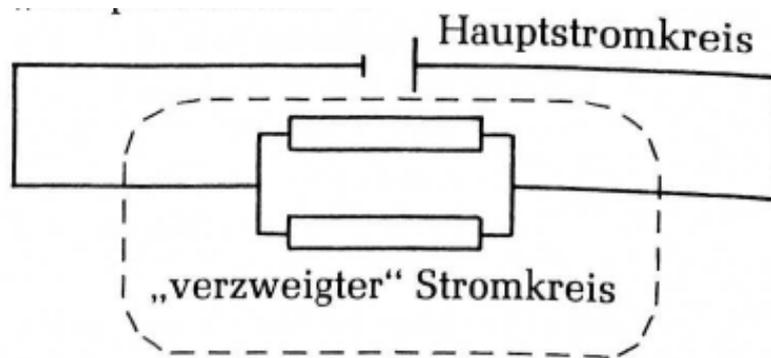


Abbildung 10 Standardisierter Stromkreis, Caillot & Chalouhi (1984), S.43

Demgegenüber setzten die Schüler/innen diese Bedingung als eine mathematische Formel ein oder wenden sie als ein Gesetz an den Knoten an, ohne den physikalischen Zusammenhang tatsächlich verstanden zu haben.²²⁸ Jene Fehler, welche beim Lösen derartiger Probleme auftauchen, lassen auf eine falsche Deutung der Bedingung $I = \text{konstant}$ schließen.

²²⁴ V. Rhöneck (2011), S.167f.

²²⁵ Urban-Woldron & Hopf (2012), S.203

²²⁶ Willer (2003), S. 299

²²⁷ Caillot & Chalouhi (1984), S.43f.

²²⁸ Caillot & Chalouhi (1984), S.44

Vorstellungen zum Spannungsbegriff

Auch den Spannungsbegriff kennen die Schüler/innen bereits aus ihrem Alltag außerhalb des Unterrichts, haben jedoch große Schwierigkeiten damit. Der Spannungsbegriff wird nicht ausreichend vom Strombegriff differenziert, außerdem wurde in den Untersuchungen deutlich, dass die Schüler/innen bei ihren Argumentationen den Strombegriff anstelle des Spannungsbegriffs bevorzugen.²²⁹

Gemäß den erhobenen Schülervorstellungen „hat“ der elektrische Strom eine Spannung.²³⁰ Die Spannung sei demnach eine Eigenschaft des elektrischen Stroms, wie etwa die Stärke oder Kraft des Stromes. In einer älteren Ausgabe des Dudens wurde Spannung gar als „Stärke des elektrischen Stroms“ definiert.²³¹ Aus diesem Grund erwarten die Schüler/innen, dass die Spannung nur an jenen Stellen des Stromkreises gemessen werden könne, an welchen der Strom auch existiert²³² Diese Vorstellung wird in der folgenden Aufgabe (Abb.11) deutlich.

Aufgabe 3:
Sie finden hier einige Sätze zur elektrischen Spannung, zum elektrischen Strom und zur Energie. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an!

	stimmt	falsch	weiß nicht
1.a Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.b Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.c Der elektrische Strom kann auch einmal ohne die elektrische Spannung vorkommen. *)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Der elektrische Strom ist Energie.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 11: Testaufgaben von Rhöneck (2011), S.168

Somit wird der Spannung der Charakter einer lokalen Größe zugeordnet, die an jedem Punkt des Leiters gemessen werden kann.²³³ Maichle berichtet in diesem Kontext davon, dass einige Schüler/innen während einer Untersuchung durch die Frage „Wie groß ist die Spannung *zwischen* den Punkten...“ verunsichert worden seien, weil nicht explizit ein Punkt zum Messen genannt wurde, so dass sie wissen

²²⁹ V. Rhöneck (2011), S.167

²³⁰ Willer (2003), S.295

²³¹ Muckenfuß (2009), S.7

²³² Willer (2003), S.299

²³³ Maichle (1982), S.386

wollten, welcher Punkt denn nun genau gemeint sei.²³⁴ Durch die folgende Aufgabe (Abb.12) untersucht Maichle das Vorhandensein dieser Vorstellung.

Aufgabe 1
Bei dem Stromkreis rechts wird an der Stelle, wo der Pfeil hinzeigt, das Verbindungskabel durchgeschnitten.

Welche Stromstärke zeigt A nach dem Durchschneiden an?

Welche Spannung zeigt V nach dem Durchschneiden an?

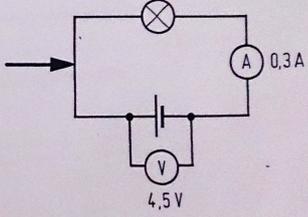


Abbildung 12 Testaufgaben von Maichle (1982), S.384

Aus der Grundlage der Vorstellung, dass Strom in der Batterie gespeichert werden könne, hat der Lernende keinen Anlass, über die Bedingungen und Voraussetzungen für das Entstehen eines elektrischen Stromes nachzudenken. Folglich verliert der Spannungsbegriff seine Bedeutung für den Stromkreis und als Voraussetzung für den Strom.²³⁵ Solange eine vollständige Differenzierung der Begriffe *Strom* und *Spannung* nicht erreicht wird, „bleibt jede definitorische Festlegung der Spannung lediglich eine bloße sprachliche Floskel.“²³⁶

Vorstellungen zum elektrischen Widerstand

Die Schüler/innen können sich nicht exakt vorstellen, was innerhalb des Widerstands geschieht, und sehen ihn als ein punktuell Hindernis im Stromkreis, dessen Wirkung nicht den gesamten Stromkreis beeinflusst.²³⁷ Wird der Stromkreis nicht als gesamtes System angesehen und kommen dann auch noch die Missverständnisse bezüglich der Stromstärke hinzu, so entstehen folgende Schwierigkeiten beim Widerstandsbegriff, die durch die Antworten der Aufgabe ans Licht treten.

²³⁴ Maichle (1982), S.386

²³⁵ Maichle (1982), S.384

²³⁶ Willer (2003), S.316

²³⁷ Willer (2003), S.298

Aufgabe 9:
Betrachten Sie die folgende Schaltung:

Der Widerstand $R_2 = 40 \Omega$ wird durch einen $50\text{-}\Omega$ -Widerstand ersetzt. Kreuzen Sie die richtige Antwort an:

a) Der Strom I_2 wird größer
 Der Strom I_2 bleibt gleich
 Der Strom I_2 wird kleiner

b) Der Strom I_1 wird größer
 Der Strom I_1 bleibt gleich
 Der Strom I_1 wird kleiner

c) Der Strom I wird größer
 Der Strom I bleibt gleich
 Der Strom I wird kleiner

Abbildung 13: Aufgaben von Rhöneck (2011), S.171

Bei den Schüler/innen ist eine inverse Widerstandsvorstellung ausgeprägt, die auch in dieser Aufgabe aufzudecken ist. In dieser Vorstellung wird davon ausgegangen, dass je größer der Widerstand ist, desto größer müsse auch die Stromstärke sein.²³⁸

Die Schülervorstellung, dass die Batterie eine konstante Stromstärke liefere, führt zum Kompensations-Denken.²³⁹ Darunter wird subsumiert, „dass in einer Parallelschaltung bei einer Änderung eines Widerstandes in einem Zweig Stromstärken derart ändern, dass die Verminderung in einem Zweig durch die Vergrößerung in einem Zweig ausgeglichen und somit kompensiert wird.“²⁴⁰ Hierbei soll der Wert der Summe der beiden Teilströme sich nicht ändern, weil die Batterie für den Stromkreis stets die gleiche Stromstärke liefert. Die Antwortkombination in der Aufgabe, die auf diese Vorstellung hindeutet, wäre demnach a3,b1,c2.

Eine weitere Schlussfolgerung manifestiert sich darin, dass die Stromstärke I =konstant im Stromkreis sich nicht ändere, obwohl der Wert des Widerstandes variiert wurde.²⁴¹ Die Schüler/innen, die der Meinung sind, dass der Wert des Widerstandes keine Wirkung auf die Stromstärke habe²⁴², zeigen dies, indem sie in der Aufgabe a2,b2,c2 ankreuzen.

²³⁸ Urban-Woldron & Hopf (2012), S.203

²³⁹ Willer (2003), S.315f.

²⁴⁰ Willer (2003), S.315f.

²⁴¹ v. Rhöneck (2011), S.167

²⁴² Urban-Woldron & Hopf (2012), S.203

Vorstellung zum System Stromkreis

Lokale Argumentation

Die Schüler/innen sollten von Anfang an den Stromkreis als ein System begreifen und wissen, dass Änderungen einzelner Größen auf den gesamten Stromkreis Einfluss haben. Dies ist ebenso wichtig wie das Wissen über die Grundbegriffe des Stromkreises, deren Definitionen und Zusammenhänge.²⁴³

Jedoch existiert die Schülervorstellung, dass der Stromkreis kein System ist, und die Aufmerksamkeit richtet sich auf das, was in einem Punkt des Stromkreises geschieht. In diesem Zusammenhang werden die Elemente des Stromkreises einzeln in Betracht genommen, wie z.B. die Lampe als ein Widerstand innerhalb des Stromkreises. Ihr wird eine Sonderstellung zugeordnet, wenn die Kabeln und Lampe als getrennte Teile betrachtet werden. Diese Sichtweise verursacht Probleme bezüglich der Grundaussage, dass der elektrische Strom im einfachen Stromkreis an jedem Punkt identisch ist.²⁴⁴ Auch die Batterie wird als ein unabhängiges Element wahrgenommen, das lediglich einen konstanten Strom liefert.

In den Vorstellungen wird damit ein Bild konstruiert, in dem der Strom am Verzweigungspunkt nicht wisse, was dahinter kommt.²⁴⁵ Die Stromstärke in den einzelnen Zweigen richtet sich also nicht nach den vorliegenden Widerständen oder anliegenden Spannungen. In der nachstehenden Aufgabe ist eben diese Vorstellung gut zu beobachten. Einige Schüler/innen sind davon überzeugt, dass $I_1 + I_2 + I_3 = 0,4 \text{ A}$ gilt, da die Stromstärke $I = 1,2 \text{ A}$ aufgrund der drei Zweige in drei gleich große Anteile geteilt werden müsse.²⁴⁶ Eine lokale Argumentation in der Art „der Strom muss sich aufteilen“ lässt auf keinen Gebrauch des Begriffs *Potentialdifferenz* schließen.²⁴⁷

²⁴³ Willer (2003), S.317

²⁴⁴ Maichle (1982), S.386

²⁴⁵ Urban-Woldron & Hopf (2012), S.204

²⁴⁶ v. Rhöneck (2011), S.168

²⁴⁷ Closset (1984), S.23

Die Birchen im folgenden Stromkreis sind alle gleich. Die Gesamtstromstärke beträgt 1,2 A.		
Wie groß sind die Stromstärken in den Verzweigungen?		
Ergänze die fehlenden Werte für I_1, I_2 und I_3!		
Stromstärke $I_1 =$		A
Stromstärke $I_2 =$		A
Stromstärke $I_3 =$		A

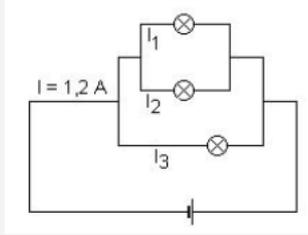


Abbildung 14: Testaufgaben von Urban-Woldron & Hopf (2014)

Sequentielle Argumentation

Eine aus der fehlenden Systemvorstellung herrührende Vorstellung ist, dass die Batterie einen konstanten Strom liefere, dem im Laufe des Stromkreises „Erlebnisse“ zustoßen. Jene Argumentationen, welche auf dieser Vorstellung basieren, werden unter dem Begriff der sequentiellen Argumentation zusammengefasst.²⁴⁸ Sie taucht meistens dann auf, wenn ein Widerstand in einer Reihenschaltung geändert wird, weil die Schüler/innen zwischen dem Strom „hinein“ und dem Strom „hinaus“ differenzieren. Demnach haben Änderungen an einem Punkt lediglich Auswirkungen auf Bereiche dahinter, wogegen sich Änderungen im hinteren Bereich des Stromkreises in den vorderen Bereichen nicht bemerkbar machen, da dort der Strom schon vorbei geflossen sei.²⁴⁹ Beim Einführen des Strombegriffs in den Unterricht kann diese Schülervorstellung unterstützt werden, wenn der Verlauf des Stromes von einer Elektrode zur anderen beschrieben wird. Daher analysieren die Schüler/innen den Stromkreis mit den Wörtern „vor“ und „nach“ z.B. dem Widerstand.²⁵⁰

Closset vertritt hierzu die Meinung, dass der globale Charakter des Stromkreises herauszustellen sei, um diese Argumentation abzumildern. Denn ihre Konsequenzen sind zum einen Widersprüche in den einfachen Erhaltungsgesetzen der Ladung und der Energie, zum anderen bereitet sie Schwierigkeiten bei der Erkennung der geometrischen Anordnung des Stromkreises.²⁵¹

Topologische Struktur

²⁴⁸ Closset (1984), S.21

²⁴⁹ V. Rhöneck (2011), S.168

²⁵⁰ Willer (2003), S.317

²⁵¹ Closset (1984), S.30

Im Verlauf ihrer Untersuchungen des Problemlösens in der Elektrizitätslehre stellten Caillot und Chalouhi fest, dass die Schüler/innen Schwierigkeiten beim Berechnen der Ersatzwiderstände in einem komplizierteren Stromkreis erkennen lassen.²⁵² Dabei haben nicht die Gesetze und Formeln, die bei der Berechnung der Widerstände in einer Reihen- oder Parallelschaltung zu betrachten sind, Schwierigkeiten bereitet. Vielmehr war das Erkennen der parallel oder in Reihe geschalteten Widerstände das größere Hindernis. Den Schüler/innen wurden Schaltskizzen vorgelegt, die mehrere Verzweigungen aufwiesen und deren geometrische Anordnung der Widerstände für sie nicht sofort erkennbar war, weil z.B. die parallelen Widerstände nicht parallel gezeichnet waren. Zum Lösen dieser Aufgaben versuchten die Schüler/innen, diese Schaltungen in Referenzschaltungen zu übertragen, die ihnen bekannt waren, Schüler/innen können die Parallelschaltung also nur als solche identifizieren, wenn die Widerstände im Schaltbild entsprechend parallel gezeichnet sind.²⁵³

4.2.3. Die Struktur in den Schülervorstellungen

Ohne Zweifel fallen die Verbindungen bzw. die Schnittstellen zwischen den dargestellten Kategorien von Vorstellungen auf. Das Zitat von v. Rhöneck unterstreicht diesen Zusammenhang wie folgt.

„Bei vielen Schülern entwickelt sich während des Unterrichts aus einer einfachen Verbrauchsvorstellung eine Vorstellung mit einem übermächtigen Strombegriff, der lokale und sequentielle Argumentationen miteinschließt und nicht durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ergänzt wird.“²⁵⁴

Es fällt schwer, die Vorstellungen der Schüler/innen exakt zu definieren, voneinander zu differenzieren und bestimmten Denkstrukturen zuzuordnen, da es unbewusste Vorstellungen sind oder sie unterschiedliche Gründe bei der Erzeugung haben.

Es werden unterschiedliche Versuche umgesetzt, um Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Vorstellungen zu veranschaulichen. Von Rhöneck und Völker stellen *Begriffsvernetzungen*²⁵⁵ auf, Maichle hingegen veranschaulicht die Denkstrukturen der Lernenden durch *modale*

²⁵² Caillot und Chalouhi (1984), S.37 ff.

²⁵³ Urban-Woldron und Hopf (2012), S.204

²⁵⁴ V. Rhöneck (2011), S.170

²⁵⁵ v. Rhöneck und Völker (1984), S.9 ff.

Wissensstrukturen²⁵⁶ und in dem Bericht des Karlsruher Physikkurses werden Vorstellungen zu drei „Klippen“²⁵⁷ zusammengefasst.

Urban-Woldron und Hopf verbinden die Schülervorstellungen in einem Strukturmodell miteinander. Sie unterscheiden darin zwei grundsätzliche Vorstellungen und ordnen die restlichen diesen zwei Kategorien unter. Dies begründen sie damit, dass die Stromverbrauchervorstellung wie auch Vorstellung von der Batterie als konstante Stromquelle zwei voneinander unabhängige Vorstellungen sind. Diese zwei Vorstellungen können bei den Lernenden zu Aussagen führen, die zu weiteren Vorstellungen zugeordnet werden können.²⁵⁸ Es ergibt sich eine Abhängigkeit, die in der folgenden Darstellung (Abb.15) abgebildet wird.

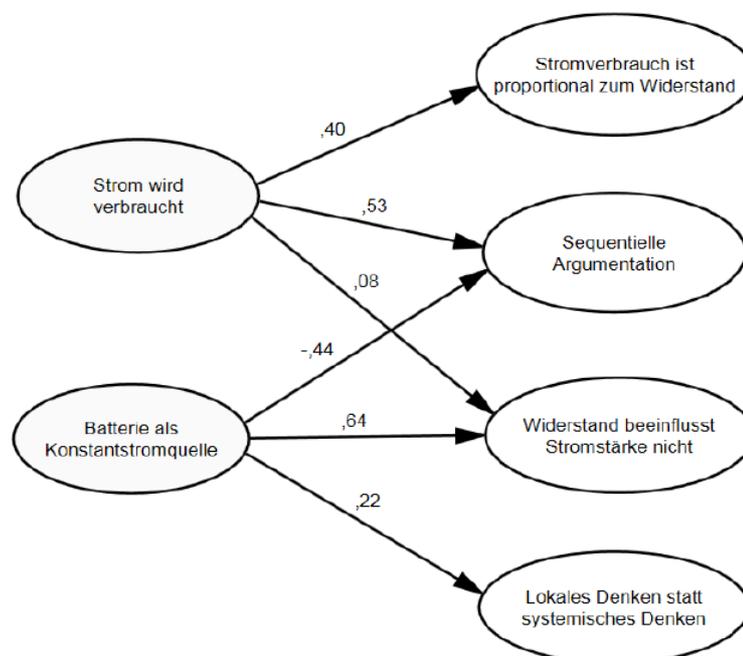


Abbildung 15 : Strukturmodell der Schülervorstellungen, Urban-Woldron & Hopf (2012)

Die Abhängigkeit zwischen den Schülervorstellungen, die in diesem Kapitel ausgearbeitet wurden, können durch das Strukturmodell von Urban-Woldron und Hopf gut wiedergegeben werden, sobald eine Erweiterung vorgenommen wird. In der Diskussion der Vorstellungen wurde ersichtlich, dass aus der Betrachtung der Batterie als eine Konstantstromquelle die Begriffe *Spannung* und *Strom* nicht

²⁵⁶ Willer (2003), S.297

²⁵⁷ Starauschek (2003), S.39

²⁵⁸ Urban-Woldron & Hopf (2012), S.223

ausreichend voneinander getrennt hervorgehen. Die weiteren Abhängigkeiten sind in der Darstellung (Abb.16) wiederzuerkennen.

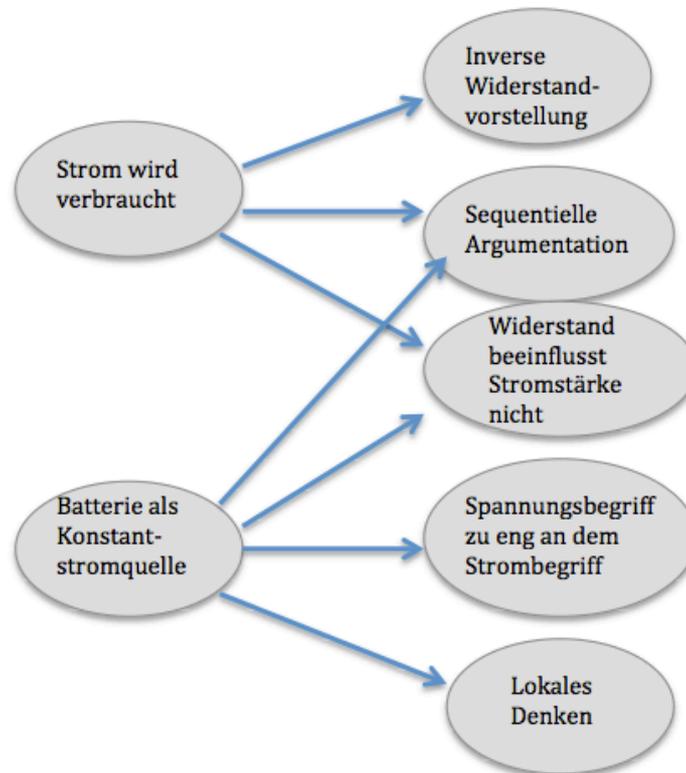


Abbildung 16: Strukturmodell der Schülervorstellungen

4.2.4. Folgerungen für den Physikunterricht

Die herausgearbeiteten Schülervorstellungen werden bei der didaktischen Strukturierung zur Orientierung zum Einsatz kommen.²⁵⁹ Nichtsdestotrotz können an dieser Stelle einige konkrete Hinweise für den Physikunterricht formuliert werden, in welchen die Schülervorstellungen adäquat berücksichtigt werden.

Die Zusammenfassung der Vorstellungen zu bestimmten Strukturen ist der Orientierung dienlich, damit die Lehrer sich auf spezifische Vorstellungen der Schüler/innen vorbereiten und, sobald sie auftauchen, direkt darauf reagieren können.

Von Rhöneck schlägt vor, nicht nur Details im Netzwerk, also einzelne Schülervorstellungen zu verändern, sondern das gesamte Netzwerk, z. B. die

²⁵⁹ vgl. Kap. 5.3.

Verbrauchervorstellung, durch ein neues und sachgemäßes zu ersetzen.²⁶⁰ Sobald nämlich nicht die gesamte Verbrauchervorstellung verändert wurde, wie es in dem Strukturmodell zu erkennen ist, so werden die Vorstellungen, wie z.B. die sequentielle Argumentation, immer wieder auftauchen.

Die Darstellung subjektiver Wissensstrukturen der Schüler/innen bringt den Vorteil mit sich, den Unterschied zwischen der objektiven und subjektiven Wissensstruktur zu verdeutlichen. Außerdem kann damit der Einfluss auf das jeweilige Lösungsverhalten nachvollzogen werden.²⁶¹

Die Lehrkraft sollte sich deshalb von Anfang an darum bemühen, dass in verschiedensten Zusammenhängen die Begriffe stets richtig voneinander getrennt werden und eine richtige Zuordnung der Bedeutungen stattfindet. Diesbezüglich kann man z.B. bei der Differenzierung der Begriffe *Strom* und *Spannung* nicht sagen, welcher Spannungsbegriff sich zur Einführung in das Thema bewährt hat, sondern es ist wichtig, auch die Schülervorstellung aufzugreifen und diese zu irritieren zu versuchen.²⁶²

Jung betont, dass für einen erfolgreichen Unterricht in der Elektrizitätslehre die Kontrolle der Begriffsbildung und des Regellernens besonders elementar sei. Dies könne anhand des regelmäßigen Übens mittels Aufgaben realisiert werden. Dabei sollen die Aufgaben eine Kombination von Wiederholungen und weiteren Schwierigkeiten darstellen. Diese Übungsphase soll jedoch unangekündigt eingesetzt werden, da oberflächlich angelerntes Wissen die Schwierigkeiten überdecken kann. Die folgende Aufgabe aus dem Test von Rhöneck ist eine in diesem Sinne.²⁶³

²⁶⁰ Willer (2003), S.318

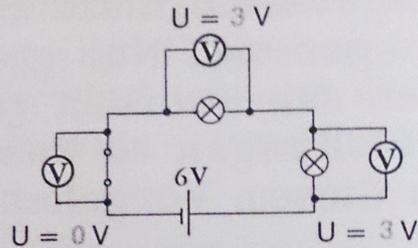
²⁶¹ Willer (2003), S.300

²⁶² Willer (2003), S.317

²⁶³ v. Rhöneck (2011), S.170

Aufgabe 12:

Die folgende Schaltskizze enthält einen geschlossenen Schalter. Schreiben Sie an die Meßinstrumente die Meßwerte:



Die folgende Schaltskizze enthält einen geöffneten Schalter. Schreiben Sie an die Meßinstrumente die Meßwerte:

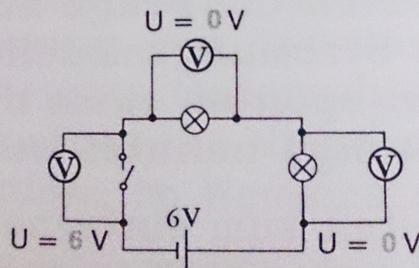


Abbildung 17 Testaufgaben von Rhöneck (2011), S.171

Aus diesem Grund ist es essentiell, dass die Physiklehrer die typischen Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre nicht nur kennen, um sie im Unterricht zu identifizieren. Sie sollten darüber hinaus die Verfahren entwickeln, mit denen die Schülervorstellungen ermittelt und kurz- sowie langfristige Veränderungen verwirklicht werden können. Es ist also zu konstatieren: „Die Wissensdiagnose muss zum unverzichtbaren Bestandteil der Unterrichtspraxis werden.“²⁶⁴

5 Die didaktische Strukturierung- Das Entwickeln eines Unterrichtskonzepts

Während den Forschungen zu den Schülervorstellungen wurden zu den Forschungsergebnissen unterschiedliche methodische Vorschläge für den Unterricht zur Einführung in die Elektrizitätslehre entwickelt. Darunter gibt es Vorschläge, die eine neue Herangehensweise an die Elektrizitätslehre als Lehrinhalt bevorzugen. Als Beispiel kann Muckenfuß genannt werden. Er strukturiert eine gesamte Unterrichtsreihe,²⁶⁵ in der der Stromkreis von Beginn an als ein System zur Energieübertragung verstanden wird. Der Energiebegriff wird als ein Basiskonzept in den Unterricht miteinbezogen. Um dies den Schüler/innen greifbar zu machen, entwickelt er einen Handgetriebenen Generator.²⁶⁶ Der Karlsruher Physikkurs hingegen führt das elektrische Potential als eine explizite Größe im Elektrizitätsunterricht der Sekundarstufe I ein.²⁶⁷ In weiteren methodischen Vorschlägen werden neue Objekte angefertigt, um den Lehrinhalt den Schüler/innen greifbar zu machen. Z.B. berichten Wiesener et al. von einer Leiterschleife, die aus dünnen und dicken Drähten zu einer Reihenschaltung verbunden und auf einer Scheibe montiert ist. In dem Konstrukt dient ein Kompass als Stromstärkeindikator.²⁶⁸ In einem weiteren Artikel stellt v. Rhöneck ein Stecksystem vor, das zur Erarbeitung von Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen dient.²⁶⁹ Für die Einführung des Spannungsbegriffs über die Kompensationsmethode haben Niedderer und Gohmert ein Brettchen angefertigt.²⁷⁰ Die Anzahl dieser Beispiele können durch einen Blick in die wissenschaftlichen Artikel gesteigert werden. Eine weitere methodische Vorgehensweise zur Einführung in die Elektrizitätslehre, die auch Gegenstand der didaktischen Strukturierung der vorliegenden Arbeit wird, ist das Veranschaulichen des elektrischen Stromkreises durch Analogiemodelle.

Im weiteren Verlauf des Kapitels wird zunächst der Einsatz von Analogiemodellen im Unterricht begründet und folgend darauf werden einige Beispiele aus der Literatur vergleichend dargestellt. Aus den Ergebnissen der Arbeit wird ein Analogiemodell als

²⁶⁵ Muckenfuß (2009), S.11

²⁶⁶ Muckenfuß (2009), S.1

²⁶⁷ Starauschek (2003), S.1

²⁶⁸ Wiesener et al. (1982), S.389f.

²⁶⁹ Rhöneck & Völker (1982), S.409

²⁷⁰ Niedderer & Gohmert (1982), S.395

Unterrichtsvorschlag abgeleitet. Dazu werden die in Kapitel 4.2. ausgearbeiteten Schülervorstellungen aufgegriffen um diese im Modell mitzubersichtigen. Abschließend wird das Modell detaillierter vorgestellt und ihre Grenzen werden dargelegt.

5.1. Begründung des Einsatzes von Analogiemodellen im Physikunterricht

Der elektrische Strom, die Spannung und der Widerstand sind für die Sinne nicht direkt zugänglich. Deshalb sind von Rhöneck und Völker der Meinung, dass grundsätzlich beim Thematisieren der Elektrizitätslehre auf Modelle nicht verzichtet werden kann.²⁷¹ Auch Niedderer und Gohmert sind davon fest überzeugt, dass ohne modellhafte Vorstellungen von dem, was in einem Draht oder in der Batterie geschieht, könne man keine Begriffe erklären.²⁷² Bei dem Einsatz der Modelle haben die Schüler/innen die Möglichkeit mit Bildern zu arbeiten, Objekte in die Hand zu nehmen und das Gelernte mit ihren Erfahrungen in Verbindung zu bringen. Es findet ein aktives Auseinandersetzen mit dem Lerninhalten statt. Dies hat deutliche Vorteile, da handlungsorientiertes Lernen eine bessere „Assimilation“ der Begriffe begünstigt.²⁷³ Wie z.B. die Analogie der Fahrradkette gegen das lokale Denken wirkt. Der Einsatz von Modellen fördert gleichzeitig bei Schüler/innen die Fähigkeit zum Transfer. Beim Arbeiten mit dem Analogiemodell wird von ihnen gefordert, dass sie Vergleiche und Verknüpfungen zu Bekanntem herstellen und dass sie eine erarbeitete Struktur auf eine neue übertragen. Die Schüler/innen lernen durch das Anwenden der Modelle außerdem noch, komplexe Strukturen zu überschaubareren zu reduzieren.²⁷⁴ Das Denken in Modellen leistet einen großen Beitrag zur Strukturierung des Wissens, da das Wissen in einen Zusammenhang gebracht wird.²⁷⁵ Ein weiterer Grund für den Einsatz der Modelle im Unterricht ist, dass nicht nur die Vorstellung bei jedem/r Schüler/in anders ist, sondern auch ihre Wahrnehmungen stark voneinander variieren.²⁷⁶ Aus diesem Grund ist es nach

²⁷¹ Rhöneck & Völker (1982), S.408

²⁷² Nidderer & Gohmert (1982), S.395

²⁷³ Closset (1984), S.30

²⁷⁴ Harreis (1993), S.24

²⁷⁵ Harreis (1993), S.25

²⁷⁶ vgl. Kap. 4.1.

Schwedes schwer einen kognitiven Konflikt für alle zu entwickeln. Daher biete es sich an, durch analogieorientierten Weg von Modellen ein Konzept zu entwickeln, das den Erwerb von Regeln und Prinzipien ermöglicht, mit denen die Fragen zu einem elektrischen Stromkreis beantwortet werden kann.²⁷⁷ Es muss aber beachtet werden, dass die Schüler/innen auch die Modelle unterschiedlich verstehen können, sogar missverstehen können. Daher könnte sich eine gute Visualisierung des Modells und die Aufgabenstellungen mit denen die Schüler/innen an dem Modell arbeiten hilfreich gegen die Missverständnisse wirken.

Analogiemodelle sollen eine Erleichterung bei der Hypothesenbildung ermöglichen. Somit haben sie nicht die Funktion die physikalischen Zusammenhänge zu beweisen.²⁷⁸ Bei der Hypothesenbildung unterstützt das Modell im Unterricht die Entwicklung der Fragestellungen innerhalb einer Diskussion, weil die Lernenden die Vorgänge in einem Modell zu ihrer Argumentation verwenden können. Denn für einen erfolgreichen Unterricht sollen die Lernenden ihre Erfahrungen reflektieren und daraus Fragestellungen ableiten, wie es in einem genetischen Unterricht gefordert wird.²⁷⁹ Außerdem besteht der Zweck des Modells darin, „unsere Phantasie in den Fällen zu beflügeln, in denen wir beim elektrischen Stromkreis auf Fragen stoßen, für die wir nicht ohne weiteres erklärende Antworten finden.“²⁸⁰

Modelle sollen als Lernhilfen im Unterricht eingesetzt werden, die nach Bedarf in den Unterrichtsgang eingebaut werden, sonst aber sofort beiseite gelegt werden. Die Modelle sollen die Aufgabe einer „Krücke zum Laufenlernen“ übernehmen.²⁸¹ In einem Unterrichtsvorschlag von Muckenfuß, in der in die Grundbegriffe eingeführt werden soll, wird es deutlich, dass das Analogiemodell Wasserkreislauf zur Einführung aller Begriffe verwendet wird. Dabei wird das Modell in allen Unterrichtseinheiten immer wieder in bestimmten Unterrichtsphasen zur Unterstützung und Vervollständigung der Vorstellungen eingesetzt.²⁸²

Der Zeitpunkt, zu dem das Modell im Unterricht eingesetzt wird, muss gut durchdacht werden. Wenn die Lernenden mit den Fachbegriffen, die neu eingeführt wurden, noch Schwierigkeiten haben, sollten keine Modelle vorgestellt werden, für die sie neue

²⁷⁷ Willer (2003), S. 318

²⁷⁸ Muckenfuß (1982), S.401

²⁷⁹ Muckenfuß (1982), S.401

²⁸⁰ Muckenfuß (1982), S.403

²⁸¹ Kircher (1984), S.48

²⁸² Muckenfuß (1982), S.402

Begriffe dazulernen müssen, wie z.B. beim Wasserkreislauf Druckdifferenz. Das Lernen von neuen Begriffen darf nicht eine weitere Belastung darstellen.²⁸³ Das Gummibärchen-Modell hingegen würde in dieser Hinsicht auch zu Beginn keine Schwierigkeiten bereiten, da es den Erfahrungen der Schüler/innen nahe ist. Darüberhinaus muss den Schüler/innen für das Arbeiten und für ein kreatives Denken Zeit gelassen werden. Ihnen soll die Möglichkeit zum Eigenständigen Arbeiten gewährleistet sein.²⁸⁴

Entwickelt man für jede Vorstellung eine andere Analogie so sind diese schwer in Einklang zu bringen, weil in den Analogien jeweils ein Begriff näher gebracht wird. Im Stromkreis werden jedoch die Begriffe zueinander in Beziehung gesetzt. Die Gesetze des Stromkreises würden „in der Luft hängen bleiben“, wenn diese Modellvorstellungen sich nur auf einen Begriff beziehen. Bei den Modellvorstellungen ist es notwendig, dass die Schüler/innen es mit ihren Erfahrungen verbinden können und dass sie die elementaren Gesetze des Stromkreises und die Grundbegriffe in einheitlicher Weise wiedergeben können.²⁸⁵

Kircher stellt einige Bedingungen für den Einsatz von Analogiemodellen im Unterricht auf²⁸⁶:

- Das Objekt des Analogiemodells muss leichter zugänglich sein und verständlicher als das reale Objekt. Zwischen diesen beiden Objekten sollen auf der sinnlich intuitiven Ebene Ähnlichkeiten vorhanden sein.
- Die theoretischen Strukturen zwischen dem Modell und dem physikalischen Sachverhalt soll über möglichst weite Bereiche identisch sein. Dies bedeutet, dass „Entsprechungen“ bestehen sollen, wie z.B. Druckunterschied im Wasserkreislauf entspricht der elektrischen Spannung im Stromkreis. Diese Entsprechungen sollen auch in den Gesetzmäßigkeiten Geltung finden
- Die Experimente sowohl in der Analogie als auch in dem realen Zusammenhang sollen auf der Handlungsebene gleich sein.

²⁸³ Harreis (1993), S.23

²⁸⁴ Harreis (1993), S.25

²⁸⁵ Willer (2003), S.319

²⁸⁶ Kircher (1984), S.49f.

5.2. Beispiele für Analogiemodelle

5.2.1. Vorstellen der Analogiemodelle

a) Der geschlossene Wasserkreislauf

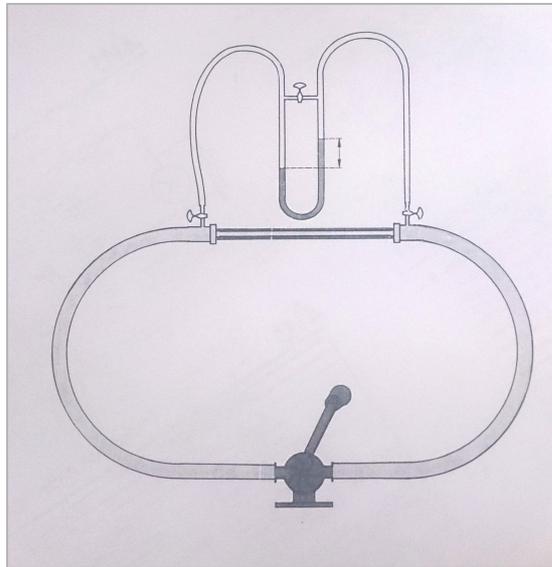


Abbildung 18: Der geschlossene Wasserkreislauf Muckenfuß (1982), S.419

Analogiemodell: Wasserkreislauf	Elektrischer Stromkreis
Wasserrohre	Kabel
Pumpe	Spannungsquelle
Wasser/ Bewegung des Wassers in einem abgeschlossenen kreisförmigen Rohr	elektrischer Strom/ Bewegung von Ladungsträgern in einem abgeschlossenen Kreis
Druckdifferenz	elektrische Spannung
Wasserstromstärke = Wasservolumen pro Zeit	elektrische Stromstärke = Ladung pro Zeit
Wasserstromstärke wird begrenzt durch die Kapillare	Die elektrische Stromstärke wird begrenzt durch den elektrischen Widerstand
Die Pumpe bewirkt nicht den Wasserfluss, sondern eine Druckdifferenz	Die Batterie bewirkt nicht den Stromfluss, sondern eine Spannung (Potentialdifferenz)
Erhaltung der Wassermenge	Erhaltung der Ladung

Tabelle 3: Wasserkreislauf

b) Höhenanalogien: Stäbchenmodell

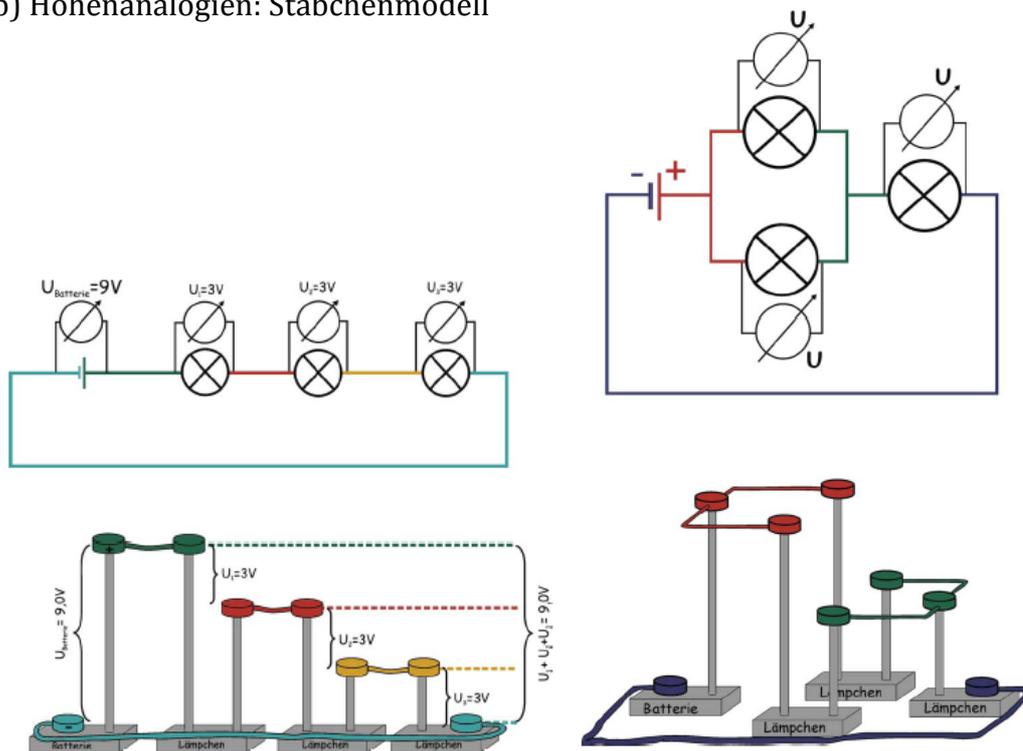


Abbildung 19 : Stäbchenmodell Wilhelm (2010)

Analogiemodell: Stäbchenmodell	Elektrischer Stromkreis
Höhenunterschied der Stäbchen an dem Holzplättchen „Batterie“	Spannung = Potentialdifferenz an der Batterie
Höhenunterschied der Stäbchen an dem Holzplättchen „Lämpchen“	Spannung = Potentialdifferenz an dem Widerstand
Verbindung zwischen den oberen Enden der Stäbchen	Kabel

Tabelle 4: Stäbchenmodell

c) Fahrradkettenmodell

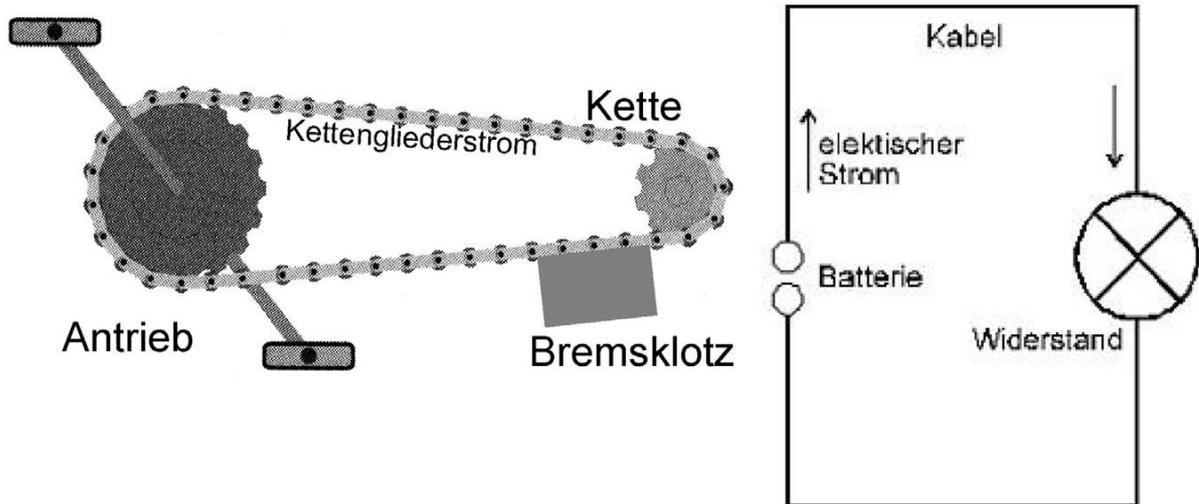


Abbildung 20 :Fahrradkettenmodell Wilhelm (2010)

Analogiemodell: Fahrradkettenmodell	Elektrischer Stromkreis
Kettenglieder	Elektronen
Gleichgewichts-Geschwindigkeit	Konstante Stromstärke
Konstanter Antrieb	Spannung
Die Geschwindigkeit wird begrenzt durch die Reibung mit dem Bremsklotz	Die elektrische Stromstärke wird begrenzt durch den elektrischen Widerstand

Tabelle 5: Fahrradkettenmodell

d) Gummibärchenmodell

Analogiemodell: Gummibärchenmodell	Elektrischer Stromkreis
Laufweg	Kabel
Schüler	Ladungsträger /Elektronen
Schüler „Gummibärchenverteiler“	Spannungsquelle
Schüler „Gummibärchenverbraucher“	Elektrischer Widerstand
Schülerstromstärke = Schülerzahl pro Zeit	Elektrische Stromstärke = Ladungsträger pro Zeit
Menge der Gummibärchen	Spannung = umgewandelte Energie pro Ladung

Tabelle 6: Gummibärchenmodell

5.2.2. Vergleich der Analogiemodelle



5.3. Das neue Unterrichtskonzept

5.3.1. Didaktische Strukturierung des neuen Analogiemodells

Durch die fachliche Klärung der wissenschaftlichen Sichtweise der Lehrinhalte hat sich gezeigt, welche Aussagen zu der Elektrizitätslehre vorliegen und welche ihrer Aussagen für die Lernenden Schwierigkeiten bereiten können. Es wurde aus der fachdidaktischen Perspektive analysiert, in welchem Kontext die verwendeten Begriffe stehen und wie die Zusammenhänge und Verknüpfungen zwischen den Fachtermini der einfachen Elektrizitätslehre hergestellt wurden. Des Weiteren wurde auch ein Überblick der verschiedenen Erklärungsmuster der Lehrwerke geschaffen. Werden diese Erkenntnisse mit den möglichen Schülervorstellungen gegenübergestellt, so lassen sich für einen Unterricht Rückschlüsse ziehen. Aus den Feststellungen kann nämlich beantwortet werden, welche die wichtigsten Elemente der Schülervorstellungen sind, die im Unterricht berücksichtigt werden müssen und welche Möglichkeiten sich für den Unterricht ergeben, um diese Schülervorstellungen zu berücksichtigen.

Die Entscheidung für die Unterrichtsmethodik, die in der vorliegenden Arbeit entwickelt wird, wurde bereits in diesem Kapitel begründet. Nun wird durch das Zurückgreifen auf die Schülervorstellungen entschieden, wie das Analogiemodell ausgearbeitet wird und welche Form es annehmen muss, um die lernhinderlichen Schülervorstellungen zu unterbinden.

1.) Strom als Brennstoff/ Stromverbrauchervorstellung

Um gegen die Stromverbrauchervorstellung entgegenzuwirken, ist es notwendig den Lernenden die zwei unterschiedlichen Flüsse in dem Stromkreis zu veranschaulichen. Sie müssen erkennen, dass in einem Stromkreis sowohl ein linearer Energiefluss als auch ein zirkulierender Stromfluss existiert. Die Schüler/innen müssen die Begriffe „elektrische Energie“ und „elektrischer Strom“ differenzieren können. Das Fahrradkettenmodell eignet sich für die Darstellung dieses Inhalts, jedoch erfolgt hier die Energieübertragung ohne Materieumsatz. Deshalb könnten einige Schüler/innen die Energieübertragung nicht sofort wahrnehmen. Die Differenzierung wird auch in dem Analogiemodell Gummibärchen erfüllt, in dem deutlich zwischen den Ladungsträgern, die die Schüler darstellen und der Energie, die die Gummibärchen veranschaulichen, unterschieden wird. Da diese Idee lernförderlichen Charakter hat, wird es auch in das neue Analogiemodell aufgenommen. Sie wird aber um einen

weiteren Gedanken ausgebaut. Anstelle des Verzehens, in der die Energieumwandlung für einige Schüler/innen vielleicht nicht so ersichtlich sein könnte, kann etwas, wie z.B. Obst eingesetzt werden. Dies hätte den Vorteil, dass die Früchte an einer Fruchtsaftpresse, welche den Widerstand repräsentiert, eine Umwandlung erleben und in Fruchtsaft gepresst werden.

Ein weiterer Aspekt ergibt sich auch aus der richtigen Verbrauchervorstellung. Wie es auch in dem Gummibärchenmodell der Fall ist, wird auch in dem entwickelten Modell die Notwendigkeit für einen Rückweg für die Wagen bzw. geschlossener Kreislauf für den Strom einsichtig.

2.) $I = \text{konstant}$

Die Bedingung, dass die Stromstärke innerhalb des Stromkreises überall konstant bleibt, kann durch die konstante Anzahl der Wagen, die die Obststücke transportieren für die Schüler/innen verständlich gemacht werden. Es kommen keine weiteren Wagen dazu oder kein Wagen verlässt die Schienen. Auch der geschlossene Wasserkreislauf ist in diesem Punkt vielversprechend. Da aber die Erfahrungen der Schüler/innen mit diesem Konstrukt fehlen und die Physik mit Physik erklärt wird, würde bei ihnen die intrinsische Motivation fehlen mit dieser Analogie zu arbeiten.

Durch das Bild der transportierenden Wagen wird auch verhindert, dass die Spannungsquelle als ein Stromreservoir angesehen wird. Die Spannungsquelle, in dem Modell durch einen Vorratscontainer für die Früchte dargestellt, enthält Energie. Den konstanten Wert des Stroms, unabhängig von dem Aufbau des Stromkreises liefert die Batterie. Dieser falsche Interpretation der Bedingung $I = \text{konstant}$ kann auch mit der vorgestellten Analogie entgegen gewirkt werden.

3.) Die Spannung im Stromkreis

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Spannung im Stromkreis zu erklären. Die Spannung über die Potenzialdifferenz zu veranschaulichen gelingt z.B. mit dem Stäbchenmodell sehr gut. Dass die Spannung als Arbeit pro Ladung definiert wird, kann eine Analogie erklären, bei der die Ladungsträger und Energie deutlich voneinander getrennt werden. Wird es erreicht, innerhalb eines Modells der elektrischen Spannung eine klare Bedeutung zuzuordnen, besteht auch nicht mehr die Gefahr, dass die Schüler/innen die Spannung als eine Eigenschaft von Strom ansehen. In dem Analogiemodell kann die Menge des Obstes pro Wagen der

elektrischen Spannung entsprechen. Die Schüler/innen können in diesem Fall gegeneinander abgrenzen, dass der elektrische Strom durch die Wagen dargestellt wird und die Spannung die Menge der Früchte pro Wagen angibt.

4.) Der Widerstand im Stromkreis

Die Schüler/innen können sich nicht vorstellen, welcher Vorgang sich in einem elektrischen Widerstand ereignet. Durch die Fruchtsaftanalogie kann zumindest zum Vorschein kommen, dass der Widerstand Energie benötigt und diese in eine andere Form umgewandelt wird. Dabei kann auch ein Teil der Energie eine Form annehmen, die nicht in Verwendung genommen werden kann. In diesem Fall wären es die Schalen oder die Kerne der Obststücke, die nicht als Fruchtsaft verwertet werden können.

5.) Systemaspekt des Stromkreises

Um den Systemaspekt des Stromkreises den Lernenden begreiflich zu machen, hilft eine Analogie wie die Fahrradkette. Der Bremsklotz veranstaltet eine lokale Reibung, die alle Kettenglieder zeitgleich beeinflusst. Somit wird der Systemcharakter hervorgehoben. Die Veränderung einer Größe im System muss sich auf das gesamte System auswirken. Da im Fahrradkettenmodell die Größe Spannung nicht deutlich wird, sollte das Analogiemodell eine andere Form haben. Das Fruchtsaftmodell eignet sich um den Stromkreis als ein gesamtes System zu verstehen, da zunächst das gesamte System betrachtet werden muss bevor der Vorgang in Betrieb genommen wird. Es wird bestimmt, wie viel Obst benötigt wird, wie viel vom Container pro Wagen geladen werden kann und welche Anzahl von Transportwagen benötigt wird. Wenn alle Größen aufeinander abgestimmt sind, kann der Transport in Gang gesetzt werden.

5.3.2. Das Fruchtsaftmodell



Analogiemodell: Fruchtsaftanalogie	elektrischer Stromkreis
Schienen	Kabel
Wagen	Ladungsträger
Container mit Früchten	Stromquelle
Fruchtsaftpresse	Widerstand
Wagenzahl pro Zeit:	Elektrische Stromstärke Ladung pro Zeit
Menge der Früchte in den Wagen	Spannung: Elektrische Energie pro Ladung
Die Fruchtsaftpresse verbraucht keine Wagen, sondern wandelt die Früchte in Saft um	Das Gerät verbraucht keinen Strom, wandelt die elektrische Energie in eine andere Form um

Tabelle 7: Fruchtsaftmodell

Das Obst in einem Vorratsbehälter muss zu einer Fruchtsaftpresse transportiert werden. Dabei stellt der Vorratsbehälter die Spannungsquelle da, das Obst die Energie und die Fruchtsaftpresse repräsentiert den elektrischen Widerstand. Aufgrund des Transports ergibt sich die Notwendigkeit eines Systems mit Transportwagen, die am günstigsten sich in einem geschlossenen Kreis auf Schienen bewegen. Diese Wagen entsprechen den Ladungsträgern im elektrischen Stromkreis, die sich durch die Kabeln bewegen. Wichtig dabei ist, dass die Wagen alle gleich sind und dicht aneinandergereiht sind. Durch ihren ständigen Kontakt zueinander schieben sie sich gegenseitig. Vom Container kann immer eine bestimmte Menge pro Wagen verteilt werden bis der Vorrat aufgebraucht ist. Dieser Betrag kann je nach Bedarf an Fruchtsäften variieren. Das System kann auch auf mehrere Fruchtsaftpressen oder Container ausgeweitet werden. Sie können dann sowohl in Reihe oder auch parallel angeordnet werden. Existieren mehrere Pressen im System, kann die Energie, also das Obst auf alle aufgeteilt werden. Dabei wird von Anfang an festgelegt, welche Fruchtsaftpresse wie viel Obst benötigt. Dementsprechend wird auch die Anzahl der Wagen angegeben.

5.3.3. Diskussion des Fruchtsaftmodells

Der Vergleich der vier Analogiemodelle in Abschnitt 5.2. ließ die Entscheidung für eine Analogie in der vorgestellten Form zu gestalten treffen. Das Modell sollte nicht wie in dem Wasserkreislaufmodell die Zusammenhänge durch eine weitere Analogie aus dem wissenschaftlichen Bereich darstellen. Dies fördert bei den Schüler/innen, die kein Interesse für Physik haben, nicht die Motivation. Das Stäbchenmodell und das Fahrradkettenmodell sind zwar verständliche Darstellungen, jedoch thematisieren sie einen kleinen Umfang des Lehrinhalts für den elektrischen Stromkreis. Außerdem ist ein Konstrukt, wie das Stäbchenmodell abstrakt und die Lernenden können es nicht mit ihren Erfahrungen verbinden. Das Gummibärchenmodell hingegen spricht die Erfahrungen der Schüler/innen an und hat somit einen erheblichen Vorteil, was die Motivation angeht. Es könnte einer positiven Lernatmosphäre dienen. Aus diesem Grund sollte das Fruchtsaftmodell auch einen vertrauten Inhalt den Schülern anbieten. Sie haben zwar keine Vorerfahrungen mit der Situation die in dem Modell dargestellt wird, kennen aber die einzelnen Teile und Objekte. Das es eine neue Situation für sie ist, hat Vorteile. Sie werden vielmehr zum eigenständigen Denken gefordert, indem sie versuchen die Vorgänge nachzuvollziehen und weiter zu entwickeln. Auch die leichte Verständlichkeit spricht für dieses Modell. Der Einsatz des Modells könnte vielen lernhinderlichen Schülervorstellungen entgegenwirken, vor allem gegen die Verbrauchervorstellung, wie es bereits am Anfang des Kapitels beschrieben wurde. Das Modell bietet auch die Gelegenheit es auszuweiten und weiterzuentwickeln. Somit könnte es auch allgemeiner formuliert werden und könnte auch mehrere physikalische Zusammenhänge darstellen.

Modelle haben die Aufgabe des Erklärens und nicht des Beweisens. Bei einem derartigen Modell können die Schüler/innen das Modell und den eigentlichen physikalischen Unterrichtsinhalt gut voneinander trennen.

Kritisiert kann das Modell in dem Punkt der sequentiellen Argumentation. Obwohl es den Stromkreis als System veranschaulicht, können die Schüler/innen immer noch die Vorstellung von einem Bereich „vor“ und „nach“ dem Widerstand oder der Quelle haben. Außerdem wird es nicht ganz deutlich, wie die Wagen angetrieben werden und wie das Beladen und Entladen der Wagen stattfinden. Zwar wurde die Darbietung der Energieübertragung mit Materieumsatz befürwortet, jedoch kann dies die Vorstellung, in der Energie mit Stoff gleichgesetzt wird, erwecken. Sicherlich

können auch die großen Mengen von Elektronen in den Leitern in einem Modell nicht dargestellt werden.

Die hier genannten Punkte zu dem Modell sind Überlegungen, die sich nicht auf empirische Untersuchungen stützen. Im abschließenden Teil der Arbeit werden weitere Gedanken ausgeführt, die zeigen, wie das Modell noch weiter entwickelt werden kann. Außerdem werden im Ausblick weitere Arbeitsschritte zum Fortsetzen der vorliegenden Arbeit präsentiert. Aus der Durchführung dieser Arbeitsschritte, werden sicherlich weitere Ideen und Ansätze hervorgehen, die auf die genannten Kritikpunkte eingehen.

6 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde primär das Ziel verfolgt, eine neue Unterrichtsstrategie didaktisch zu rekonstruieren, die eine Irritation der Schülervorstellungen zum einfachen elektrischen Stromkreis anstrebt. Aus dieser Intention heraus wurde zunächst die wissenschaftliche Sichtweise jener Grundbegriffe, welche für das Lehren und Lernen des Stromkreises relevant sind, fachlich geklärt. Repräsentativ für die wissenschaftliche Perspektive wurden vier in den Hochschulen bevorzugte Lehrwerke einer Analyse unterzogen.

Im anschließenden Abschnitt wurde die weitere Perspektive, die sich in den Schülervorstellungen manifestiert, in den Fokus gerückt. Dabei wurde zum einen der Einfluss der vorunterrichtlichen Vorstellung im allgemeinen Physikunterricht herausgearbeitet, zum anderen wurden die Schülervorstellungen bezüglich des Stromkreises dargeboten. Die Ergebnisse dieser beiden Analysen, also der fachlichen Klärung und Erhebung der Schülervorstellungen ermöglichten es, ein Analogiemodell des einfachen elektrischen Stromkreises zu konzipieren, das im Vergleich zu weiteren Modellen einige Vorteile bieten kann. Diese Vorteile liegen vor allem in der Berücksichtigung der Schülervorstellungen, da das Modell Schritt für Schritt durch eine bewusste Auseinandersetzung mit diesen erarbeitet wurde. Darüber hinaus wurden weitere Erkenntnisse, die ebenfalls im Fruchtsaftmodell verarbeitet worden sind, anhand der kritischen Betrachtung der Modelle aus der Literatur gewonnen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Abschnitte der Arbeit in Bezug auf die forschungsleitende Fragestellung erläutert, die im ersten Kapitel postuliert wurde. Diesbezüglich soll unter anderem ersichtlich werden, welchen Beitrag das Resultat dieser Arbeit für die Forschungsfrage leistet. Aus diesem Grund werden die Grenzen und Relevanz der vorliegenden Forschung diskutiert. Die weiteren Arbeitsschritte, die für einen vollständigen Untersuchungsablauf als notwendig erachtet werden, lassen sich aus der Diskussion heraus ableiten. Sie werden im weiteren Abschnitt als Ausblick formuliert. Abschließend werden zumindest kurz die persönlichen Erkenntnisse, die während der Ausübung der wissenschaftlichen Tätigkeit gewonnen wurden, konkret geschildert.

6.1. Ergebnisse der Arbeit

Das Resultat dieser Ausarbeitung ist das Fruchtsaftmodell, das eine Analogie für den elektrischen Stromkreis liefert.²⁸⁷ Dieses Modell soll bewusst gegen bestimmte Schülervorstellungen im Physikunterricht im Rahmen der Einführung und Vertiefung in das Thema der Stromkreise zur Anwendung kommen, um den lernhinderlichen Aspekt der vorunterrichtlichen Vorstellungen zu unterbinden. Die Arbeit verfolgte die Zielsetzung, ein Unterrichtskonzept orientiert an dem Modell der didaktischen Rekonstruktion zu entwickeln, die die Schülervorstellungen irritiert. Da ein vollständiges Auslöschen der Vorstellungen aber nicht realisierbar ist, wird die eben erwähnte Irritation beabsichtigt.²⁸⁸ Dies stellt den ersten Schritt des Bewusstwerdens bei den Schüler/innen über ihre Vorstellungen dar.

Welchen Beitrag die Teilergebnisse aus den Abschnitten der Arbeit zur Forschungsfrage leisten, diese Antwort wird an dieser Stelle präsentiert. Es wurde vorab der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Forschungen, die sich mit Schülervorstellungen befassen, erarbeitet und skizziert. Daraus wurde das Wissen gewonnen, dass zweifellos vorunterrichtliche Schülervorstellungen existieren, die nicht den wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechen. Diese wissenschaftlichen Vorstellungen wurden auch innerhalb dieser Arbeit in der fachlichen Klärung innerhalb deutlich. Dass jedoch diese Schülervorstellungen irritiert werden können und es dazu bereits erforschte Strategien, wie z.B. den kognitiven Konflikt, gibt, lies sich ebenso aus der Untersuchung schlussfolgern. Dies deutete darauf hin, dass es tatsächlich möglich sein muss, die Schülervorstellungen zu irritieren, wie es in dem Forschungsvorhaben avisiert wurde.

Ferner wurden, statt eine eigene Befragung durchzuführen, systematisch die Schülervorstellungen in Bezug auf die elektrischen Stromkreise herausgearbeitet. Die Vorstellungen wurden eigenständig kategorisiert und die relevanten Abhängigkeiten untereinander dargestellt. In diesem Kontext wurde kontinuierlich der Bezug zu den Erkenntnissen aus der fachlichen Klärung hergestellt. Die fachliche Klärung liefert schließlich einen Einblick darin, was aus fachlicher Perspektive unter elektrischem Stromkreis und unter den relevanten Grundbegriffen der Elektrizitätslehre zu

²⁸⁷ vgl. Kap. 5.

²⁸⁸ vgl. Kap. 4.1.

verstanden ist. Für die Forschungsabsicht ist die fachliche Klärung von großer Relevanz, zumal sie aus wissenschaftlicher Perspektive den korrekten Rahmen schafft, mit dessen Hilfe dann auch das Unterrichtskonzept entwickelt wird. Des Weiteren zeigte die fachliche Klärung in dieser Arbeit, welche Rolle die Lehrwerke bei der Entstehung der Schülervorstellungen spielen. Welche verwendeten Fachtermini die lernhinderlichen Schülervorstellungen fördern können, wurde vor diesem Hintergrund ebenfalls analysiert. Diese Gegenüberstellung der Erkenntnisse aus der fachlichen Klärung und die Erhebung der Schülervorstellungen lieferten letztlich die Grundlage für die didaktische Rekonstruktion des Unterrichtskonzepts.

6.2. Diskussion der Ergebnisse

Zunächst soll rückblickend auf die Grenzen der Arbeit hingewiesen werden. Angesichts des Umstandes, dass der erforschte Bereich einen sehr großen Umfang hat, mussten der Forschungsprozess und -rahmen eingeeignet werden. Während der Recherche wurde festgestellt, dass eine große Anzahl an Forschungen und empirischen Untersuchungen sowohl zu Schülervorstellung als auch zu den Analogiemodellen im Unterricht vorhanden sind. Daher konnte nur eine limitierte Anzahl an Literatur miteinbezogen und nur an den Ideen und Forschungsergebnissen einiger Wissenschaftler angeknüpft werden. Sicherlich konnte der gesamte Forschungsstand im gesamten Umfang nicht wiedergeben werden. Nichtsdestotrotz lieferten die verwendeten wissenschaftlichen Literaturbeiträge zufriedenstellende Ergebnisse.

Im Rahmen der fachlichen Klärung sollte der fachwissenschaftliche Standpunkt dieser Perspektive über elektrische Stromkreise festgelegt werden. Dazu wurden vier universitäre Lehrwerke analysiert.²⁸⁹ Diese stellten den physikalischen Inhalt im Allgemeinen ähnlich da, so dass leicht bestimmt werden konnte, wie die allgemeine wissenschaftliche Sichtweise zu dem Thema aussieht. Die Lehrwerke unterscheiden sich jedoch in ihren Erklärungsmustern und Darstellungsformen der Lehrinhalte. Im Hinblick drauf konnten einige lernförderlichen Erklärungsmuster abgeleitet werden. Die Differenzen zwischen den Erklärungsmustern lassen auf die Vielfältigkeit schließen, aus der für den Schulunterricht profitiert werden kann.

²⁸⁹ vgl. Kap. 3

Bei der Erhebung der Schülervorstellungen konnte durch die Zusammenfassungen der Vorstellungen ein weit umfangreicherer Bereich für den einfachen Stromkreis abgedeckt werden. Diese Vorstellungen boten zusätzlich eine gute Orientierung beim Analysieren der Analogiemodelle aus der Literatur.²⁹⁰ Außerdem waren sie sehr nützlich bei der Entwicklung des Fruchtsaftmodells, zumal das Modell genau auf das Entgegenwirken dieser Vorstellungen abzielt.²⁹¹

Es liegen keine empirischen Untersuchungen vor, die den Einsatz des Fruchtsaftmodells bewerten können. Folglich lässt sich nicht beweisen, dass Modell tatsächlich gegen die genannten Schülervorstellungen wirkt. Im Rahmen dieser Arbeit war es ebenso wenig umsetzbar, das entwickelte Modell im Unterricht zu erproben.

Aus diesem Grund liefert die Arbeit noch keine endgültigen Ergebnisse, die eine Lehrkraft sofort in die Unterrichtspraxis umsetzen könnte. Jedoch können die Teilergebnisse der drei Komponenten des Modells der didaktischen Rekonstruktion bereits jetzt zufriedenstellend als Orientierung fungieren, denn diese Ergebnisse offerieren die Möglichkeit, aus den erarbeiteten Informationen ein Unterrichtskonzept zu entwickeln.

Demgegenüber könnten Kenntnisse aus der vorliegenden Arbeit auch für die Studierenden von Nutzen sein, zumal der Inhalt der universitären Lehrbücher fachlich geklärt wurde. Der Lehrinhalt wurde aus einer fachdidaktischen Perspektive heraus analysiert. Viele der Physikstudenten setzen sich mit diesen Lehrwerken auseinander, weil sie nach meiner Ansicht zum Bestand der meisten Universitätsbibliotheken gehören. Mit Sicherheit kann ich sagen, dass diese Aussage für die Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt, Universitäts- und Stadtbibliothek Köln und Bibliothek des Karlsruher Instituts für Technologie Gültigkeit besitzt.

6.3. Ausblick

Im Verlauf der gesamten Arbeit wurde immer wieder an den entsprechenden Stellen darauf hingewiesen, dass das Durchführen des Prozesses aufgrund des zeitlichen Rahmens oder wegen des beschränkten Umfangs nicht stattfinden kann oder

²⁹⁰ vgl. Kap. 5.2.

²⁹¹ vgl. Kap. 5.3.

abgebrochen werden muss.²⁹² In diesem Abschnitt soll nun ein Überblick darüber gegeben werden, wie die Arbeit weitergeführt werden kann, um der Antwort der gestellten Forschungsfrage näherkommen zu können.

Für das Forschungsvorhaben, eine Unterrichtsstrategie zu entwickeln, die es ermöglicht, die vorunterrichtlichen Schülervorstellungen miteinzubeziehen, wurde sich an dem Modell der didaktischen Rekonstruktion orientiert. Dieses fordert eine rekursive und iterative Abfolge des Untersuchungsablaufs ein, in der die drei Komponenten des Modells aufeinander bezogen werden. Es soll ein Unterrichtskonzept didaktisch rekonstruiert werden, indem die wissenschaftliche Perspektive, welche durch die fachliche Klärung ersichtlich wird, und die Schülerperspektive, die wiederum durch empirische Untersuchungen erhoben wird, einander gegenübergestellt werden.²⁹³ Das wiederholte Überarbeiten der Ergebnisse der einzelnen Bereiche legt die Basis dafür, ein optimiertes Unterrichtskonzept zu entwerfen. Das Wiederholen der Arbeitsschritte und auch die empirische Überprüfung des Unterrichtskonzepts konnten nicht verwirklicht werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen aber die ersten wesentlichen Schritte des rekursiven Untersuchungsprozesses dar, die auch in der Abbildung (Abb. 2) in Kapitel 2 zu erkennen sind. Aus diesem Grund lassen sich folgende Arbeitsschritte formulieren, deren Durchführung den Untersuchungsablauf vervollständigen würden.

1. Arbeitsschritt: Empirische Durchführung

Das entwickelte Analogiemodell soll in der Unterrichtspraxis umgesetzt werden. Dabei wird der ersten Frage begegnet: In welcher Klassenstufe soll die Erprobung durchgeführt werden? Es wäre interessant, welchen Zugang jene Schüler/innen zu dem Fruchtsaftmodell haben, welche sich bereits mit dem Stromkreis auskennen, und die, die den Stromkreis durch dieses Modell erst kennenlernen werden.

Die nächste Frage, die geklärt werden muss, bevor eine Erprobung stattfinden kann, betrifft die Darstellung des Modells: In dieser Arbeit wurde das Modell nur durch ein Bild visualisiert. Für den Unterrichtseinsatz muss diese Visualisierung ausgeweitet werden. Nach meinen Vorstellungen könnte es sich dabei um eine Computeranimation handeln. Im Idealfall könnte es sogar eine Simulation sein, bei der die Größen im Modell geändert werden können, weil dadurch die Abhängigkeit

²⁹² vgl. Kap.2

²⁹³ vgl. Kap.2

unter den physikalischen Größen klar ersichtlich wird. Auch die weiteren Aspekte, wie z.B. die Unterrichtsform, Lehrerrolle, Unterrichtsphasen etc., die bei der Unterrichtsgestaltung eine Rolle spielen, müssen gut durchdacht werden, um das Modell effektiv in den Unterricht einzubauen. Sicherlich ist die Lerngruppenanalyse für diese Aspekte ein mitbestimmender und ausschlaggebender Punkt.

2. Arbeitsschritt: Empirische Untersuchung

Die empirische Untersuchung ist an dieser Stelle eine unerlässliche Bedingung, um überhaupt Aussagen über die Wirksamkeit des Fruchtsaftmodells anstellen zu können. Zur empirischen Untersuchung könnte zu Beginn ein Fragebogen zum Einsatz kommen, um auf diesem Wege festzustellen, welche der in der Arbeit herausgearbeiteten Schülervorstellungen bei den Schüler/innen faktisch vorzufinden sind. Nach meinen Überlegungen sollte dieser Fragebogen die Aufgaben beinhalten, die in Kapitel 4.2. vorgestellt wurden. Weitere Items können gut aus den Forschungen von C. von Rhöneck, U. Maichle sowie Urban-Woldron und Hopf abgeleitet werden. In diesem Zusammenhang bevorzuge ich methodisch einen solchen Fragebogen, wie er von Urban-Woldron und Hopf entwickelt wurde. Nachdem die Schüler/innen im ersten Teil der Aufgabe eine Antwort angekreuzt haben, müssen sie im zweiten Teil auch noch eine Begründung für ihre Antwort liefern. Auf dieser Basis kann genauer nachvollzogen werden, welche Vorstellung zu den Begriffen und Phänomenen der Elektrizitätslehre jeweils existieren.

Während der Durchführung des Unterrichts würde es sich anbieten, die Schüler/innen zum lauten Denken aufzufordern. Anhand ihrer Argumentation für ihre Entscheidungen beim Arbeiten mit dem Modell können ferner die ursächlichen Vorstellungen erkannt und abgeleitet werden.

Um auf die Wirksamkeit des Modells schließen zu können, muss nach dem Einsatz des Modells im Unterricht zudem ein Test angesetzt werden, in dem die Schülervorstellungen ermittelt werden. Hierzu kann der gleiche Fragebogen herangezogen werden, der als Nachtest eingesetzt wird. Eine Alternative dazu stellt das Interview dar. Dazu können einige Schüler interviewt werden, die über ihre Erkenntnisse und Probleme erzählen, die aufgetaucht sind, während sie sich mit dem Modell befasst haben.

Diese Vorgehensweisen können miteinander verknüpft und die empirische Forschung kann vertieft werden. In dieser Hinsicht ist die exakte Forschungsfrage das Entscheidende für die Gestaltung der empirischen Untersuchung.

3. Arbeitsschritt: Auswertung

Im Anschluss an die empirische Untersuchung müssen die erfassten Daten ausgewertet werden. Bei den Auswertungen ist eine der grundlegendsten Aussagen jene, ob das Fruchtsaftmodell tatsächlich gegen die lernhinderlichen Vorstellungen, die in Kapitel 5 ausgeführt wurden, effektiv Wirkung zeigt. Geht dieses Modell de facto gegen die Verbrauchervorstellung vor? Können Schüler/innen nach dem Einsatz des Modells angeben, was in dem System transportiert wurde oder was unter Spannung verstanden wird? Außerdem ist es wichtig, welche Stellen in dem Modell Probleme bereiten. Wie erklären sich die Schüler/innen also den Antrieb der Wagen auf den Schienen? Wie werden die Fruchtsaftpresse und die Fließbänder in Betrieb gehalten? Woher weiß der Wagen, wann es sich in der Nähe des Widerstandes befindet, so dass er gekippt werden muss, um zu entladen? Sind es diese Punkte, an denen sich die Schüler/innen stoßen würden? Wenn ja, wie erklären sie sich diese Wissenslücken? Tauchen bei den Schüler/innen auch Problemstellen auf, die in dieser Arbeit nicht als Problem identifiziert wurden.²⁹⁴ Ausgehend von diesen Fragen kann weiterhin darauf geschlossen werden, wie Schüler/innen in dieser Hinsicht denken und lernen.²⁹⁵ Es ist ebenso belehrend zu erfahren, welche Begriffe welche Assoziationen bei den Schüler/innen evozieren.

4. Arbeitsschritt: Überarbeiten

Die Ergebnisse der Auswertung sollten dazu verwendet werden, das Modell zu optimieren. Die geahnten Kritikstellen können durch ein wiederholtes Modifizieren und Ergänzen bearbeitet werden. Die neu aufgetauchten Probleme können durch das Einbeziehen der Ergebnisse der fachlichen Klärung und der Forschung der Schülervorstellungen analysiert werden.

Auf diesem Weg kann das Modell permanent sinnvoll weiterentwickelt werden. Der nächste Schritt bestünde damit in der Überprüfung, ob ein allgemeineres Modell entwickelt werden kann, anstelle mit der Analogie von Obsttransport zu arbeiten.

²⁹⁴ vgl. Kap. 5.3.

²⁹⁵ vgl. Kap. 4.1.

Hierzu könnte sich die Nahrungskette als Analogie anbieten: Zum einen ist das Modell den Schüler/innen aus dem Biologieunterricht bekannt und aus ihrem Alltag vertraut. Dies impliziert deshalb eine leichtere Zugänglichkeit zu dem Modell. Zum anderen umfasst es mehrere unterschiedliche Formen von Nahrung und ist deshalb allgemeiner. Derart allgemeinere Modelle bieten mehr Möglichkeit zu Variationen und weiteren Ausführungen. Folglich können mit ihrer Hilfe mehrere Zusammenhänge erläutert werden.

Die genannten Arbeitsschritte können ggf. ein weiteres Mal durchgeführt werden, bis das Modell vollständig optimiert wurde, also zu einer Irritation der beabsichtigten Schülervorstellungen führt.

Persönliche Erkenntnis

Die vorliegende Arbeit ist meine erste wissenschaftliche Arbeit, die ich im Studium verfassen musste. Im gesamten Studium ging es sonst darum, den fachlichen Inhalt zu lernen, zu verstehen und anzuwenden. Bevor ich mich an diese Arbeit setzte, hatte ich die Vorstellung, ich müsste jetzt etwas Neues erfinden, mich mit etwas beschäftigen, was bisher nicht erforscht wurde, und etwas Innovatives als Ergebnis liefern. All dies wollte ich in den langen drei Monaten bewerkstelligen. Die Literatur war da, um aus ihr einige Ideen abzuleiten. Die ersten wissenschaftlichen Artikel habe ich auch mit diesem Gedanken gelesen. Aus dem Vorgestellten habe ich versucht, einen Teil umzuändern, um es in meiner Arbeit zu verwenden.

Im Laufe der Zeit merkte ich aber, wie ich eigentlich vorzugehen hatte. Zum einen durch die gelesenen wissenschaftlichen Arbeiten und zum anderen durch die Unterstützung meiner Betreuer änderte sich meine Ansicht zum wissenschaftlichen Arbeiten. Wissenschaftlich zu arbeiten bedeutet, dass erst nachdem man überprüft hat, ob der Stein, den man nun betreten möchte, sicher ist, der Schritt gewagt werden kann. Ich verstand, dass jede Aussage, die ich behaupte, durch vorherige wissenschaftliche Untersuchungen begründet sein muss oder ich selbst eine angemessene Untersuchung dazu durchzuführen habe. Denn nur so haben die Aussagen einen wissenschaftlichen Wert. Legt man nun unterschiedliche feste Steine hintereinander, so gelangt man auf diesem Pfad zum Ziel, also zu der Antwort der anfangs gestellten Forschungsfrage. Ich sollte nichts Neues erfinden, mich nicht mit etwas beschäftigen, was bisher niemand untersucht hatte.

Meine Betreuer haben mir nicht gezeigt, welche Gedanken ich einbringen soll, an welcher Stelle ich was/wie schreiben soll, sondern sie haben mir die wissenschaftliche Denkstruktur vermittelt. Sie haben mir dargelegt, welche Vorstellung ich über das wissenschaftliche Denken und Arbeiten haben muss.

Genau um diesen Konzeptwechsel, den ich durch das Arbeiten an dieser wissenschaftlichen Hausarbeit erlebt habe, geht es auch inhaltlich in meiner Arbeit. Meine Fehlvorstellung wurde korrigiert, indem sie zunächst irritiert und anschließend die neue Vorstellung, also die andere Denkstruktur, für mich erfassbar wurde. Dabei wurde mir nicht gezeigt, dass eine Arbeit eine Einleitung, eine bestimmte Anzahl an Verweisen und Seiten haben muss. Dies übertragen auf den

Inhalt dieser Arbeit bedeutet, dass die Schüler/innen die Physik lernen sollen, indem sie die wissenschaftliche Denkstruktur, also die physikalischen Vorstellungen und Sichtweisen lernen, anstatt die Formeln und Definitionen der Begriffe.

An dieser Stelle gilt mein großer Dank meinen Betreuern, Erik Kremser und Franco Rau, die die richtige Strategie des Konzeptwechsels angewandt haben und so eine Irritation meiner Fehlvorstellungen initiieren konnten.

7 Literaturverzeichnis

- Andersson, B. (1984). Wie Schüler einige Aspekte des Energietransfers im elektrischen Stromkreis verstehen. *Der Physikunterricht*, 18 (2), S. 32-35.
- Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., Kuhn, W., Merzyn, G., Weltner, K. (1999). *Fachdidaktik Physik*. Köln: Aulis Deubner.
- Bliss, J. (1996). Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2 (3), S. 3-16.
- Bruns, K. G. (1992). Die Grundbegriffe elektrischer Stromkreise. Skizze eines Unterrichtsganges in der Mittelstufe. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik*, 41 (5), S. 8-12.
- Caillot, M., Chalouhi, E. (1984). Problemlösen im Bereich der Elektrizitätslehre. *Der Physikunterricht*, 18 (2), S. 36-45.
- Closset, J-L. (1984). Woher stammen bestimmte Fehler von Schülern und Studenten aus dem Bereich der Elektrizitätslehre? *Der Physikunterricht*, 18 (2), S. 21-31.
- Demtröder, W. (2008). *Experimentalphysik, Band 2. Elektrizität und Optik*. Heidelberg: Springer.
- Duit, R. (1989). Der einfache elektrische Stromkreis. Fachliche Sicht und Schülervorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 16 (89), S. 9-11.
- Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1-26). Berlin: Springer.
- Duit, R. (2004). *Piko-Brief Nr. 1. Schülervorstellungen und Lernen von Physik*. Kiel: IPN.
- Duit, R. (2011a). Alltagsvorstellungen berücksichtigen!. In Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.). *Schülervorstellungen in der Physik* (S.3-7). Köln: Aulis.
- Duit, R. (2011b). Schülervorstellungen- von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.). *Schülervorstellungen in der Physik* (S.8-14). Köln: Aulis.
- Duit, R. (2011c). Vorstellung und Experiment. In Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.). *Schülervorstellungen in der Physik* (S.20-22). Köln: Aulis.
- Fallscher, H. (2006): Der Gummibärchenstromkreis. *Unterricht Physik*, 92, S. 38-41.

Grob, K., Rhöneck, v. C., Völker, B., Wetter, K. (1988) Die Gravitationsanalogie zur Einführung des Spannungsbegriffs. *Naturwissenschaft im Unterricht – Physik/Chemie*, 36, S.14-19.

Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105-116). Berlin, Heidelberg: Springer.

Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2003) Physik. Weinheim: Wiley.

Harreis, H. (1993). Zum Modellbegriff in der Naturwissenschaft und Technik. *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, 8 (42), S. 20-25.

Härtel, H. (1981). IPN Curriculum Physik-Der Elektrische Stromkreis als System, (Hrsg.), Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN).

Heinicke, S. (2011). *Aus Fehlern wird man klug. Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion des Messfehlers*. Unveröffentlichte Dissertation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

Hengel, R., et al. (1997). Eine interaktive Lernsoftware zur einfachen Elektrizitätslehre - Struktur und Erprobung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (2), S. 70-79.

Heran-Dörr, E., Wiesner, H., Kahlert, J. (2007). Schülerorientierung oder Orientierung an Schülervorstellungen? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, S.161-180.

Hopf, M., Schecker, H., Wiesner, H. (2011): *Physikdidaktik kompakt*. Köln: Aulis.

Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, S. 7-23.

Jank, W., Meyer, H. (1991). *Didaktische Modelle*. Berlin: Cornelsen.

Jung, J. (2011). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.). *Schülervorstellungen in der Physik* (S.15-19). Köln: Aulis.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion-eine praktische Theorie. In D.Krüger & H.Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93-104). Berlin, Heidelberg: Springer.

Kattmann, U., et al. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), S.3-18.

Kircher, E. (1984). Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. *Der Physikunterricht*, 18 (2), S. 46-60.

Kircher, E. (2007). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*, S.679-706. Berlin: Springer.

Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (2009). *Physikdidaktik*. Heidelberg: Springer.

Langensiepen, F. (1991). Entwicklung einer Vorstellung vom elektrischen Strom. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik*, 40 (2), S. 5-11.

Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12 , S. 91-109.

Maichle, U. (1982). Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S. 383-387.

Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis - Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, S. 243-261.

Meschede, D., Gerthsen, C. (2004). *Physik*. Heidelberg: Springer.

Meyer, H. (2003). Zehn Merkmale guten Unterrichts. *Pädagogik* , 55 (10), S. 36-43.

Meyer, H. (2004). *Was ist guter Unterricht*. Berlin: Cornelsen.

Meyer, H. (2007). *Leitfaden Unterrichtsvorbereitung*. Berlin: Cornelsen.

Muckenfuß, H. (1982). Vorschläge zur Einführung der Begriffe Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S. 399-406.

Muckenfuß, H. (1991). Die Elementarisierung des Spannungsbegriffs. Neue Möglichkeiten durch den Einsatz handgetriebener Generatoren. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 2 (39) , S. 32-40.

Muckenfuß, H., Walz, A. (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht*. Köln: Aulis.

Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In Mikelskis, H., Helmut, F. (Hrsg.), *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. S. 102-119. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.) (2011). *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis.

Niedderer, H., Gohmert, B. (1982). Zur Einführung des Spannungsbegriffs. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S.394-399.

Niedderer, H. & Schecker, H (1992). *Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning*. In: Duit, R.; Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds.). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4-8, 1991, Kiel: IPN, S.74-98.

Niedderer, H., Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1 (1), S.73-86.

Rhöneck, C. v., Völker, B. (1982). Einfache Elektrizitätslehre zwischen physikalischem Anspruch und Lernschwierigkeiten. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S. 406-412.

Rhöneck, C. v., Völker, B. (1984). Vorstellungen vom Stromkreis und ihr Einfluss auf den Lernprozess. *Der Physikunterricht*, 18 (2), S. 4-16.

Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. *Naturwissenschaft im Unterricht – Physik*, 34 (13), S. 167-171.

Rhöneck, C. v. (1988). Wege zum Spannungsbegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 31, S. 4-12.

Rhöneck, C. v., Niedderer, H. (2006). Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In Mikelskis, H. (Hrsg.), *Physikdidaktik*, S. 52-73. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Starauschek, E. (2003). Elektrizitätslehre nach dem Karlsruher Physikkurs. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2 (1), S.39-47.

Terhart, E. (2009). *Didaktik eine Einführung*. Stuttgart: reclam.

Tipler, P.A., Mosca, G. (2007): *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, Heidelberg: Spektrum Verlag

Urban-Woldron, H., Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18 , S. 201-227.

Walz, A. (1982). Zur Physik elektrischer Stromkreise. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S. 375-380.

Wiesner, H. (2009). Einführungsunterricht über Optik – an Schülervorstellungen orientiert II. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 3 (58), S.5-14.

Wiesner, H. (ed.). (1982). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 30 (11), S. 388-394.

Wilhelm, T. (2010). *Ausgewählte Probleme der Didaktik der Physik für LA Gym*. Vorlesungsfolien, Universität Augsburg

Willer, J. (2003). *Didaktik des Physikunterrichts*. Frankfurt am Main: Harri Deutsch.

Wünscher, T. (2009). Das Wesen von Modellen. Ein Thema für den
Physikunterricht? *Praxis der Naturwissenschaften*, 58 (8), S. 5-8.

8 Anhang
