

**Didaktische Rekonstruktion einer
Fachdidaktiklehveranstaltung zu den Themen Elektrizität,
Magnetismus und Optik**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Magisters der Naturwissenschaften

an der Karl-Franzens Universität Graz

vorgelegt von

Thomas Schubatzky

am Institut für Physik

Begutachterin: Ass.-Prof. Mag. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer

Graz, 2016

Danksagung

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meiner Betreuerin, Frau Ass.-Prof. Mag. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer, aussprechen. Ihre dauerhaften Ermutigungen meine Arbeit, aber vor allem auch meine Arbeits- und Herangehensweise, noch weiter zu verbessern ermöglichten es mir eine Abschlussarbeit zu verfassen, auf die ich stolz sein kann. Wann immer ich an einem Punkt angekommen war, an dem ich nicht weiterwusste, motivierte sie mich und half mir den richtigen Weg zu finden. Außerdem verstand und versteht sie es die Begeisterung für die Physikdidaktik in mir zu wecken. Vielen Dank für die große Geduld und Mühen mich anzuregen über meine Grenzen hinaus zu denken.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Christina, die mich immer wieder zu motivieren wusste und mit vielen nützlichen Ratschlägen einen wesentlichen Teil zu dieser Diplomarbeit beigetragen hat.

Außerdem möchte ich Christa und Lukas für das kritische Korrekturlesen der Arbeit sowie für ihre konstruktiven Vorschläge danken.

Nicht zuletzt gebührt meinen Eltern Dank, ohne welche dieses Studium schon im Vorhinein niemals möglich gewesen wäre.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Datum:

Unterschrift:

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	7
1. Pedagogical Content Knowledge (PCK).....	9
1.1 Orientation Toward Science Teaching.....	12
1.2 Knowledge of Science Curriculum	13
1.3 Knowledge and Beliefs about Student's Understanding of Science.....	13
1.3.1 Voraussetzungen für das Lernen von Naturwissenschaften	14
1.3.2 Die konstruktivistische Sicht des Lernens sowie Assimilation und Akkomodation.....	14
1.3.3 Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten	15
1.4 Knowledge of Assessment in Science.....	16
1.5 Knowledge of Instructional Strategies	16
1.5.1 Allgemeine naturwissenschaftliche Instruktionsstrategien	17
1.5.2 Themenspezifische Strategien.....	17
1.6 Zusammenfassung.....	18
2. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion	19
2.1 Die drei Elemente des Modells der didaktischen Rekonstruktion	20
2.1.1. Fachliche Klärung.....	20
2.1.2 Erfassen von Schülerperspektiven	22
2.1.3 Didaktische Strukturierung.....	23
2.2 Elementarisierung	24
2.3 Vorgehensweise	26
3. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion in der Lehramtsausbildung - das ERTE Modell..	27
4. Schülervorstellungen	29
4.1 Was sind Schülervorstellungen?	30
4.2 Die Überzeugungskraft von empirischer Evidenz.....	31
4.3 Naturwissenschaftliches Beobachten	32
4.4 Typische Lernschwierigkeiten	33
4.4.1 Sachbedingte Lernschwierigkeiten.....	33
4.4.2 Lehrbedingte Lernschwierigkeiten	34
4.4.3 Innenbedingte Lernschwierigkeiten	36
4.5 Schülervorstellungen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik	36
4.5.1 Schülervorstellung in der Elektrizitätslehre	36
4.5.2 Schülervorstellungen zum Magnetismus	39
4.5.3 Schülervorstellungen zum Elektromagnetismus	42
4.5.4 Schülervorstellungen zur Optik	43

4.5.5 Schülervorstellungen zu Strahlung.....	47
4.4.6 Schülervorstellungen über die Physik als Naturwissenschaft	47
5. Conceptual Change und konstruktivistische Lehr-Lernsequenzen	48
5.1 Konzeptwechselstrategien	50
5.1.1 Anknüpfungsstrategie	50
5.1.2 Konfrontationsstrategie	51
5.1.3 Umdeutungsstrategie.....	51
5.1.4 Brückenstrategie	52
5.2 Konstruktivistische Lehr-Lernsequenzen	52
5.3 Zusammenfassung.....	55
5.4. Didaktische Grundprinzipien	55
6. Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik.....	57
6.1 Bestimmung der fachdidaktischen Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik	58
6.2 Fachdidaktische Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik	60
6.3 Planung auf Basis des CoRe-Rasters.....	61
7. Ausarbeitung der fachdidaktischen Grundideen.....	62
7.0 Grundideen-übergreifende Ausarbeitung der Leitfragen	62
7.1 Zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand muss ausreichend differenziert werden	67
7.2 Stromfluss ist eine Modellvorstellung, beim Stromfluss wird Energie übertragen	72
7.3 Die Beschreibung der Verhältnisse im Stromkreis als System stellen häufig Schwierigkeiten dar.	76
7.4 Energieübertragung und Energiebereitstellung kann und muss aus unterschiedlichen Perspektiven (physikalisch, ökologisch, etc.) betrachtet werden	80
7.5 Das Verständnis von Schutzeinrichtungen und des Gefahrenpotentials von Elektrizität sind Voraussetzungen für den angemessenen Umgang mit elektrischer Energie im Alltag.	86
7.6 Magnetische Phänomene sind Ausgangspunkt für die Entwicklung des Feldkonzepts bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I.....	88
7.7 Der wechselseitige Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bildet die Grundlage für viele technische Anwendungen	94
7.8 Das Verständnis des physikalischen Sehvorgangs bildet die Grundlage für weiteres Verständnis in verschiedenen Bereichen der Optik.	98
7.9 Lichtstrahlen sind ein Modell, mit dem sich optische Phänomene gut beschreiben lassen, das jedoch auch lerntechnische Grenzen für Schülerinnen und Schüler aufweist.	102
7.10 Farblehre ist ein wichtiger Teilinhaltsbereich der Optik, der im gängigen Unterricht oft nur auf alles oder nichts Prozesse und Malkastenregeln reduziert wird.	106
7.11 Das elektromagnetische Spektrum als Vereinheitlichung der Elektrodynamik und Optik bietet mehr als den sichtbaren Bereich.....	109

7.12 Die verschiedenen Modelle des Lichts (Licht als Welle, Licht besteht aus Teilchen) bieten erste Einblicke in quantenmechanische Phänomene.....	113
8. Planung von Lehrveranstaltungseinheiten	115
8.1 Lehrveranstaltungseinheit zu Analogien und Darstellungsformen im Physikunterricht zu den fachlichen Themenbereichen Elektrizität und Magnetismus.....	115
8.1.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit	116
8.1.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit	118
8.2 Lehrveranstaltungseinheit zu sprachsensiblen Unterricht und Sachstrukturen im Physikunterricht am Beispiel der Optik.....	119
8.2.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit	120
8.2.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit	123
8.3 Lehrveranstaltungseinheit zum Thema experimentelle Kompetenzen	125
8.3.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit	126
8.3.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit	128
9. Evaluation der Lehrveranstaltungseinheit zu experimentellen Kompetenzen.....	130
9.1 Ergebnis der Prä-Befragung zu experimenteller Kompetenz	131
9.2 Ergebnisse des Post-Fragebogens	132
9.3 Ausgewählte Reflexionsausschnitte	136
9.4 Diskussion.....	137
10. Zusammenfassung und Ausblick	137
11. Literatur	139
12. Abbildungsverzeichnis.....	148
13. Anhang.....	149
12.1 Teil A	149
12.2 Teil B	169
12.3 Teil C	171

Einleitung

Das Jahr 2015 brachte große Änderungen im Bereich der österreichischen Lehramtsausbildung für die Sekundarstufe. Die Ausbildungen für das Lehramt der beiden Bildungszweige Neue Mittelschule und AHS, welche bis zu diesem Zeitpunkt an getrennten hochschulischen Einrichtungen (Pädagogische Hochschulen sowie Universitäten) durchgeführt wurden, wurden vereinheitlicht. Auch die Lehramtsausbildung an sich wurde von einem fünfjährigen Diplomstudium auf ein Bachelor- (8 Semester) und Master- (4 Semester) System umgestellt, was natürlich auch curriculare Änderungen für die jeweiligen Studien mit sich brachte. Im Zuge dieser Änderungen entstanden im Entwicklungsverbund Süd-Ost (Universität Klagenfurt, Universität Graz, KPH Graz, PH Burgenland, PH Kärnten, PH Steiermark, Kunstuniversität Graz, TU Graz) für das Lehramt Physik fachdidaktisch begleitende Lehrveranstaltungen zu drei großen Themenblöcken: Mechanik & Wärme; Elektrizität, Magnetismus & Optik sowie Aufbau der Materie. Die Lehrveranstaltung Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik soll dazu beitragen, die folgenden im Curriculum verankerten fachdidaktischen Kompetenzen bei den Studierenden zu stärken (Karl-Franzens Universität Graz, 2015).

Die AbsolventInnen

- *verfügen über ein solides und strukturiertes fachdidaktisches Wissen*
- *verfügen über umfangreiche Kenntnisse spezifischer Lehr- und Lernmethoden*
- *kennen Wirkung und Einsatz von Fachmedien (Unterrichtsmaterialien, Präsentationsmedien, Lehr-Lernsoftware, Informationssysteme etc.)*
- *kennen die Bedeutung des Einsatzes von Sprache und Fachsprache und verfügen über Werkzeuge, um die Lese- und Schreibkompetenz im Physikunterricht zu fördern*
- *schaffen Zugänge zur Physik über Alltags-, Kontext- und Handlungsorientierung*
- *haben die Befähigung, physikalische Sachverhalte zu erklären, unter Anpassung an sprachliche und mathematische Voraussetzungen der jeweiligen SchülerInnenengruppe*
- *verfügen über die Fähigkeit zur Planung und Durchführung von Experimenten (Demonstrationsexperimente, SchülerInnenlabor, offenes Lernen)*

- *kennen SchülerInnenvorstellungen zu den Themengebieten Elektrizität, Magnetismus und Optik und den verwendeten Konzepten und können mit diesen im Unterricht umgehen*

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll eine mögliche Konzeption der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus & Optik* aufgezeigt werden, welche die forschungsbasierte Professionalisierung von Lehrkräften ermöglicht. Diese Lehrveranstaltung ist im Umfang von drei Semesterstunden mit einer Teilnehmerzahl von 20 Studierenden geplant.

Am Stichwort Professionalisierung anknüpfend sollen im ersten Kapitel die wesentlichen Faktoren, welche das Professionswissen einer Lehrkraft bilden und beeinflussen dargestellt werden.

In Kapitel zwei und drei wird das theoretische Konzept der didaktischen Rekonstruktion, welches die Rahmenbedingung für die Konzeption dieser Lehrveranstaltung bildet, vorgestellt.

Kapitel vier beschäftigt sich mit den Voraussetzungen, die Schülerinnen und Schüler in den Physikunterricht mitbringen und in Kapitel fünf werden die Implikationen dieser Voraussetzungen für den physikalischen Unterricht aufgezeigt.

In den darauffolgenden beiden Teilen werden schließlich die grundlegenden fachlichen und fachdidaktischen Ideen, die in Zusammenhang mit den drei fachlichen Themengebieten Elektrizität, Magnetismus und Optik stehen, aufgearbeitet.

Den Abschluss dieser Arbeit bilden schließlich Vorschläge für die mögliche Gestaltung von Lehrveranstaltungseinheiten sowie die Evaluation einer dieser Einheiten, gefolgt von einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick.

1. Pedagogical Content Knowledge (PCK)

Welche Instruktionsstrategien sind beim Thema Farbenlehre hilfreich? Welche Hilfestellungen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern geben, damit sie das Konzept der elektrischen Spannung besser verstehen? Wie kann ich evaluieren, ob meine Schülerinnen und Schüler das Konzept eines Magnetpols tatsächlich verstanden haben? Fragen wie diese beschäftigen wohl jede Lehrkraft. Der interessante Punkt in Bezug auf derartige Fragen im Zuge dieser Diplomarbeit ist: Welches Wissen ist überhaupt ausschlaggebend für eine Lehrperson, welche Faktoren bestimmen das Professionswissen einer Lehrkraft und schließlich ihr Unterrichtshandeln?

Eine mögliche Antwort auf diese Fragen versuchte Shulman (1987) zu geben, indem er postulierte, dass es neben dem fachlichen und pädagogischen Wissen ein weiteres Wissensgebiet gibt, welches bis zu diesem Zeitpunkt außen vor gelassen wurde. Wichtige Elemente dieses Gebiets sind nach Shulman unter anderem das kognitive Verständnis des sachlichen Inhalts sowie die Beziehungen zwischen diesem Verständnis und den Strategien, die Lehrkräfte im Unterricht verwenden. Shulman (1987) fand insgesamt sieben wichtige Punkte, die das Professionswissen von Lehrpersonen bestimmen: (1) curriculum knowledge, (2) content knowledge, (3) general pedagogical knowledge, (4) knowledge of learners and their characteristics, (5) knowledge of context knowledge of educational ends, (6) purposes and values sowie die vorhin angesprochene, „neue“ Art von Wissen, er nannte dieses PCK – (7) pedagogical content knowledge.

Seit Shulman gab es viele Interpretationen bezüglich PCK, unter anderem machten sich Magnusson, Krajcik, & Borko (1999) dazu Gedanken. Nach ihnen ist PCK eine professionsspezifische Art von Wissen und lässt sich ganz klar von allgemein pädagogischen, sachlichen sowie Überlegungen zu Kontexten bzw. Rahmenbedingungen abgrenzen. Dies bedeutet aber keinesfalls, dass diese vier Bereiche unabhängig voneinander zu betrachten sind, sondern sind sogar in einer engen Relation zueinander zu sehen (siehe Abbildung 1).

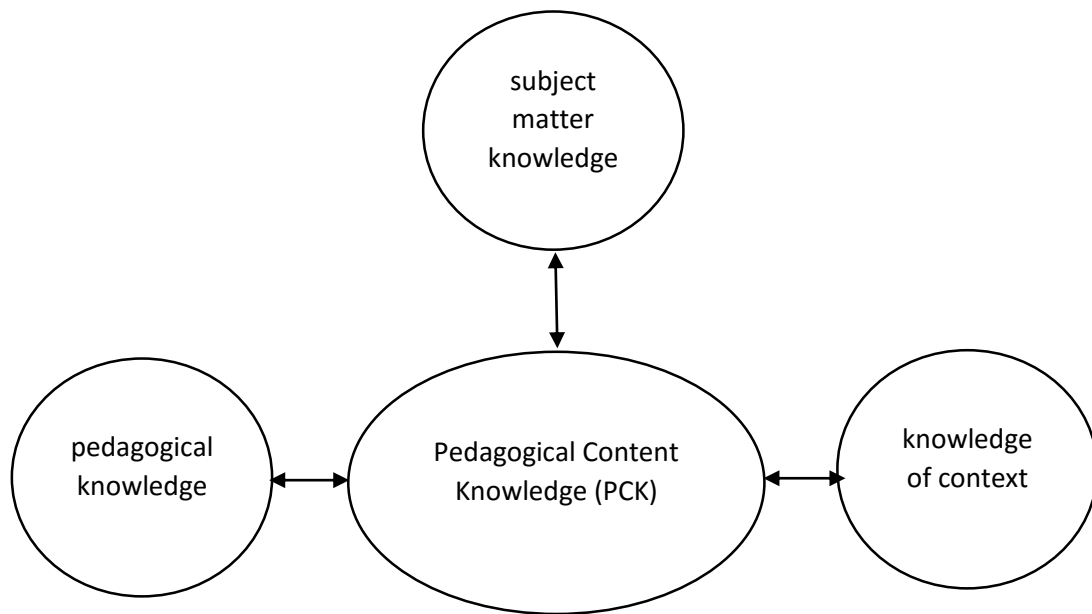


Abbildung 1: Die Teilbereiche des Professionswissens von Physiklehrkräften, frei modelliert nach van Dijk und Kattmann (2006)

PCK kann also als ein eigenständiger Teil des Professionswissens von Lehrkräften angesehen werden (Clermont, Krajcik, & Borko, 1993), welches Wissen über bestimmte Instruktionsstrategien, Schülervorstellungen oder ähnlichem beinhaltet. PCK beinhaltet aber auch die Vorstellungen der Lehrpersonen über das Lehren ihres Faches.

Magnusson et al. (1999) unterschieden wiederum verschiedene Komponenten, aus denen sich PCK zusammensetzt. Diese fünf Komponenten bilden: (a) orientation toward science teaching, (b) knowledge and beliefs about science curriculum, (c) knowledge and beliefs about student's understanding of specific science topics, (d) knowledge and beliefs about assessment in science, und (e) knowledge and beliefs about instruction strategies for teaching science, zu sehen in Abbildung 2.

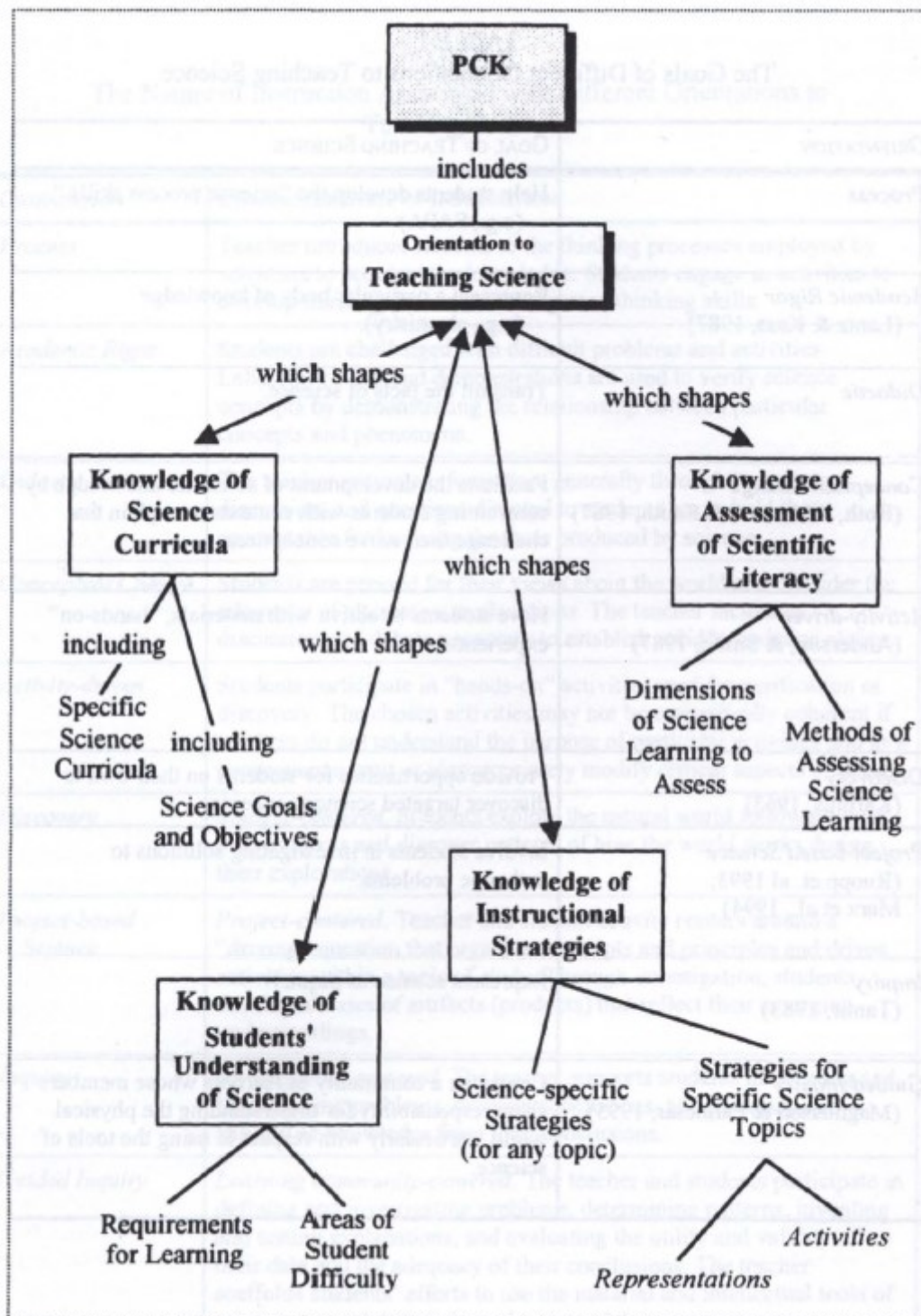


Abbildung 2: Komponenten des PCK für naturwissenschaftliche Fächer nach Magnusson et al. (1999)

Obwohl es viele unterschiedliche Modelle und Definitionen von PCK gibt (Abell, 2007), beinhaltet das Modell nach Magnusson et al. (1999) die für die Gestaltung der Lehrveranstaltung Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik wichtigsten Komponenten.

Im Folgenden wird auf die verschiedenen Komponenten von PCK näher eingegangen und außerdem jene Bereiche hervorgehoben, die in dieser Arbeit im Vordergrund stehen werden.

1.1 Orientation Toward Science Teaching

Wie in Abbildung 2 ersichtlich kann diese Komponente als eine Art übergeordnetes Konzept oder eine allgemeine Einstellung gegenüber dem Lehren von Naturwissenschaften gesehen werden (Magnusson et al., 1999). Wissen und Vorstellungen über diese Komponente sollen also eine Art Leitfaden für Entscheidungen, die instruktionale Prinzipien betreffen, sein. Das bedeutet, dass weniger das Umsetzen von bestimmten Instruktionsstrategien, sondern die Absicht hinter diesen Strategien bezeichnend für diese Komponente ist. Als Beispiel sei hier die Funktionsweise einer LED genannt: Eine Lehrperson, die einen „open inquiry“ Ansatz verfolgt, hat sich andere Ziele gesetzt als eine Lehrperson, die einen „cognitive conflict“ oder „guided inquiry“ Ansatz gewählt hat. Die Person, welche den „guided inquiry“ Ansatz gewählt hat, wird, als Beispiel, ihren Schülerinnen und Schülern LED-Dioden, Batterien und Kabel zur Verfügung stellen, um die SchülerInnen ihre eigenen Erfahrungen mit LED-Dioden machen zu lassen. Die Lehrperson wird erwarten, dass ihre Schülerinnen und Schüler eigens herausfinden, dass es nur eine Möglichkeit gibt, eine LED-Diode in einem Stromkreis zum Leuchten zu bringen, und sie wird schließlich diese beiden Richtungen als Durchlass- und Sperrrichtung betiteln.

Die Lehrperson, welche sich am „open inquiry“ orientiert wird hingegen ihre Klasse fragen, welche Phänomene ihnen an einer LED unbekannt sind und welche Probleme sie gerne verfolgen würden. Würde die Klasse zum Beispiel vorschlagen, dass sie die Bauweise einer LED nachvollziehen können wollen, so wird die Lehrperson als Vorbereitung eine Diskussion starten, welche Voraussetzungen nötig sind, um diesem Problem nachzugehen. Basierend auf dieser Diskussion wird die Klasse Experimente entwerfen und durchführen. Das Ergebnis dieses Experiments wird nun zu weiteren Fragen führen, also zum nächsten explorativen Zyklus.

Im Gegensatz dazu wird eine Lehrkraft, die einen „cognitive-conflict“ Ansatz verfolgt eventuell am Anfang eine Gruppendiskussion führen, in der die Schülerinnen und Schüler über ihre

Vorstellungen, oder darüber, wie sie glauben, dass eine LED funktioniert, sprechen. Die Lehrkraft wird danach die Lernenden einen Versuch aufbauen lassen, in dem sie zum Beispiel eine Batterie mit einer LED verbinden, und die LED in Durchlass- sowie in Sperrrichtung betreiben müssen. Die Idee dahinter ist, die Schülerinnen und Schüler mit ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen zu konfrontieren, und sie Erklärungen für das soeben Beobachtete finden lassen.

Diese Beispiele illustrieren, wie wichtig die Komponente „Orientation to Teaching Science“ für das Entwerfen einer fachdidaktisch begleitenden Lehrveranstaltung ist. Diese Komponente bezieht sich stark auf das zielgerichtete Fällen von unterrichtlichen Entscheidungen. Die Komponente „Orientation to Teaching Science“ spielt also eine große Rolle im Planen, Durchführen und Reflektieren von naturwissenschaftlichem Unterricht (Magnusson et al., 1999).

1.2 Knowledge of Science Curriculum

Diese PCK-Komponente bezieht sich auf zwei Bereiche. Auf den Lehrplan wie er im Unterrichtsgesetz festgelegt ist und auf spezielle Lehrgänge (wie zum Beispiel dem Münchner Mechanik Lehrgang). Der Lehrplan spielt in dieser Arbeit eine eher untergeordnete Rolle in dem Sinn, als dass er lediglich die Themen vorgibt, die im weitest gehenden Sinn zu behandeln sind. Durch die Festlegung auf die drei Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik wurde dies bereits ohnehin spezifiziert.

Unter spezielle Lehrgänge sind Lehrgänge und Materialien gemeint, die eine Relevanz in Bezug auf das Unterrichten eines bestimmten Themas besitzen. In Kapitel 7 wird noch genauer auf die Materialien und Lehrgänge der einzelnen Themen eingegangen.

1.3 Knowledge and Beliefs about Student's Understanding of Science

Diese PCK-Komponente bezieht sich auf Wissen, welches Lehrkräfte über Lernende haben müssen, um Schülerinnen und Schülern ein nachhaltiges, langfristiges Lernen von

Naturwissenschaften zu ermöglichen. Im Wesentlichen lässt sich diese Komponente wieder in zwei Kategorien aufspalten: (1) Voraussetzungen für das Lernen von Naturwissenschaften sowie (2) Schülervorstellungen und Schwierigkeiten in Bezug auf das Lernen von Naturwissenschaften (Magnusson et al., 1999).

1.3.1 Voraussetzungen für das Lernen von Naturwissenschaften

Mit dieser Kategorie ist vorrangig gemeint, dass Lehrkräfte über die Heterogenität der Lernenden in Kenntnis sein müssen, als auch, dass sie die unterrichtlichen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler kennen müssen. Folgendes einfaches Beispiel soll dies illustrieren: Möchte ich mit einem Amperemeter arbeiten, muss ich berücksichtigen, ob meine Schülerinnen und Schüler schon einmal mit einem Amperemeter gearbeitet haben.

1.3.2 Die konstruktivistische Sicht des Lernens sowie Assimilation und Akkomodation

„Jeder ist seines Wissens Schmied“ ist die zentrale Aussage dieser Sicht des Lernens (Duit, 2010). Gemeint damit ist die Sicht, dass sich Lernende ihr Wissen auf der Grundlage ihres Vorwissens selbstständig „konstruieren“ müssen. Eine einfache Wissensweitergabe im Sinne des Nürnberger Trichters ist nach dieser Ansicht keineswegs möglich.

Nach Piagets Aussagen sind an der kognitiven Entwicklung von Lernenden sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Prozesse beteiligt, im Sinne der Kontinuität spielen dabei vor allem drei Begriffe eine bedeutende Rolle (Siegler, DeLoache, & Eisenberg, 2011):

- **Assimilation**

Unter Assimilation ist der Prozess zu verstehen, bei dem Informationen, welche eine Person erreichen, zu einer bereits vorhandenen kognitiven Struktur zuordnen. Die Person kann die eintreffenden Informationen in einer Form umsetzen, die mit den Konzepten, welche Sie sich im bisherigen Leben gebildet hat, übereinstimmen.

- **Akkomodation**

Unter Akkomodation wird der Prozess verstanden, bei dem Personen vorhandene kognitive Strukturen in Reaktion auf neue Erfahrungen abändern oder anpassen.

- **Äquilibration**

Mit Äquilibration ist der Prozess gemeint, bei dem Assimilation und Akkomodation in ein Gleichgewicht gebracht und ausbalanciert werden. Dabei unterscheidet Piaget vor allem drei Phasen: Die erste Phase bezeichnet Piaget als Äquilibrium, Kinder sehen keinen Konflikt zwischen einer Beobachtung und dem Verständnis dieses Phänomens (Siegler et al., 2011). Phase zwei bezeichnet er als Disäquilibrium, ein Kind ist mit seinen Vorstellungen in dieser Phase unzufrieden, kann sich aber noch keine besseren Alternativen vorstellen. In Phase drei schließlich entwickeln die Kinder ein differenziertes Verständnis und entwickeln neue Vorstellungen, welche die Diskrepanz im Stadium des Disäquilibriums überwinden.

Diese Theorie von Piaget übte auch Einfluss auf die physikdidaktische Forschung aus, vor allem auf Konzeptwechseltheorien, welche in Kapitel fünf noch genauer betrachtet werden.

1.3.3 Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten

Ich möchte kurz näher darauf eingehen, was unter dem Begriff Schülervorstellungen eigentlich gemeint ist. Dieser Begriff basiert auf der Annahme, dass wir Lernen als einen konstruktivistischen Prozess sehen. Wenn Schülerinnen und Schüler in den Unterricht kommen haben sie sich bereits tief verankerte Vorstellungen über die Konzepte und Begriffe, um die es im Physikunterricht geht, gebildet (Duit, 2004). Eine Lehrkraft muss deshalb über typische Schülervorstellungen zu einem Thema Bescheid wissen, weil Schülervorstellungen einerseits Anknüpfungspunkte für einen guten Unterricht bilden, andererseits auch Lernschwierigkeiten darstellen können. Betrachtet man zum Beispiel das Thema elektrischer Strom, so kommen viele Schülerinnen und Schüler mit der Vorstellung in den Unterricht, dass Strom verbraucht werden kann, und interpretieren deshalb einen Stromkreis physikalisch nicht richtig. Eine Lehrperson, die derartige Vorstellungen kennt, kann mit Lernschwierigkeiten, die im Unterricht entstehen können, besser umgehen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werde ich außerdem in einem späteren Kapitel näher auf die unterschiedlichen,

aus fachdidaktischer Forschung bekannte, Schülervorstellungen zu den jeweiligen Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik eingehen.

1.4 Knowledge of Assessment in Science

Diese PCK-Komponente beschäftigt sich einerseits mit dem Wissen über Assessmentstrategien, aber auch über Konzepte für die Leistungsbeurteilung. Teilbereiche dieser Komponente finden im Rahmen der Lehramtsausbildung in diversen schulpraktischen Seminaren Platz, und spielen in dieser Diplomarbeit eine eher untergeordnete Rolle, weswegen ich diesen Punkt nur streifen möchte.

1.5 Knowledge of Instructional Strategies

Das Wissen über Instruktionsstrategien im physikalischen Unterricht ist stark mit der PCK-Komponente Orientation Toward Science Teaching verknüpft. Um eine erfolgreiche Entscheidung darüber zu treffen, welchen instruktionalen Ansatz man zu einem bestimmten Thema und einem vorgegebenen Klassensetting wählen möchte, muss man natürlich zuallererst darüber Bescheid wissen, welche Möglichkeiten einem hier gegeben sind. Laut Magnusson et al. (1999) setzt sich Wissen über Unterrichtsstrategien wiederum aus zwei Kategorien zusammen: (1) Allgemeine naturwissenschaftliche Instruktionsstrategien sowie (2) Themenspezifische Strategien. Diese Komponente wird einen großen Teil dieser Diplomarbeit bestimmen, da sowohl allgemeine, als auch auf die Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik speziell abgestimmte Instruktionsstrategien einen wichtigen Teil einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung zu diesen Themen darstellen. In diesem Kapitel werde ich auf die allgemeinen Charakteristiken dieser beiden Kategorien eingehen, um in einem späteren Kapitel genauer auf die einzelnen Strategien einzugehen.

1.5.1 Allgemeine naturwissenschaftliche Instruktionsstrategien

Diese Kategorie beinhaltet Unterrichtsmethoden, welche für Physik oder naturwissenschaftliche Fächer charakteristisch sind. Damit sind also Strategien gemeint, die unabhängig vom jeweiligen Thema oder Kontext einsetzbar sind. Wie in Kapitel 1.1) bereits beschrieben fallen hierunter zum Beispiel Guided Inquiry, forschendes Lernen oder Unterrichtsstrategien, die einen starken Bezug zu einer Kognitiven-Konflikt Strategie besitzen. Die einzelnen Strategien werde ich im Kapitel 5 noch genauer erläutern. Diese Unterrichtsstrategien lassen sich sowohl im Kontext der Elektrizität, des Magnetismus als auch in der Optik einsetzen. Welche Strategien Lehrkräfte anwenden, ist letztlich stark davon beeinflusst, welche Vorstellungen Lehrpersonen über die jeweiligen Unterrichtsmethoden besitzen (Magnusson et al., 1999). Im Rahmen der Lehrveranstaltung wird es also zielführend sein, einerseits zu erläutern, in welchem Rahmen und vor allem wie sich diese Unterrichtsmethoden umsetzen lassen, andererseits aber auch, welche Ziele mit den einzelnen Strategien verfolgt werden können (fachliches Wissen, Wissen darüber, was eine Naturwissenschaft eigentlich ausmacht etc.).

1.5.2 Themenspezifische Strategien

Damit Lehrkräfte Schülerinnen und Schülern helfen können, physikalische Konzepte zu verstehen, brauchen sie Wissen darüber, welche speziellen Strategien (Darstellungsformen, Analogien, Experimente etc.) es zu einem konkreten Themengebiet gibt und vor allem, dass es klare Evidenzen gibt, dass diese soeben angesprochenen Strategien die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler unterstützen. Wissen derart fällt in diese Unterkategorie von PCK. Hierbei sind grundsätzlich zwei Konzepte zu unterscheiden: (1) Darstellungsformen und (2) Aktivitäten (Magnusson et al., 1999).

Unter Wissen über Darstellungsformen ist in diesem Kontext gemeint, dass Lehrkräfte über Möglichkeiten Bescheid wissen, ein konkretes physikalisches Konzept abzubilden oder zugänglich zu machen. Dies können Visualisierungen, Modelle, Beispiel oder Analogien sein. Um ein Beispiel aus der Elektrizität zu nennen: Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, einen

Stromkreis darzustellen, und jede dieser Darstellungsmöglichkeiten verfolgt ein anderes Ziel. Möchte man zum Beispiel eine Analogie zu einem Wasserkreislauf herstellen, so kann dies bei Schülerinnen und Schülern den Eindruck erwecken, dass alle Elektronen in einem elektrischen Leiter in die gleiche Richtung fließen, und dies außerdem mit einer sehr hohen Geschwindigkeit. Hinzu kommt noch, dass hier Möglichkeiten gegeben sind, elektrischen Strom als eine Art Erzeuger-Verbraucher-Modell zu sehen. Möchte man einen elektrischen Stromkreis mittels einer Fahrradkette darstellen, so suggeriert diese Darstellung noch immer, dass sich alle Elektronen in die gleiche Richtung bewegen, einer Erzeuger-Verbraucher-Vorstellung wird mit dieser Darstellung aber schon entgegengewirkt (Gleixner, 1998).

Unter Wissen über Aktivitäten ist gemeint, dass sich Lehrpersonen bewusst sind, welche Schüler- als auch Lehreraktivitäten hilfreich sein können, um ein bestimmtes physikalisches Konzept zu verstehen bzw. zu vermitteln. Dies können unter anderem Schülerexperimente, Simulationen aber auch Demonstrationsexperimente der Lehrkraft sein. Auch diese Unterkategorie wird eine größere Rolle in dieser Diplomarbeit spielen.

Ein Ziel wird es sein, die wichtigsten Demonstrations- als auch Schülerexperimente und deren lernwirksame Einbettung in den Unterricht herauszuarbeiten, aber auch die Relevanz und den Zweck dieser zu erläutern. So kann man zum Beispiel mit einer selbstgebauten optischen Bank auf die Abbildungsweise einer Sammellinse eingehen, aber auch über die verschiedenen Abbildungsfehler bei Linsen sprechen (Dvorak & Haagen-Schützenhöfer, 2015).

1.6 Zusammenfassung

PCK bildet also eine dem Lehrberuf vorbehaltene Wissensbasis, was bedeutet, dass bei der Konzeption einer forschungsbasierten fachdidaktischen Lehrveranstaltung im Rahmen der Lehramtsausbildung diese Wissensbereiche eine große Rolle spielen müssen. Lehrkräfte sollten also ein vertieftes Wissen in all diesen Komponenten von PCK besitzen, um einen erfolgreichen Unterricht gestalten zu können. Eines der übergeordneten Ziele dieser Diplomarbeit ist es also, eine Lernumgebung zu schaffen, in der man einerseits das PCK-Wissen von Lehramtsstudierenden steigern kann (eben über das Aufzeigen von Instruktionsstrategien, Demonstrationsexperimenten, usw.), aber in der man auch an den

Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zu ihrem späteren Beruf anknüpfen wird. Van Dijk & Kattmann (2006) haben sich über die optimale Gestaltung einer Lernumgebung für Lehramtsstudierende Gedanken gemacht, und haben, aufbauend auf dem Modell der didaktischen Rekonstruktion, ein Modell entworfen, welche die angesprochenen Anforderungen erfüllt. Dieses Modell der didaktischen Rekonstruktion in der Lehrerbildung werde ich im nächsten Kapitel besprechen.

2. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion

Ziel dieses Kapitels soll es sein, ein theoretisches Rahmenmodell für die Konzipierung der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik: Elektrizität, Magnetismus und Optik* darzulegen. Die so entstehende Lernumgebung soll natürlich möglichst adressatenspezifisch konzipiert sein, was bedeutet, dass sowohl fachliche Inhalte, als auch PCK-Studien und Vorstellungen von Studierenden über das Lernen und Lehren von Physik in Betracht gezogen werden müssen.

Ein Modell, welches diesen Ansprüchen genügt, ist das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek, & Parchmann, 2012). Dieses Modell wurde ursprünglich für die didaktische Strukturierung von naturwissenschaftlichem Unterricht entworfen, weshalb ich zuerst die Grundzüge dieses Modells klären werde, um danach auf die Möglichkeiten, welche die didaktische Rekonstruktion in der Lehrerbildung aufzeigt, einzugehen.

Der Grundgedanke der didaktischen Rekonstruktion hat seine Wurzeln in der deutschen Bildungstradition. So haben unterschiedlichste Ansätze, wie Klafkis Ansatz der didaktischen Analyse (1969), als auch das Strukturmodell der Berliner Schule (Heimann, Otto, & Schulz, 1969) Einfluss in das Modell der didaktischen Rekonstruktion gefunden. Mit diesem Rahmenkonzept werden also sowohl die Fachstruktur des zu untersuchenden Gegenstandes als auch Vorstellungen der Lernenden in den Prozess der Strukturierung von Unterricht miteinbezogen. Vor allem die Beziehung dieser beiden Faktoren spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Unterrichtsgegenstände sind also nicht vom Wissenschaftsbereich vorgegeben (Duit, Gropengießer, et al., 2012), sondern müssen, unter ausgeglichener Miteinbeziehung der Vorstellungen der Lernenden erst didaktisch rekonstruiert werden. In

der didaktischen Rekonstruktion gibt es drei Grundsäulen, welche rekursiv in Betracht gezogen werden müssen. Diese drei Elemente sind die fachliche Klärung, das Erfassen von Schülerperspektiven sowie die didaktische Strukturierung. Die Versinnbildlichung der wechselwirkenden Beziehungen ist in Abbildung 1 zu sehen.

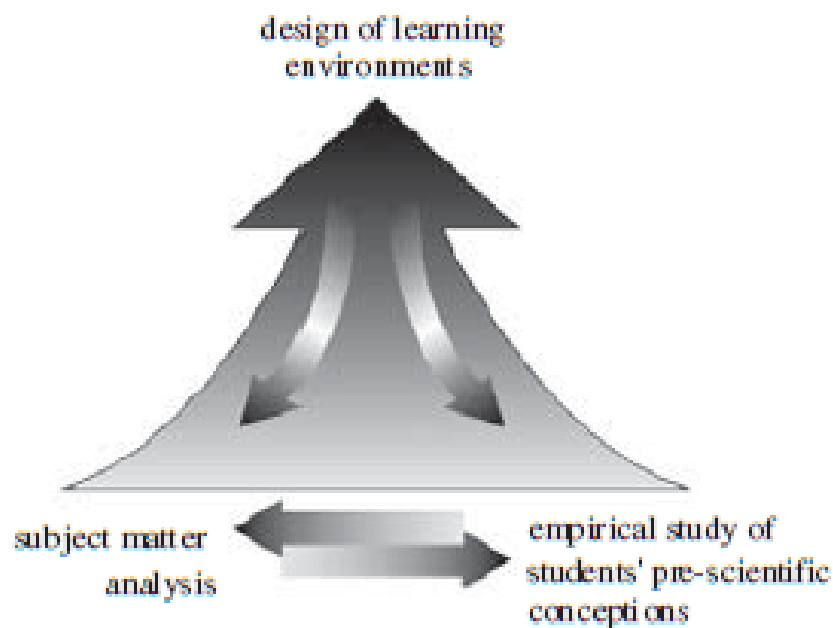


Abbildung 3: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann (2007)

2.1 Die drei Elemente des Modells der didaktischen Rekonstruktion

2.1.1. Fachliche Klärung

Ziel dieses Elements ist es, die Struktur fachliche Konzepte zu analysieren. Dies bedeutet einerseits, die Schlüsselideen des Konzepts zu identifizieren, andererseits aber auch, die didaktische Relevanz aufzuarbeiten. Für die Analyse eines physikalischen Konzepts ist es also notwendig, aktuelle wissenschaftliche Sichtweisen aus Fachbüchern zu diesem Thema qualitativ zu untersuchen. Jedoch sollten auch historisch relevante Sichtweisen, welche unter Umständen zum aktuellen Zeitpunkt keine akkuraten Aussagen mehr liefern (zum Beispiel

Isaac Newtons Vorstellungen über Raum und Zeit), aber einen wichtigen Teil zur Klärung dieses Konzepts beigetragen haben, zur fachlichen Klärung herangezogen werden. Dabei ist es wichtig Fachbüchern oder wissenschaftliche Theorien einer aus naturwissenschaftsdidaktischer Sichtweise kritischen Prüfung zu unterziehen, dieser Schritt muss aber, in einem wechselseitigen Vergleich mit den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler über Physik geschehen. Fachbücher weisen zumeist einen hohen Abstraktionsgrad auf, beinhalten einen großen Teil an Fachvokabeln und werden oft in möglichst kompakter Form dargestellt (zum Beispiel mittels mathematischer Formeln).

Für physikalische Expertinnen und Experten stellen diese Darstellungsformen keine allzu großen Schwierigkeiten dar. Für Schülerinnen und Schüler ist dieser Abstraktionsgrad jedoch nur schwer oder gar nicht erreichbar, ja kann sogar zu Missverständnissen führen (Duit, Gropengießer, et al., 2012). Es hat sich gezeigt, dass eine Berücksichtigung der vorunterrichtlichen Vorstellungen von Schülerinnen und Schüler eine bessere und vor allem adäquatere sachliche Klärung von naturwissenschaftlichen Konzepten ermöglicht (Driver & Erickson, 1983).

Eine der Grundideen der didaktischen Rekonstruktion ist es demnach, ein physikalisches Konzept zu analysieren, um es anschließend für den jeweiligen Unterricht zu elementarisieren (genauerer hierzu siehe Kapitel 2.2).

Laut Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek (1997) sind typische Fragen, die man sich zur fachlichen Klärung stellen sollte:

- 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?

Wie vorhin schon erwähnt, müssen zusätzlich zu diesen Fragen auch noch kontextspezifische Fragen gestellt werden: Welche historische Bedeutung hat diese Theorie? Welche gesellschaftliche und ethische Relevanz hat dieses Konzept?

2.1.2 Erfassen von Schülerperspektiven

Kommen Schülerinnen und Schüler in den Physikunterricht, so besitzen sie zu den meisten physikalischen Konzepten bereits Vorstellungen, die sie in den Unterricht mitbringen. Betrachtet man zum Beispiel den Vorgang des Sehens physikalisch, so senden Lichtquellen Licht aus, dieses fällt entweder direkt in unser Auge, oder es wird von Körpern, welche nicht direkt Licht aussenden, teilweise reflektiert und fällt von dort in unser Auge. Viele Schülerinnen und Schüler erklären sich diesen Prozess anders. Für sie sieht man einen Körper, weil man auf ihn blickt. Dass ein Körper, der keine primäre Lichtquelle ist, selbst Licht aussendet, ist für sie nicht plausibel (Duit, 2004). Derartige Schülerperspektiven oder Schülervorstellungen sind ein zentraler Punkt dieses Elements der didaktischen Rekonstruktion. Unter Schülervorstellungen sind somit Begriffe, Definitionen, Konzepte oder Theorien gemeint, die sich Schülerinnen und Schüler aufgrund ihrer Vorerfahrungen bilden. Sieht man Lernen als konstruktivistischen Prozess, so müssen diese selbstgebildeten Theorien, welche für die Schülerinnen und Schüler im jeweiligen Kontext äußerst plausibel erscheinen, in Betracht gezogen werden. Schülervorstellungen nehmen also gewissermaßen zwei Rollen beim Lernen von Physik ein: Einerseits dienen sie als Anknüpfungspunkt, andererseits aber auch als Lernhindernis (Duit, 2004). Das bedeutet also, dass Aussagen, die von Physiklehrkräften getätigt werden, von Schülerinnen und Schülern oft anders interpretiert werden, als es von der Lehrperson gemeint war. Ziel ist es, Schülervorstellungen mit wissenschaftlichen Anschauungen in Relation zu setzen, um die unterschiedlichen Sichtweisen, welche die Lernenden besitzen, einsehbar zu machen (Kattmann et al., 1997). Da Schülervorstellungen in der didaktischen Rekonstruktion dieser Lehrveranstaltung eine große Rolle einnehmen, möchte ich Schülervorstellungen in Kapitel 4 noch genauer besprechen.

Eine spannende Beobachtung dabei ist, dass sich Schülervorstellungen zu gewissen Themen oder Konzepten in Kategorien einteilen lassen. Perspektiven von Lernenden können also in gewisser Weise verallgemeinert werden. Ziel dieses Elements der didaktischen Rekonstruktion ist es, diese verallgemeinerten Schülervorstellungen zu den jeweiligen Themen zu erfassen, aber auch zu erörtern, aus welchem Kontext diese Vorstellungen abzuleiten sind. Diese können sowohl aus alltäglichen Kontexten, als auch aus fachwissenschaftlichen Kontexten stammen.

Kattmann et al. (1997) schlagen vor, dass man sich folgende Fragen im Rahmen der Erfassung von Schülervorstellungen stellen sollte:

- Welche Vorstellungen haben SchülerInnen zu einem bestimmten Thema?
- Stammen die Vorstellungen aus lebensweltlichen oder fachorientierten Kontexten?
- Welche unterschiedlichen Bedeutungen werden zentralen Fachwörtern zugewiesen?

Weitere wichtige Faktoren, die in Betracht gezogen werden müssen sind außerdem, welche Kontexte überhaupt interessant sind für Schülerinnen und Schüler, bzw. wie man das Interesse der Lernenden wecken kann.

2.1.3 Didaktische Strukturierung

Der zentrale Punkt dieses Elements ist schließlich der wechselseitige Abgleich der fachlichen Aussagen, sowie der empirisch gefundenen Schülervorstellungen. Ziel ist es, eine ansprechende Lernumgebung zu gestalten. Dies bedeutet aber auch, dass affektive Variablen wie Motivation, Interesse und Selbsteinschätzung in Betracht gezogen werden müssen. Am Anfang steht ein Vergleich zwischen den generalisierten wissenschaftlichen Aussagen und den verallgemeinerten Schülervorstellungen. Diese sollen wechselseitig verglichen werden. Die Untersuchungsergebnisse aus Punkt 1 und 2 sollen sich demnach gegenseitig ergänzen und aus der jeweils anderen Perspektive betrachtet werden. Der Schritt der didaktischen Strukturierung stellt keine lineare Entwicklungsaufgabe dar, sondern bildet einen rekursiven Prozess, bei dem Aussagen Stück für Stück strukturiert und Vergleiche gezogen werden müssen. Bei dieser Nebeneinanderstellung können folgende grundlegende Kategorien gefunden werden (Kattmann et al., 1997):

- **Eigenheiten:** Gefundene Theorien, Begriffe oder Konzepte können hauptsächlich einem fachwissenschaftlichen Zugang zugeordnet werden oder sind typisch für Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern. Betrachtet man hier zum Beispiel den elektrischen Strom, so wäre die Aussage „In einem abgeschlossen System bleibt die Gesamtladung zeitlich konstant, d.h. Ladungen können weder erzeugt noch vernichtet werden“ einer eindeutig fachwissenschaftlichen Theorie zugehörig. Wohingegen die Vorstellung, dass Strom verbraucht werden kann, oder verbraucht wird, ein

Erklärungsansatz oder eine Vorstellung ist, die einem lebensweltlichen Zugang zuzuordnen ist.

- Gemeinsamkeiten: Fachwissenschaftliche Theorien sowie Schülervorstellungen überlappen sich, das bedeutet, das sich alltägliche Erklärungen vieler Schülerinnen und Schüler mit der physikalischen Sichtweise decken.
- Verschiedenheiten: In diese Kategorie fallen Konzepte, die, stellt man die fachwissenschaftlichen sowie lebensweltlichen Aussagen gegenüber, als Gegensätze angesehen werden können. Sind diese Aussagen zusätzlich der gleichen Theorie zuzuordnen, so sind sie sogar Widersprüche. Ein Beispiel für diese Kategorie wäre die Energieerhaltung. Lässt man ein ideales Pendel schwingen, so wird dieses Pendel aus physikalischer Sicht immer wieder die Höhe erreichen, die es zum Zeitpunkt des Loslassens gehabt hat. Aus lebensweltlicher Erfahrung wird das Pendel nie wieder auf die exakt gleiche Höhe schwingen, es wird nach einer gewissen Zeit sogar zum Stillstand kommen. Aus alltäglicher Sicht bleibt also die Energie in diesem System nicht erhalten, sie steht im Widerspruch zur physikalischen Sichtweise.
- Begrenztheiten: Hiermit ist gemeint, dass fachliche Aussagen die Grenzen von Schülervorstellungen aufzeigen können. Aber auch die Sicht von Schülerinnen und Schülern können auf die Grenzen wissenschaftlicher Theorien hinweisen.

Aspekte der wissenschaftlichen Sachstruktur sowie Perspektiven von Lernenden sollen in gleichem Maße berücksichtigt werden (Theyssen, 2005), jedoch erfüllen diese beiden einen unterschiedlichen Zweck. Schülervorstellungen sollen im Rahmen der didaktischen Strukturierung als Anknüpfungspunkte dienen, denen Beachtung geschenkt werden soll, während physikalische Theorien und Konzepte das Ziel bilden, das im Unterricht erreicht werden soll.

2.2 Elementarisierung

Physik zu unterrichten bedeutet, komplexe Sachverhalte, welche von den unterschiedlichsten Faktoren abhängen, zu vermitteln. Dies hat zur Folge, dass man physikalische Konzepte oder Begriffe oft nicht in seiner abstrakten Form unterrichten kann. Es ist also zielführend, sich auf

das Wesentliche zu konzentrieren, in dem die fachlichen Inhalte in den Schülerinnen und Schülern angemessene Sinneinheiten unterteilt werden. Schließlich muss der fachliche Inhalt auch vereinfacht werden, um den kognitiven Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu entsprechen. All dies soll die Elementarisierung gewährleisten. Hopf, Schecker und Wiesner (2011) identifizieren dabei vier wesentliche Funktionen, welche die Elementarisierung einnehmen kann:

- Vereinfachung (didaktische Reduktion)
- Bestimmung des zentralen Kerns eines Themenbereichs (inhaltliche Elementarisierung)
- Bestimmen elementarer Sinneinheiten und Verständniselemente (begriffliche Elementarisierung)
- Zerlegung in methodische Elemente (methodische Elementarisierung)

Die Elementarisierung ist somit als weiteres Werkzeug für die adressatengerechte Gestaltung von Lernumgebungen zu sehen, wobei es jedoch auch hier kein allgemeingültiges Rezept gibt, wie fachliche Inhalte zu elementarisieren sind. Kircher, Girwidz und Häußler (2015) nennen jedoch einige übergeordnete Kriterien, die es bei der Elementarisierung einzuhalten gilt:

- **Fachgerechtigkeit**

Die Vereinfachungen dürfen keine falschen Vorstellungen implizieren, keine fachlichen Fehler enthalten und sie dürfen nicht zu einer falschen Darstellung von physikalischen Sachverhalten führen. Beispiele fehlerhafter Elementarisierungen lassen sich im Kapitel sieben finden. Hierbei ist jedoch auch wichtig zu sagen, dass Vereinfachungen immer Hand in Hand damit gehen, dass bestimmte Faktoren unberücksichtigt bleiben (zum Beispiel die Reibung bei Betrachtungen in der Mechanik), wichtig ist dabei jedoch die fachliche Relevanz.

- **Anschlussfähigkeit**

Die Vereinfachungen sollen so gewählt sein, dass kein späteres Umdenken von Nöten ist, das Erlernte soll ausbaubar sein.

- **Schülergemäßheit**

Das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler ist auch bei der Elementarisierung von fachlichen Begriffen zu berücksichtigen. Somit sind also auch durch fachdidaktische Forschung aufgezeigte Schülervorstellungen zu berücksichtigen. Aber auch der

Abstraktionsgrad muss dem kognitiven Entwicklungsstand der Lernenden entsprechen (Hopf et al., 2011).

2.3 Vorgehensweise

Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass die drei Elemente der didaktischen Rekonstruktion stark voneinander abhängig sind. Diese drei Elemente hängen jedoch nicht linear zusammen, sondern sie beeinflussen einander ständig. Dies bedeutet, dass die drei Elemente abwechselnd bearbeitet werden müssen und jedes Element nach jedem Arbeitsschritt mit den anderen beiden Elementen abgeglichen werden muss. Diese iterative Vorgehensweise wird in Abbildung 4 verdeutlicht (Kattmann et al., 1997).

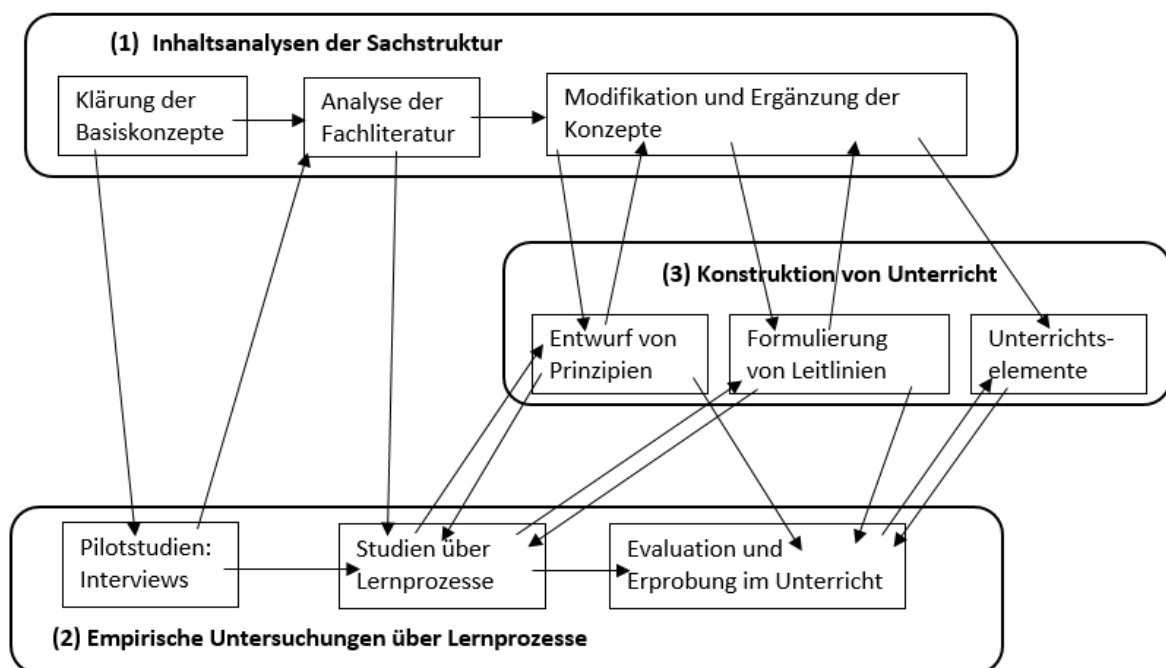


Abbildung 4: Vorgehensweise bei der didaktischen Rekonstruktion, frei modelliert nach Duit et al. (2012)

3. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion in der Lehramtsausbildung - das ERTE Modell

Das in Kapitel 2 beschriebene Modell der didaktischen Rekonstruktion lässt sich, unter Berücksichtigung einiger Aspekte, leicht für die Ausbildung von Lehrkräften adaptieren. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion ist ein Rahmenkonzept zur forschungsbasierten Konzeption von Lernumgebungen, weshalb die didaktische Rekonstruktion auch eine Säule des Modells der didaktischen Rekonstruktion für die Lehrerausbildung darstellt, kurz ERTE-Modell (Educational Reconstruction for Teacher Education). Wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist, handelt es sich beim Modell der didaktischen Rekonstruktion in der Lehramtsausbildung (ERTE Modell) um ein Modell, welches aus drei Ebenen besteht (van Dijk & Kattmann, 2006).

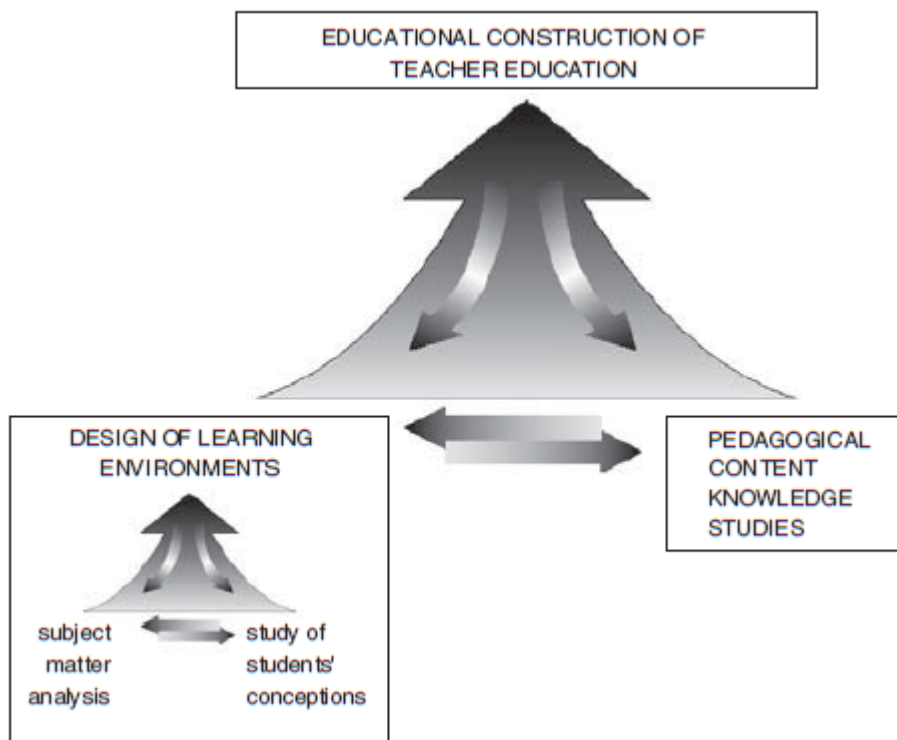


Abbildung 5: Das ERTE-Modell nach van Dijk und Kattmann (2006)

Um eine akkurate Lernumgebung für Lehramtsstudierende gestalten zu können, muss nach van Dijk und Kattmann (2006) einerseits das Modell der didaktischen Rekonstruktion in Betracht gezogen werden, aber auch Studien über das in Kapitel eins vorgestellte PCK – Professionswissen von Lehrkräften. Wobei hier vor allem auch die Defizite des PCK, welche durch PCK-Studien an den Tag treten, adressiert werden müssen. So zeigte eine Studie von Hirn und Viennot (2000) einige Leitlinien in Bezug darauf auf, welche Aspekte bei der Einführung neuer Unterrichtsmaterialien zu beachten sind. Sollen die zukünftigen Lehrkräfte in ihrem späteren Beruf zum Beispiel neue Sachstrukturen für den Unterricht in einem bestimmten Themengebiet (zum Beispiel der Optik) kennen lernen und in ihrem späteren Unterricht umsetzen, so legen Hirn und Viennot (2000) nahe, dass auch die Unterrichtsmaterialien auf diesen neuen Unterrichtslehrgang oder diese neue Sachstruktur angepasst werden müssen. Werden schlichtweg die „alten“ Schülerversuche, Demonstrationsexperimente etc. für das neue Unterrichtskonzept umgesetzt, so zeigte sich, dass die Lehrpersonen in diesem Fall sehr schnell wieder in ihre alten Erklärungsmuster zurückfallen. Für die Gestaltung der Lehrveranstaltung *„Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik“* bedeutet dies, dass die Studierenden nicht nur empirisch erprobte Lehrgänge kennen lernen sollen, sondern auch sinnvolle unterrichtliche Aktivitäten die mit diesen verbunden sind und in Einklang stehen. Zusätzlich kann gesagt werden, dass die Studierenden aufgrund ihrer eigenen Sozialisation oftmals kritisch gegenüber curricularen Veränderungen stehen, da bei neuen Unterrichtskonzepten oder -lehrgängen oft die Angst besteht, „zu wenig Stoff“ abzuhandeln oder „zu wenig zu rechnen“.

Heywood (2005) untersuchte in seiner Studie 55 Studierende des Lehramts für die Primarstufe im Themengebiet Optik. Dabei zeigte sich, dass die Studierenden zwar ein gewisses Faktenwissen in diesem Bereich vorweisen konnten, die LehramtskandidatInnen hatten aber große Schwierigkeiten dabei, physikalische Sachverhalte zu erklären. Hierbei ist natürlich zu beachten, dass die Lehramtsstudierenden für die Primarstufe wesentlich weniger physikalische Fachausbildung erfahren als Studierende des Lehramts für die Sekundarstufe. Jedoch sollte die Implikation der Studie von Heywood (2005), das Verständnis der physikalischen Sachverhalte im Gegensatz zu physikalischem Faktenwissen mehr zu betonen, auch in der Konzeption der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* für die Vermittlung physikalischer Sachverhalte beachtet werden.

Die didaktische Strukturierung der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* erstreckt sich also über mehrere Teilbereiche, die im Rahmen dieser Diplomarbeit behandelt werden. Einerseits muss erörtert werden, welches Wissen Lehramtsstudierende über das Modell der didaktischen Rekonstruktion sowie über die konstruktivistische Gestaltung von Lernumgebungen (dieser Teil ist mit der fachlichen Ebene des Modells der didaktischen Rekonstruktion gleichzusetzen) besitzen, andererseits die Lernvoraussetzungen und Vorstellungen der Studierenden aufgearbeitet werden. Es gilt also für die Themenbereiche Elektrizität, Magnetismus und Optik empirisch bewährte Schülervorstellungen, Lehrgänge, Instruktionsstrategien, etc. darzustellen. Der Philosophie des Modells der didaktischen Rekonstruktion folgend sind die Elemente des ERTE-Modells aber nicht nacheinander zu bearbeiten, sondern in einem rekursiven Vorgang, unter wechselseitigem Vergleich.

In diesem Kapitel sind zwei Begriffe vorgekommen, denen eine große Bedeutung in der didaktischen Strukturierung der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* zukommt: Schülervorstellungen und Konzeptwechsel. Um die theoretische Aufbereitung der Grundbegriffe, welche für diese Diplomarbeit wichtig sind, abzuschließen, möchte ich in den nächsten beiden Kapiteln noch näher auf diese beiden Begriffe eingehen.

4. Schülervorstellungen

Wie bereits in Kapitel 3 angekündigt, möchte ich in den nächsten beiden Abschnitten näher auf die beiden Begriffe Schülervorstellungen und Konzeptwechsel eingehen. „Schülervorstellung“ ist ein Begriff, welcher im Prinzip viele Bedeutungen besitzen kann. Alternative Bezeichnungen für Schülervorstellungen wären Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen, alternative frameworks, Schülervorverständnis, Präkonzepte etc. (Wodzinski, 1996). In dieser Diplomarbeit werde ich vorwiegend die Begriffe Schülervorstellungen und Präkonzepte verwenden, um eine einheitliche Linie beizubehalten. Soll der lernhinderliche Aspekt der Vorstellungen hervorgehoben werden, so wird von Lernschwierigkeiten gesprochen (Hopf et al., 2011).

4.1 Was sind Schülervorstellungen?

In Kapitel 2.1.2 wurde bereits versucht, einen Einblick zu Schülervorstellungen zu geben und warum sie eine so bedeutende Rolle für den Physikunterricht spielen. In diesem Kapitel möchte ich nun noch näher auf die physikdidaktischen Befunde, die zu Präkonzepten vorliegen, eingehen. Die Begriffe Schülervorstellungen und Präkonzepte sind im Zuge dieser Diplomarbeit als synonym anzusehen und sind jene Vorstellungen, mit welchen Schülerinnen und Schüler in den Physikunterricht kommen, welche sie sich in ihrem bisherigen Leben gebildet haben.

Aus physikdidaktischer Forschung bisher gingen einige Punkte hervor, die gewissermaßen als Grundannahmen über Schülervorstellungen zu sehen sind (Hopf et al., 2011).

- Schülervorstellungen sind einerseits Vorstellungen und Denkweisen zu physikalischen Konzepten und Phänomenen, die sich über Jahre hinweg aus Alltagserfahrungen gebildet haben, können andererseits aber auch spontan im Physikunterricht entstehen, zum Beispiel dann, wenn Schülerinnen und Schüler ein Experiment nicht vollständig verstehen und sich dann spontan Erklärungen für diese Phänomene überlegen.
- Schülervorstellungen können sich spontan bilden, wenn Lernende versuchen, Erklärungen für ein physikalisches Phänomen zu finden (Hopf et al., 2011).
- In Untersuchungen auf internationaler Ebene wurden die gleichen Ergebnisse zu Schülervorstellungen gefunden, Präkonzepte sind also keine kulturspezifischen Konstrukte (Wodzinski, 1996).
- Wie schon in Kapitel 2.1.2 angeschnitten, sind Vorstellungen von unterschiedlichen Schülerinnen und Schülern zwar verschieden, lassen sich aber dennoch nach einer endlichen Anzahl an bestimmten Kategorien oder Mustern ordnen (Duit, 2004; Wodzinski, 1996)
- Präkonzepte sind äußerst widerstandsfähig gegenüber Physikunterricht, was bedeutet, dass Schülervorstellungen bei der Unterrichtsplanung in besonderer Weise berücksichtigt werden müssen (Wodzinski, 1996).
- Es zeigte sich, dass sich Schülerinnen und Schüler durch Experimente nur in einem gewissen Ausmaß überzeugen lassen (Duit, 1989a; Wodzinski, 1996).

4.2 Die Überzeugungskraft von empirischer Evidenz

Der Überzeugungskraft von experimentellen Beobachtungen möchte ich noch größere Beachtung schenken, da sie in ziemlichem Gegensatz zum allgemeinen Mythos von „Viele Experimente bilden einen guten Physikunterricht“ steht. Grundsätzlich ist es ja so, dass unterschiedliche Personen Verschiedenes sehen, wenn sie das Selbe betrachten (als Beispiel: Rohrschachs Formdeutungsverfahren). Ein Grund für diese Unterschiedlichkeit in der Interpretation liegt in den unterschiedlichen Vorerfahrungen der einzelnen Personen. Dieses Phänomen inkludiert natürlich auch Beobachtungen, die im naturwissenschaftlichen Rahmen geschehen.

Gunstone und White (1981) haben folgenden Versuch Studierenden der Monash University gezeigt. Ein Kübel, welcher mit Sand gefüllt war, ist über eine Umlenkrolle mit einem Holzstück verbunden. Die Ausgangssituation ist, dass das System sich im Gleichgewicht befindet, sowohl der Kübel als auch das Holzstück sind im Stillstand. Danach wird so lange Sand in den Kübel gegeben, bis sich dieser beschleunigt nach unten bewegt. Die Studierenden sollten hierbei eruieren, ob die Geschwindigkeit an zwei Stellen (eine oben - „High Mark“ sowie eine eher unten - „Low Mark“) gleich groß ist. Das spannende hierbei ist, dass der Großteil der Studierenden, welche vorausgesagt hatten, dass sich der Kübel an beiden Stellen gleich schnell bewegen wird, dies auch beobachteten.

Dieses Beispiel soll stellvertretend dafür stehen, dass Schülerinnen und Schüler bei Experimenten nicht unbedingt das Wahrnehmen, was es aus der Sicht von Lehrkräften wahrzunehmen gibt (Duit, 1989a).

Wie sehr lassen sich Schülerinnen und Schüler von empirischer Evidenz überzeugen? Zeigt man eine Schaltung, in der fünf Glühlämpchen mit einem einfachen Draht in Serie geschaltet sind, jungen Schülerinnen und Schülern (Primarstufe oder Sekundarstufe I) und bittet diese, Voraussagen zu treffen, welches der Lämpchen als erstes leuchten wird, bzw. ob sie alle zugleich zu leuchten beginnen werden, so werden einige Kinder argumentieren, dass eines zuerst zu leuchten beginnt. Der Strom muss ja schließlich erst von der Steckdose zu der Schaltung gelangen, und an den äußeren Glühbirnen kommt der Strom zuerst an.

Zeigt man anschließend Schülerinnen und Schülern dieses Experiment, so lassen sich viele Lernende nicht von der empirischen Evidenz, welche aufzeigt, dass alle gleichzeitig zu leuchten beginnen, überzeugen, sondern sie führen das Nicht-Eintreten ihrer Vorhersage entweder auf andere Gründe zurück, oder meinen, dass ihre Voraussage im Grunde stimmt, das menschliche Auge aber nicht schnell genug aufnehmen kann, dass eine Glühbirne zuerst zu leuchten beginnt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen auch Beobachtungen bei Experimenten beeinflussen. Es ist im Unterricht also zu beachten, dass Experimente nicht unmittelbar zu den wissenschaftlichen Vorstellungen leiten, wie es lange Zeit erhofft wurde (Duit, 1989a).

4.3 Naturwissenschaftliches Beobachten

Ist objektives Beobachten möglich? Das ist eine Frage, die grundsätzlicher Klärung bedarf, bevor etwa eine Auseinandersetzung mit der Rolle des Experiments als Vermittlungsmethode folgt. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass die Fülle der Sinnesdaten, die uns erreicht, nur dann verarbeitet werden kann, wenn die Daten bereits im Vorfeld so reduziert werden, sodass die Datenmenge, welche tatsächlich weiterverarbeitet wird, einigermaßen überschaubar bleibt. Diesem Gedanken folgend bedeutet dies aber, dass wir nur das bewusst wahrnehmen, worauf wir uns konzentrieren, was uns als wichtig erscheint. Dies impliziert wiederum, dass so etwas wie eine „objektive Beobachtung“ im Grunde nicht möglich ist, da die Sinnesdaten, die uns bewusst erreichen, bereits interpretiert sind. Vergleicht man nun die Intention der Lehrkraft mit dem Beobachteten eines Schülers oder einer Schülerin, so wird deutlich, dass die Beiden unter Umständen andere Aspekte wichtig finden. Lehrkraft und Lernende können also auf diese Weise mit einander sprechen, ohne sich zu verstehen (Duit, 1993).

Wenn Lehrpersonen mit fachlich nicht angemessenen Vorstellungen konfrontiert sind, so ist dies zunächst die Vorstellung der Lehrkraft (welche die Lehrperson aufgrund ihrer/seiner Vorerfahrungen gebildet hat) über die Vorstellungen der Lernenden. Korrekterweise müsste man also sogar so weit gehen, dass die Begriffe, die ich in dieser Diplomarbeit als

Schülervorstellungen, Präkonzepte oder Lernschwierigkeiten bezeichne, tatsächlich nur die Vorstellungen der fachdidaktischen Community über die Vorstellungen der Lernenden sind.

Nichtsdestotrotz lassen sich, wie schon in Kapitel 3 erwähnt, bestimmte Kategorien von Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten finden. Ich werde im Folgenden noch etwas näher auf eine Unterteilung von Hopf et al. (2011) eingehen, da diese Unterteilung auch für die Gestaltung der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* dienlich ist.

4.4 Typische Lernschwierigkeiten

Betrachtet man schulisches Lernen in einem sehr vereinfachten Bild, so kann man dieses in drei wesentliche Komponenten unterteilen: (1) Die Inhalte, die im Unterricht besprochen werden sollen, (2) die Lehrenden, welche die Inhalte den (3) Lernenden näherbringen möchten. Nach Hopf et al. (2011) können mit diesen drei Komponenten bestimmte Arten von Lernschwierigkeiten verknüpft werden, diese werden sach-, lehr-, und innenbedingt genannt, wobei es hier natürlich zu Überschneidungen kommen kann. Im Folgenden werde ich näher auf diese drei Arten von Lernschwierigkeiten eingehen und außerdem erörtern, warum jede dieser drei Arten für die Entwicklung der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* wichtig ist.

4.4.1 Sachbedingte Lernschwierigkeiten

Diese Lernschwierigkeiten sind sehr stark mit physikalischen Konzepten verbunden. Komplexe physikalische Konzepte, wie zum Beispiel das eines Feldes oder der Entropie, stoßen auf Lernschwierigkeiten. Die Beschleunigung ist ein gutes Beispiel hierfür. Es fällt vielen Schülerinnen und Schülern schwer, sich eine Beschleunigung zu einem bestimmten Zeitpunkt vorzustellen. Generell sind Grenzübergänge (wie hier der Grenzübergang von der Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit) Quelle von sachbedingten Lernschwierigkeiten. Hier steht also die Schwierigkeit des physikalischen Konzepts an und für sich im Vordergrund.

Wissen über physikalische Modelle oder Konzepte, welche Schülerinnen und Schülern besonders schwerfallen, ist essentiell wenn es um physikalischen Unterricht geht, weshalb eine Diskussion dieser in jedem Fall Platz in einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung zu gewissen Themen finden muss.

4.4.2 Lehrbedingte Lernschwierigkeiten

Diese Art von Lernschwierigkeiten ist am stärksten von Lehrpersonen beeinflussbar, da sie durch unangebrachte Darstellungen oder mangelnde fachdidaktische Überlegungen zustande kommen. Vereinfachungen oder Darstellungen, welche für physikalisch gebildete oder versierte Personen keinerlei Probleme darstellen, können bei Schülern und Schülerinnen dazu führen, dass Lernschwierigkeiten und Präkonzepte verstärkt werden. In vielen Schulbüchern kann man zum Beispiel gelbe Lichtstrahlen finden, welche Sonnenstrahlen darstellen sollen. Soll das Licht in diesen Darstellungen zusätzlich noch als Sonnenlicht gesehen werden, so identifizieren viele Schülerinnen und Schüler auch nach dem Optikunterricht Sonnenlicht nicht mit weißem Licht, sondern ordnen diesem eine eher gelbliche Farbe zu (Haagen-Schützenhöfer et al., 2014).

Nach Hopf et al. (2011) sind weitere Quellen von lehrbedingten Lernschwierigkeiten:

- *Mangelhaftes Betonen von Schlüsselideen oder –phänomenen*

Als Beispiel: In der Optik wird nicht oft genug betont, dass Licht von einem Gegenstand in unser Auge gelangen muss, damit wir es sehen können (Sender-Empfänger-Modell). Die Schülerinnen und Schüler bleiben bei der Vorstellung, dass man Gegenstände sehen kann, wenn man nur den Blick darauf richtet.

- *Ungeeignete Auswahl von Ankerbegriffen oder Analogien*

In Kapitel 2 wurde anhand des Beispiels für einen Stromkreis bereits eruiert, dass ungeeignete Analogien wie die eines Wasserkreises zu Lernschwierigkeiten führen können.

- *Langfristig blockierende Sequenzierung*

Hopf et al. (2011) nennen hier als Beispiel den Mechanikunterricht. Beginnt man diesen mit der Statik und somit mit dem statischen Kraftbegriff, so ergeben sich viele Lernschwierigkeiten oder diese werden verstärkt, was sich wiederum negativ auf das Lernen der Dynamik auswirkt. Als weiteres Beispiel die Sequenz Arbeit => Energie genannt, welche das Erlernen des ohnehin schwierigen Energiebegriffs erschwert.

- *Fachliche Fehler und missverständliche Vereinfachungen*

„Geschwindigkeitsänderungen bedeuten immer, dass ein Körper schneller oder langsamer wird.“ Diese Aussage trifft zwar auf den eindimensionalen Fall der Bewegung eines Körpers zu, jedoch ist die Geschwindigkeit physikalisch gesehen ein Vektor, was bedeutet, dass sich bei der Betrachtung einer Bewegung im zwei- oder dreidimensionalen Fall auch die Richtung der Geschwindigkeit ändern kann. Es gibt also eine Geschwindigkeitsänderung, obwohl der Betrag der Geschwindigkeit gleich bleibt, der Körper wird also weder schneller noch langsamer.

- *Beschränkung auf idealisierte Fälle*

Hier ist ein besonders gutes Beispiel die Newtonsche Mechanik. Beschränkt man sich hierbei nur auf reibungsfreie Fälle, oder nur auf Massenpunktbewegung, so können Schülerinnen und Schüler denken, dass die Newtonsche Mechanik nur auf idealisierte Einzelfälle anwendbar ist.

Dasselbe Prinzip lässt sich auch im Optikunterricht finden, werden hier nur drei ausgezeichnete Strahlen (Mittelpunkt- und Brennpunktstrahlen) zur Konstruktion von Bildern verwendet, so können Schülerinnen und Schüler den Abbildungsvorgang in einer Linse nur schwer nachvollziehen.

4.4.3 Innenbedingte Lernschwierigkeiten

Lernschwierigkeiten dieses Typs sind stark damit verknüpft, wie wir Sinnesdaten verarbeiten und wie unser kognitiver Apparat arbeitet. Neue Informationen werden mit Hilfe bereits vorhandener Denk- und Wissensstrukturen bewertet, interpretiert und verarbeitet. Dabei können Teile hinzugefügt, weggelassen oder anders als von der Lehrperson beabsichtigt, eingeordnet werden (Hopf et al., 2011).

4.5 Schülervorstellungen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik

Innenbedingte Lernschwierigkeiten oder Schülervorstellungen sind ein wichtiger Aspekt für den Physikunterricht, weswegen ich noch auf die wichtigsten Schülervorstellungen (welche zum Großteil innenbedingt sind) zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik eingehen werde. Dabei kann es sich um Schülervorstellungen handeln, die sich bei den Schülerinnen und Schülern im Alltag und vor dem naturwissenschaftlichen Unterricht gebildet haben. Es zeigte sich aber auch, dass gewisse Darstellungsformen und Analogien auch zur Bildung von Vorstellungen, welche nicht im Einklang mit der physikalischen Sichtweise stehen, führen können. Außerdem sind diese Schülervorstellungen bei den Schülerinnen und Schülern großteils so tief verankert, dass sie diese nicht angemessenen Vorstellungen auch noch nach dem Unterricht haben.

4.5.1 Schülervorstellung in der Elektrizitätslehre

Von Rhöneck (1986) zeigt einige Gedankenmuster auf, welche Schülerinnen und Schüler oftmals verwenden, wenn sie Aussagen über elektrische Stromkreise treffen sollen. Von Rhöneck befragte dabei insgesamt 414 Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II. Hier zeigte sich, dass die Schülerinnen und Schüler oft auch noch nach dem Unterricht der Elektrizitätslehre diese Auffassungen vertraten. Die wichtigsten Erkenntnisse waren hierbei:

- **Strom ist ein Stoff, und kein Vorgang**

Physikalisch gesehen ist elektrischer Strom ein Prozess, bei dem Ladungsträger strömen, wobei sich eine Netto-Vorzugsrichtung ergibt. Lernende verwenden den Begriff des elektrischen Stroms jedoch oft auch in Verbindung mit der Ladung an und für sich. Kritisch wird es vor allem dann, wenn Schülerinnen und Schüler zum Beispiel argumentieren, dass in einer Batterie viel Strom „gespeichert“ ist, hier wird Strom nicht nur als Stoff oder Substanz aufgefasst, sondern zusätzlich als ruhende Substanz, was wiederum die Unterscheidung zwischen Stromstärke und Spannung erheblich erschweren kann.

- **Elektrischer Stromverbrauch**

Eine äußerst beharrliche Vorstellung ist jene des Stromverbrauchs, wobei sich hier Lernende oft vorstellen, dass der Strom zum Beispiel durch ein Lämpchen entwertet, oder zumindest vermindert wird. Eine Studie von Von Rhöneck (1986) zeigte, dass diese Vorstellung des Stromverbrauchs auch noch nach dem Unterricht bei Schülerinnen und Schülern vorhanden ist. Hier ist außerdem anzumerken, dass sich der Begriff des Stromverbrauchs in der Alltagssprache in vielen Situationen bewährt hat, was die physikalische Begriffsbildung zusätzlich erschwert.

- **Unterscheidung von Spannung und Stromstärke**

Vielen Lernenden, sogar noch auf Universitätsniveau, fällt es schwer, zwischen Spannung und Stromstärke zu differenzieren, oftmals ordnen sie der Spannung die „Stärke“ des Stromes zu, Spannung ist also eine Eigenschaft des elektrischen Stroms (von Rhöneck, 1986). Erschwerend kommt hinzu, dass im Unterricht zum Teil Widerstände besprochen werden, die temperaturabhängig sind, es wird dabei jedoch so getan als wären diese Ohm'sche Widerstände. (Hopf et al., 2011).

- **Konstante Stromstärke in einem geschlossenen Stromkreis**

Diese Vorstellung hängt stark mit der Stromverbrauchsvorstellung zusammen, die Tatsache dass $I = \text{konstant}$ in einem geschlossenen Stromkreis gilt, widerspricht dieser Verbrauchervorstellung (von Rhöneck, 1986).

- **Lokale Argumentation**

Diese Schülervorstellung lässt sich am besten mittels einer Abbildung beschreiben, siehe Abbildung 6. Bei der lokalen Argumentation entscheiden Schülerinnen und Schüler an jeder Abzweigung erneut, wie sich der Strom aufteilt, sie konzentrieren sich also immer auf bestimmte Stellen im elektrischen Stromkreis. Bei Von Rhöneck (1986) gaben circa 60 Prozent der UntersuchungsteilnehmerInnen an, dass sich der Strom wie in Abbildung 6 aufteilt.

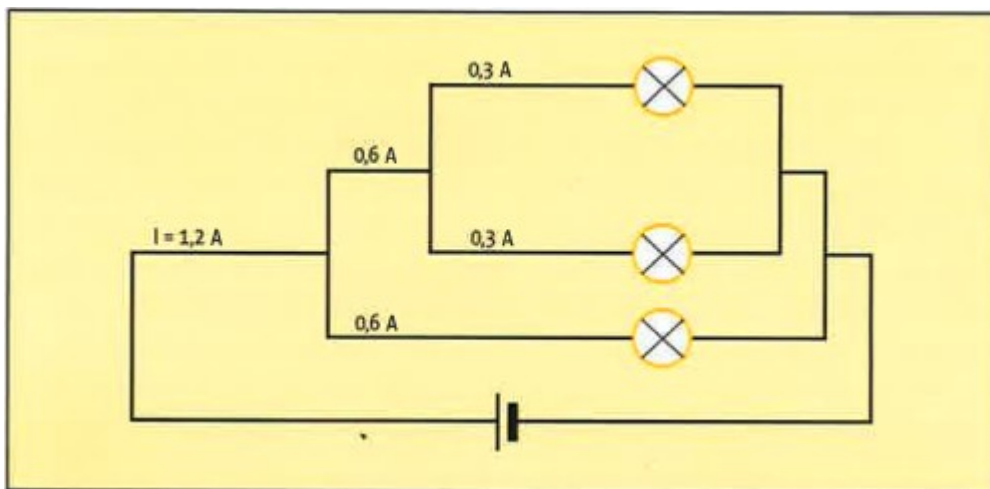


Abbildung 6: Lokale Argumentation in einem Stromkreis, übernommen von Hopf et al. (2011)

- **Sequentielle Argumentation**

Die Vorstellung der sequentiellen Argumentation hängt stark damit zusammen, dass sich Lernende den Stromfluss als etwas vorstellen, das bei einer Stromquelle (also zum Beispiel einem Batterieanschluss) beginnt und sich dann Stück für Stück durch die Kabel und Anschlüsse vorarbeitet. Am besten lässt sich diese Vorstellung wieder mit einem skizzierten Stromkreis beschreiben, siehe Abbildung 7.

Schülerinnen und Schüler sagen eine unterschiedliche Helligkeit für das Lämpchen voraus, je nachdem ob Widerstand eins oder Widerstand zwei erhöht wird. Vergrößert man den ersten Widerstand, so wird das Lämpchen schwächer, weil der Strom durch den höheren Widerstand vor dem Lämpchen schwerer zur Lampe kommt. Vergrößert man den Widerstand zwei, so ändert sich die Helligkeit des Lämpchens nicht, da der zweite Widerstand sich im Stromkreis ja hinter dem Lämpchen befindet.

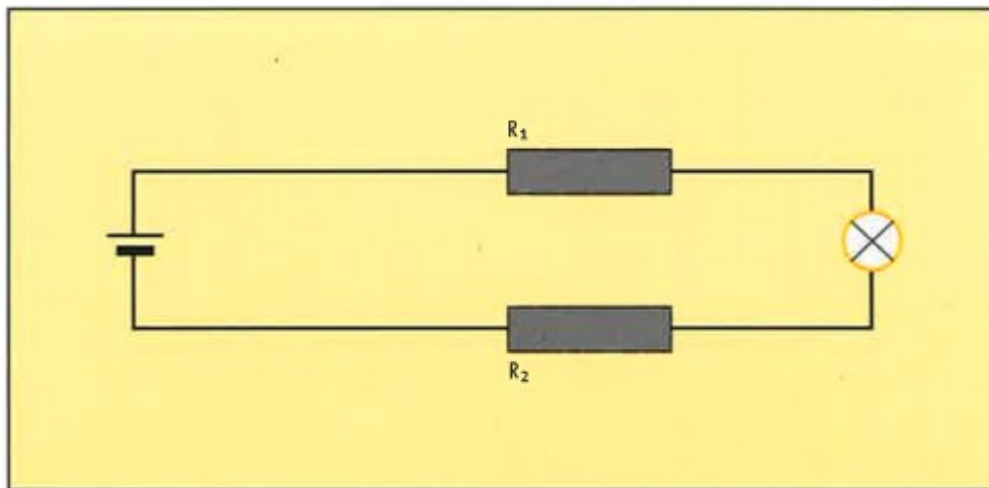


Abbildung 7: Serienschaltung, übernommen aus Hopf et al. (2011)

4.5.2 Schülervorstellungen zum Magnetismus

Magnetismus hat ein festes Standbein im Physiklehrplan, nicht nur in Österreich, sondern kulturübergreifend. Nichtsdestotrotz gibt es verglichen mit den Untersuchungen zur elementaren Elektrizitätslehre weniger Untersuchungen, die sich mit Schülervorstellungen zum Thema Magnetismus beschäftigt haben. Es lassen sich jedoch einige Befunde, die für didaktische Rekonstruktion der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* wichtig sind, finden. Bei den Schülervorstellungen zu magnetischen Phänomenen muss insofern weiter differenziert werden, als dass sich hier Vorstellungen zu zwei Bereichen finden lassen: Einerseits zu magnetischen Feldern und deren Wirkung, andererseits zum Konzept des physikalischen Feldes an sich.

4.5.2.1 Vorstellungen zu Magnetfeldern und Magneten

Auch zu den Vorstellungen im Bereich des Magnetismus muss gesagt werden, dass viele dieser Alltagsvorstellungen selbst noch nach dem Anfangsunterricht bei Schülerinnen und Schülern vorzufinden sind.

- Viele Schülerinnen und Schüler haben die Vorstellung, dass ein magnetisches Feld den Raum ausfüllt und elastische Eigenschaften besitzt. Laut Dittmann (1979) strömt für

einige Lernende das Feld aus Ladungen, erfüllt dadurch den Raum und steht in einer festen Verbindung zu seiner Quelle. Diese Vorstellungen könnten dadurch entstehen, dass der Modellcharakter eines physikalischen Feldes nicht oft genug hervorgehoben wird. Damit verbunden ist laut Reinders Duit (1989b) auch die Visualisierung der Kraftwirkungen eines Magnetfeldes mittels Metallspänen. Diese Späne bringen somit das ansonsten unsichtbare Magnetfeld zum Erscheinen. Außerdem ist es für Schülerinnen und Schüler zum Teil uneinsichtig, dass ein leerer Raum Kräfte ausüben kann wie ein Körper (Mingirulli, 1989).

- Ein weiterer Befund von Guisasola (2000) zeigt auf, dass Schülerinnen und Schüler zum Teil der Fehlvorstellung unterliegen, dass Ladungen im allgemeinen, unabhängig davon ob sie in Bewegung sind oder nicht, ein Magnetfeld erzeugen.
- Schlichting & Backhaus (1980) beschreiben in ihrem Artikel, dass sich Schülerinnen und Schüler ein Magnetfeld als eine Art von Wolke oder Atmosphäre, welche den Magneten umgibt, vorstellen. Damit verbunden ist die Vorstellung, dass dieses Magnetfeld also einen scharfen Rand haben muss. Eisenspäne, welche sich außerhalb dieser scharfen Grenze befinden, werden demnach nicht mehr von diesem angezogen.
- Eine weitere, häufig auftretende Fehlvorstellung ist mit der Visualisierung des Kraftfeldes mittels Eisenspänen verbunden. Dabei werden die Eisenspäne, welche sich entlang der Feldlinien des Magnetfeldes ausrichten mit dem Feld an sich identifiziert. Dies bedeutet, dass sich die Lernenden demnach ein Magnetfeld als zweidimensionales Muster um den Magneten herum vorstellen (Schlichting & Backhaus, 1980). Außerdem kommt hinzu, dass viele dieser zweidimensionalen Darstellungen in Schulbüchern diese Vorstellung noch verstärken.
- In der Untersuchung von Borges, Tecnico, & Gilbert (1998) zeigte sich, dass die Pole eines Magneten häufig mit elektrischem Strom oder Ladungen in Verbindung gebracht werden. Dies bedeutet, dass viele Lernende meinen, dass in einem Magneten Ladungen getrennt werden, wodurch die Pole aufgrund von fehlenden Elektronen oder Überschuss derer entstehen.
- Die Darstellungsform von Magneten im Unterricht oder in Schulbüchern bildet die Grundlage für die Vorstellung, dass die Pole eines Magneten jeweils eine Hälfte des gesamten Magneten bilden. Bei den häufig verwendeten Magneten bei Experimenten

im Unterricht sowie bei Abbildungen sind die Hälften eines Magneten jeweils rot und grün markiert.

- Vor allem jüngere Schülerinnen und Schüler haben zudem die Vorstellung, der Magnet hat eine Art „Klebstoff“, der das Eisen festhält. Auch hier reicht die empirische Evidenz, dass sich der „Klebstoff“ selbst nach intensivem Reiben nicht entfernen lässt, nicht aus, und die Schülerinnen und Schüler argumentieren, dass es sich hier eben um einen ganz speziellen Klebstoff handelt.

4.5.2.2 Vorstellungen zu physikalischen Feldlinien

- Heege und Schwaneberg (1985) haben 176 Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I zu ihren Vorstellungen über magnetische Felder befragt. Das Ergebnis war, dass mehr als 50% der Schülerinnen und Schüler die Feldlinien mit dem magnetischen Feld verwechselt haben. Nach dieser Vorstellung sind die Feldlinien bereits das Feld. Nimmt man zum Beispiel Eisenfeilspäne, so kann man die sonst unsichtbaren Feldlinien sichtbar machen. Die Lernschwierigkeiten liegen hier also vor allem darin, dass die Lernenden den Modellcharakter eines physikalischen Feldes nicht richtig erkennen.
- Hermann (1995) kommt zu dem Schluss, dass die Vorstellung einiger SchülerInnen, dass magnetische Feldlinien nur außerhalb eines Magneten existieren, darauf zurückzuführen ist, dass die Feldlinienbilder von Magneten in Büchern oftmals unzureichend gestaltet sind. Viele Abbildungen zeigen im Inneren der Magneten keine Feldlinien, obwohl eben jene dichter liegen müssten als außerhalb des Magneten.
- Weitere Vorstellungen zu Feldern konnten Pocovi und Finley (2002) sowie Pocovi (2007) offenlegen. Dabei fanden sie heraus, dass oft Feldstärke und Kraft gleichgesetzt werden oder diese beiden sich nur um einen konstanten Faktor unterscheiden. Feldlinien werden von einigen Schülerinnen und Schülern als Transportwege verstanden, auf denen sich Ladungen bewegen müssen, dies fand auch Galili (1995).

4.5.3 Schülervorstellungen zum Elektromagnetismus

In einer Untersuchung von Andersson (1985) zeigte sich, dass etwa die Hälfte der Befragten (im Alter von circa 14 Jahren) folgende Vorstellung über die Wirkungsweise eines Elektromagneten hatten: Der elektrische Strom fließt aus dem zuführenden Draht in den Eisenkern, der dadurch magnetisch wird. Dies sei auch der Grund, warum Spulendrähte keine allzu dicken Isolierungen besitzen, denn sonst könnte der Strom ja nicht in den Eisenkern fließen. Hierzu ist zu sagen, dass die Drähte, welche zum Umwickeln von Spulen verwendet werden, tatsächlich häufig so aussehen, als wären sie nicht isoliert, da die Isolierungen kupferfarben sind. Rückl (1989) weist auf die gleiche Vorstellung bei der Wirkungsweise eines Transformators hin.

Saglam und Millar (2005) geben einen Überblick über die Ergebnisse von Untersuchungen zur Wechselwirkung von magnetischen und elektrischen Felder. Als Grundaussage lässt sich festhalten, dass viele Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II kein adäquates Verständnis des Elektromagnetismus erwerben. Grund dafür sei vor allem, dass sie elektrische und magnetische Feldeffekte verwechseln und die Vorstellung haben, dass die magnetischen Feldlinien einen Fluss anzeigen würden.

Hinzu kommt außerdem die Alltagsvorstellung, dass ein Stoß auf einen Gegenstand oder Körper, welcher sich in Ruhe befindet, eine Bewegung in Richtung des Stoßes folgt. Diese Alltagsvorstellung wird auf elektromagnetische Phänomene, bei welchen „Ursache“ und „Wirkung“ orthogonal zueinander stehen können, übertragen (Duit, Kraus, & Rincke, 2012). Gemeint damit ist der wechselseitige Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Felder, die Felder beeinflussen sich zwar gegenseitig, stehen aber bei einer elektromagnetischen Welle zu jedem Zeitpunkt normal aufeinander (ja sogar zusätzlich orthogonal auf den Wellenvektor).

4.5.4 Schülervorstellungen zur Optik

Besonders im Bereich der Optik gibt es eine große Anzahl an Lernschwierigkeiten, angefangen von der Entstehung von Bildern in Linsen, Spiegeln und optischen Geräten über Vorstellungen zu Farben zur Entstehung von Schatten und schließlich zur Ausbreitung und dem Wesen von Licht selbst.

4.5.4.1 Ausbreitung des Lichts

- **Licht als strömende Substanz**

Viele Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass Licht nicht etwas ist, das ständig in Bewegung ist. Licht ist für viele Lernende eine Substanz, die sich, schaltet man zum Beispiel eine Taschenlampe ein und beleuchtet damit eine Wand, zwischen der Taschenlampe und der Wand befindet. Guesne (1984) fand außerdem, dass ein Teil der Schülerinnen und Schüler Licht mit seiner Quelle oder mit seiner Wirkung oder mit einem Zustand gleichsetzen.

- **Reichweite des Lichts**

Es zeigte sich, dass viele Schülerinnen und Schüler die Vorstellung haben, dass sich Licht nur begrenzt ausbreitet (Wiesner, 1986). Diejenigen Schülerinnen und Schüler, welche diese Meinung vertreten, geben aber auch an, dass man die Lichtquelle auch noch außerhalb des Bereichs sehen kann, was bedeutet, dass das Licht nicht in unsere Augen fallen muss, damit wir es wahrnehmen können.

- **Vorstellung zur Streuung und Reflexion des Lichts an Oberflächen**

Aus physikalischer Sicht sehen wir Objekte, weil Licht an diesen Objekten gestreut wird und somit in unser Auge gelangen kann. Praktisch alle Lernenden kommen mit der Vorstellung in den Optikunterricht, dass wir Gegenstände sehen, weil das auftreffende Licht diese Gegenstände hell macht und wir unseren Blick auf diesen Gegenstand richten. Trifft Licht auf einen Gegenstand, so bleibt es dort oder verschwindet mit der Zeit. Leider haben Schülerinnen und Schüler häufig auch noch nach dem Optikunterricht eine falsche Auffassung von der Streuung von Licht. Lediglich bei

Spiegeln oder ähnlichen Oberflächen argumentieren Schülerinnen und Schüler, dass hier das Licht „abprallt“.

- **Der physikalische Sehvorgang**

Wie schon im Punkt über die Reichweite des Lichts angeschnitten, fehlt bei vielen Lernenden die Vorstellung, dass Licht in unser Auge fallen muss, damit wir einen Gegenstand sehen können. Sie glauben zwar, dass Lichtquellen mit relativ hoher Intensität Licht aussenden welches in unser Auge gelangen kann, jedoch ist die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler der Meinung, dass Licht von schwach leuchtenden oder gar nicht selbst leuchtenden Gegenständen nicht in unser Auge gelangen muss. Sehen können wir diese Objekte aber trotzdem. Eine weitere Vorstellung, die jedoch relativ selten auftritt, wird häufig als Sehstrahlvorstellung betitelt, bei diesem Konzept sendet das Auge sozusagen aktiv Sehstrahlen aus, welche den Gegenstand oder das Objekt sichtbar machen.

4.5.4.2 Vorstellungen zu Spiegelbildern

Viele Schülerinnen und Schüler bringen die Entstehung des Spiegelbildes nicht mit dem Reflexionsgesetz in Verbindung. So haben zahlreiche Lernende die Vorstellung, das Spiegelbild liegt auf dem Spiegel. Die Entstehung eines virtuellen Spiegelbildes hinter dem Spiegelbild ist laut einigen Lernenden nicht möglich, da man durch einen Spiegel ja nicht hindurchsehen kann, vor allem dann nicht, wenn der Spiegel an einer Wand hängt. Grund für diese Vorstellung kann sein, dass Leinwände, Bildschirme, Fotopapier, etc. alle einen Träger haben, also muss dies laut Schülerinnen oder Schüler auch für das Spiegelbild gelten (Wiesner, 1986).

Ein weiteres Präkonzept ist, dass viele Schülerinnen und Schüler glauben, dass beim Spiegelbild links und rechts vertauscht werden., dass hierbei lediglich vorne und hinten vertauscht wird, ist vielen Schülerinnen und Schülern nicht bewusst. Des Weiteren argumentieren Schülerinnen und Schüler, dass der Spiegel der Person, welche vor dem Spiegel steht, zeigt, wie der Spiegel die Dinge „sieht“ (Wiesner, 1986).

4.5.4.3 Abbildungen durch Sammellinsen oder Lochblenden

- **Holistischer Abbildungsvorgang**

Weit verbreitet ist die Vorstellung – oft auch noch nach dem Optikunterricht – dass das Bild (in der Form des Leuchtoobjekts) von einem Leuchtgegenstand als Ganzes zur Linse oder Lochblende wandert und von dort zum Schirm, das Bild wird also in der Linse umgedreht und verlässt diese als Ganzes (Hopf et al., 2011).

- **Die Linsenmitte als besonderer Punkt**

Viele Lernende ordnen der Linsenmitte eine besondere Bedeutung zu. Ist die Linsenmitte beschädigt oder abgedeckt, gibt es demnach kein Bild, oder es fehlt der mittlere Teil des Bildes (Wiesner, 1986).

4.5.4.3 Schülervorstellungen zu Farben und zu weißem Licht

Wiesner (1986) nennt zwei besonders wichtige Schülervorstellungen, die mit dem Thema Farbenlehre zusammenhängen:

- Von Schülerinnen und Schülern wird die Vorstellung, dass weißes Licht Zusammensetzung von vielen verschiedenen Lichtsorten ist, abgelehnt.
- Überlagern sich mehrere Farben, so dominiert die „Malkastenvorstellung“. Beleuchtet man zum Beispiel ein rotes Blatt Papier mit blauem Licht, so vermuten viele Schülerinnen und Schüler einen violetten Eindruck.

Weitere Präkonzepte, die Hopf et al. (2011) in Bezug zur Farbenlehre nennen, sind:

- Farben von Körpern entstehen laut Lernenden nicht dadurch, dass zum Beispiel die rote Lichtsorte an einem Körper reflektiert wird und der Rest in Wärmeenergie umgewandelt, sondern, weil Körper eine „Eigenfarbe“ besitzen. Diese Farbe kann man durch Beleuchtung sichtbar machen, die Farbe des beleuchtenden Licht wird dabei vernachlässigt.
- Einige Schülerinnen und Schüler meinen aber auch, dass farbiges Licht erst beim Auftreffen auf eine Oberfläche entsteht. Dieses Licht befindet sich dann auf der Oberfläche, weshalb man schließlich das Objekt farbig sieht. Manche Lernende

argumentieren auch, dass, wenn Licht auf eine farbige Oberfläche trifft, dort farbiges Licht entsteht mit der Farbe der Oberfläche.

Auch zum physikalischen Konzept des weißen Lichts gibt es verschiedene Schülervorstellungen. So hatten in einer Untersuchung von Haagen-Schützenhöfer et al. (2014) nur 10% der Schülerinnen und Schüler, welche vor dem Optikunterricht befragt wurden, angegeben, dass sie mit dem Konzept von weißem Licht vertraut sind, außerdem brachten weniger als die Hälfte der Lernenden, welche bereits Optikunterricht erhielten, weißes Licht in Zusammenhang mit Spektralfarben.

Ein weiteres Ergebnis dieser Studie war, dass mehr als die Hälfte der Schülerinnen und Schüler (egal ob vor oder nach dem Optikunterricht) dem Sonnenlicht eine gelbliche Farbe zuordneten, explizit mit weißem Licht brachten das Sonnenlicht weniger als 10% der Befragten in Verbindung.

4.5.4.4 Schülervorstellung zu Licht in der Quantenmechanik

In einer mündlichen Befragung von 27 Leistungskursschülerinnen und Schülern von Wiesner (1996) traten folgende Vorstellungen zum Photon auf: Etwa ein Drittel der Befragten beschrieben Photonen als Lichtteilchen, denen sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften zugeschrieben werden können. Etwa ein Sechstel der Lernenden beschrieben das Photon als Energiequant, ein weiteres (nicht unbedingt disjunktes) Sechstel wiesen dem Symbol für das γ -Quant in der Darstellung des Compton-Effekts eine Deutung als Bahn des Objektes zu.

Fischler und Lichtfeldt (1992) konnten einige weitere Vorstellungen identifizieren. Auf die Frage „Was ist Licht wirklich“ gaben 43% aller Schülerinnen und Schüler eine Antwort, die auf ein eindeutiges Wellenbild von Licht hinwies, nur 7,3% antworteten mit einer Teilchenvorstellung. Hier sticht das Ergebnis heraus, dass bereits 48% der Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht zur Quantenphysik eine Idee vom Welle-Teilchen Dualismus hatten.

4.5.5 Schülervorstellungen zu Strahlung

Neumann und Hopf (2011) identifizierten in ihrer Arbeit verschiedenste Schülervorstellungen zum Thema Strahlung, darunter konnten folgende Kategorien gefunden werden:

- Strahlung ist etwas Künstliches
- Strahlung ist etwas Anderes als Licht
- Elektrische Geräte sind immer Quellen von Strahlung
- Strahlung ist eine der Ursachen für Umweltschäden
- Strahlung ist gleich strahlende Partikel

In einer weiteren Untersuchung von Plotz und Hopf (n.d.) wurde beobachtet, dass man die Vorstellung „Strahlung ist etwas Künstliches“ um den Bereich „künstlich-natürlich“ erweitern kann. Dies bedeutet, dass es für Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten darstellt, zwischen künstlicher und natürlicher Strahlung zu unterscheiden. Dies ist aus fachdidaktischer Sicht insofern relevant, da künstliche Strahlung eher negativ konnotiert ist.

Fragt man Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe wiederum nach Strahlungsquellen, so nennen diese laut Thomas Plotz (2016) häufig die Sonne, radioaktive Quellen sowie das Handy, einzelne Strahlungsarten sind hingegen weniger bekannt.

4.4.6 Schülervorstellungen über die Physik als Naturwissenschaft

Zuletzt möchte ich noch ganz kurz etwas zu den allgemeinen Vorstellungen sagen, mit denen Lehrkräfte seitens der Lernenden konfrontiert sind. Einerseits sind diese Vorstellungen über die Physik, also zur „Natur“ der Physik, als Fachausdruck auch Nature of Science (NOS). Kircher et al. (2015) schreiben in ihrem Buch, dass Schülerinnen und Schüler häufig als „naive Realisten“ in den Physikunterricht kommen. Sie sind also der Meinung, dass die Physik die Natur eins zu eins abbildet und sind sich des Modellcharakters vieler physikalischer Konzepte nicht bewusst.

Nach der Auflistung der wichtigsten Schülervorstellungen zu den relevanten Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik werde ich im nächsten Kapitel darauf eingehen, welche

Konsequenzen für den Unterricht diese Präkonzepte mit sich bringen. Vor allem aber, wie eine Konzeptentwicklung beginnend von den Schülervorstellungen hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen aussieht und wie man diese unterstützen kann. Das nächste Kapitel beschäftigt sich also mit Konzeptwechsel, oder Conceptual Change.

5. Conceptual Change und konstruktivistische Lehr-Lernsequenzen

In Kapitel 4 wurden Vorstellungen, mit denen Schülerinnen und Schüler typischerweise in den Unterricht kommen, besprochen. In diesem Abschnitt soll es darum gehen, den Umgang mit den vorhandenen Schülervorstellungen zu beschreiben und Wege darzulegen, die es ermöglichen, Schülerinnen und Schüler die Überlegenheit der physikalischen Sichtweisen gegenüber Alltagsvorstellungen in einigen Bereichen aufzuzeigen.

Möchte man das Vorwissen von Schülerinnen und Schülern mit einbeziehen, ist es vor allem wichtig zu wissen, dass das Lernen von Physik ein sehr schwieriger und langwieriger Prozess ist. Es reicht also nicht, physikalische Konzepte einmal zu erklären, damit es sämtliche Lernende verstehen. Generell ist es eher so, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Alltagsvorstellungen im Unterricht verdrängen, verwenden diese aber später wieder für Argumentationen (Jung, 1986). Demnach bilden sich bei vielen Schülerinnen und Schülern sogenannte „Hybridvorstellungen“. Dabei werden die alltäglichen Konzepte der Schülerinnen und Schüler nicht überschrieben (was weder möglich, noch wünschenswert ist), sondern es bilden sich parallel die physikalischen Sichtweisen.

Jung (1986) meint außerdem, dass der vernünftigste und sinnvollste Weg, mit dieser Schwierigkeit umzugehen darin besteht, dass man den Schülerinnen und Schülern Einblick in die Beziehung zwischen den Vorstellungen aus dem Alltag und den naturwissenschaftlichen Anschauungen gewährt. Dabei ist es jedoch weder zielführend noch möglich die vorunterrichtlichen Vorstellungen durch die physikalische Sichtweise ersetzen oder überschreiben zu wollen. Diese alltäglichen Sichtweisen haben sich in der Umwelt der Schülerinnen und Schüler bewährt, sind nicht auslöschar und tragen einen wesentlichen Teil zur Bewältigung des Alltags bei (Hopf et al., 2011). Unterhaltungen im täglichen Leben, welche

nur die physikalisch richtige Verwendung von Begriffen wie Energie, Kraft oder Strom zulassen wären gewissermaßen undenkbar.

Die Physik stellt also für Schülerinnen und Schüler eine völlig neuartige Denk- und Sichtweise dar, welche nicht durch einmaliges erklären im Physikunterricht erlernt werden kann, dieser sogenannte Konzeptwechsel muss also sukzessive im Laufe des Physikunterrichts passieren. Ziel des Unterrichts muss es somit sein, die Schülerinnen und Schüler sukzessive davon zu überzeugen, dass die physikalische Sichtweise in bestimmten Situationen angemessener ist als ihre bisherigen Vorstellung (Duit, 2004).

In der fachdidaktischen Forschung hat sich jedoch gezeigt, dass auch viele Physiklehrkräfte ähnliche Vorstellungen zu physikalischen Inhalten haben wie diejenigen von Schülerinnen und Schülern. Dazu kommt, dass viele Lehrpersonen auch falsche Vorstellungen über das Lernen und Lehren von Physik aber auch über den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung haben (Duit, Treagust, & Widodo, 2008). Dies bedeutet aber, dass auch Physiklehrkräfte oder Studierende des Lehramts Physik multiple Konzeptwechsel vollziehen müssen. Es hat sich dabei gezeigt, dass hierfür sogar dieselben Strategien erfolgversprechend sind wie die für den Unterricht gedachten (Hewson et al., 1999).

Nach (Jung, 1986) gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen, welche im Unterricht umgesetzt werden können, um Konzeptwechsel zu unterstützen.

- Physikalische Konzepte lassen sich durch eine Reihe von kontinuierlichen Schritten aus den Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler entwickeln
- Die physikalische Sichtweise hat wenig bis gar nichts mit der alltäglichen gemein, hier wird ein Bruch mit den alltäglichen Sichtweisen gefordert.

Posner, Strike und Hewson (1982) beschäftigten sich mit der Frage, unter welchen Umständen Konzeptwechsel möglich ist und vor allem welche Faktoren beeinflussen das Erlauben eines Konzeptwechsels. Dabei kamen sie auf vier große Bereiche, welchen für einen erfolgreichen Konzeptwechsel Beachtung geschenkt werden sollte.

1. Die Lernenden müssen mit ihren bisherigen Vorstellungen unzufrieden sein.

Damit Akkommodation passieren kann, müssen Schülerinnen und Schüler einerseits sehen, dass nur eine drastische Änderung ihrer Sichtweise eine erfolgreiche Bewältigung einer Situation bedingt. Es reicht hier nicht nur ein Beispiel, sondern es

muss eine ganze Fülle an Beispielen bereitgestellt werden, welche die physikalische Sichtweise als die angemessenere präsentieren.

2. Das neue Konzept muss verständlich sein. Hier können vor allem Analogien oder ähnliches einen großen Beitrag leisten, welche auch (Magnusson et al., 1999). Als einen wichtigen Teil des PCK von Lehrkräften definieren.
3. Das neue Konzept muss plausibel erscheinen, in dem Sinne, dass das neue Konzept zumindest jene Problemstellungen lösen kann, an welchen die Alltagsvorstellung gescheitert ist. Zur Plausibilität trägt außerdem bei, wie gut sich ein Konzept in das restliche Wissen einer Person einordnen lässt.
4. Das neue Konzept muss offen für Neues sein, Erweiterungen zulassen können oder auch fruchtbar sein.

5.1 Konzeptwechselstrategien

Es gibt unterschiedliche Strategien für den Konzeptwechsel, diese vier Bedingungen sollten aber bei jeder dieser Strategien berücksichtigt werden. Im Groben kann dabei zwischen drei Vorgangsweisen unterschieden werden (Jung, 1986).

5.1.1 Anknüpfungsstrategie

Bei der Anknüpfungsstrategie werden als Ausgangspunkt jene Erfahrungen ausgewählt, die mit der physikalischen, wissenschaftlichen Sichtweise möglichst wenig kollidieren. Ein Beispiel wäre hier die Batterie. In Kapitel 4 wurde besprochen, dass Lernende oft die Vorstellung haben, Strom sei in einer Batterie gespeichert und wenn ich einen Verbraucher anschließe wird dieser Strom anschließend verbraucht. Als mögliche Anknüpfungsstrategie bietet sich hier zum Beispiel die Verwendung alternativer Spannungsquellen an, wie zum Beispiel Solarzellen oder Handkurbeln (Jung, 1986; Muckenfuß & Walz, 1997a).

5.1.2 Konfrontationsstrategie

Eine lange Zeit als die beste Strategie für Konzeptwechsel, jedoch aktuell in fachdidaktischen Kreisen kontroverse Strategie, baut darauf auf, dass zu einem bestimmten Thema oder Konzept die unterschiedlichen Vorstellungen der Lernenden erfasst und mit der physikalischen oder wissenschaftlichen Sichtweise gegenübergestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen somit in einen kognitiven Konflikt gebracht werden, in denen Situationen dargestellt werden, in denen ihre alltägliche Sichtweise im Gegensatz zu der physikalisch Akzeptierten steht. Die Unterschiede sollen dabei diskutiert werden, mit dem Ziel, die physikalische Sichtweise als die nützlichere zu präsentieren. Kontrovers ist diese Strategie vor allem deshalb, weil diese Strategie zwar gut funktionieren kann, wenn es genügend Argumente oder Belege für die physikalische Sichtweise gibt, sodass die Schülerinnen und Schüler überzeugt werden können, andererseits kann es aber durchaus auch passieren, dass durch die Diskussion manche Schülervorstellungen erst entstehen oder gefestigt werden (Hopf et al., 2011). Es ist bei dieser Strategie also nicht nur wichtig zu beachten, dass die Schülerinnen und Schüler den kognitiven Konflikt auch tatsächlich erfahren, sondern es muss auch die Rolle der spezifischen, meist sehr kleinen, plötzlichen Einsichten in dem langwierigen Prozess des Konzeptwechsels berücksichtigt werden (Duit & Treagust, 2012; Vosniadou & Ioannides, 1998).

Beim Beispiel der Batterie bleibend können hier bereits zu Beginn des Themas die Fehlvorstellungen (Der Strom ist in der Batterie gespeichert und wird schließlich verbraucht) thematisiert und diskutiert werden. Hier muss allerdings zusätzlich zu den eben genannten Schwierigkeiten noch hinzugefügt werden, dass diese Diskussionen einen erheblichen Zeitaufwand bedingen.

5.1.3 Umdeutungsstrategie

Die Bereitschaft, Konzeptwechsel zu vollziehen soll bei dieser Strategie dadurch gesteigert werden, indem man Schülervorstellungen eine andere Bedeutung zuweist. Die Vorstellungen, welche die Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht haben, sind also nicht als falsch

anzusehen, sondern haben in der Physik lediglich einen anderen Namen. Wichtig hierbei ist nach Jung (1986) aber vor allem auch, dass es nicht nur bei diesem „Umtaufen“ bleibt, sondern Ziel sollte es sein, eine umfassende Umstrukturierung zu bewirken. Jung nennt hier als Beispiel den Impuls. Viele Schülerinnen und Schüler haben die Vorstellung, dass Körper Kräfte besitzen können, bzw. dass sich Körper aufgrund einer in ihnen wohnenden Kraft bewegen. Hier bietet es sich an, den Kraftbegriff als Schülervorstellung umzudeuten insofern, als dass es eine solche Größe in der Physik tatsächlich gibt, nur wird sie dort eben Impuls genannt. Um auch auf die eventuellen Schwierigkeiten einzugehen sei zusätzlich gesagt, dass zu den Schülervorstellungen der innewohnenden Kraft meist auch die Vorstellung hinzukommt, dass sich diese im Laufe der Zeit verbraucht, was wiederum nicht zum physikalischen Konzept des Impulses passt.

Ein weiteres Beispiel wäre hier wieder die Batterie – die Schülervorstellung des Stromverbrauchs kann man hier zum Beispiel in eine Energieumwandlung umdeuten.

5.1.4 Brückenstrategie

Als letzte Strategie, die Konzeptwechsel unterstützen kann sei die Brückenstrategie genannt. Hierbei geht es darum, die Schülerinnen und Schüler sukzessive von ihren Präkonzepten zu den wissenschaftlichen Konzepten hinzuführen. Dies geschieht mit kleinen Zwischenschritten. Hopf et al (2011) nennen hier ein Beispiel aus der Mechanik, so haben viele Lernende Probleme damit, dass ruhende Körper, wie zum Beispiel ein Tisch, Kräfte ausüben können, hier kann als Brücke angewandt werden, dass man sich die Oberfläche des Tisches aus kleinen Spiralfedern aufgebaut denkt.

5.2 Konstruktivistische Lehr-Lernsequenzen

In diesem Abschnitt soll abschließend geklärt werden, wie Lernumgebung gestaltet werden können, damit sie konzeptwechsel-förderlich sind. Widodo & Duit (2005) liefern hier einen Vorschlag, der den Stand der englischsprachigen Literatur zusammenfasst und sich insgesamt

in fünf Phasen unterteilt. In Abbildung 9 sind die einzelnen Phasen in ihrer Abfolge ersichtlich, weiters wird in dieser Abbildung die zyklische Abfolge der einzelnen Phasen dargestellt.

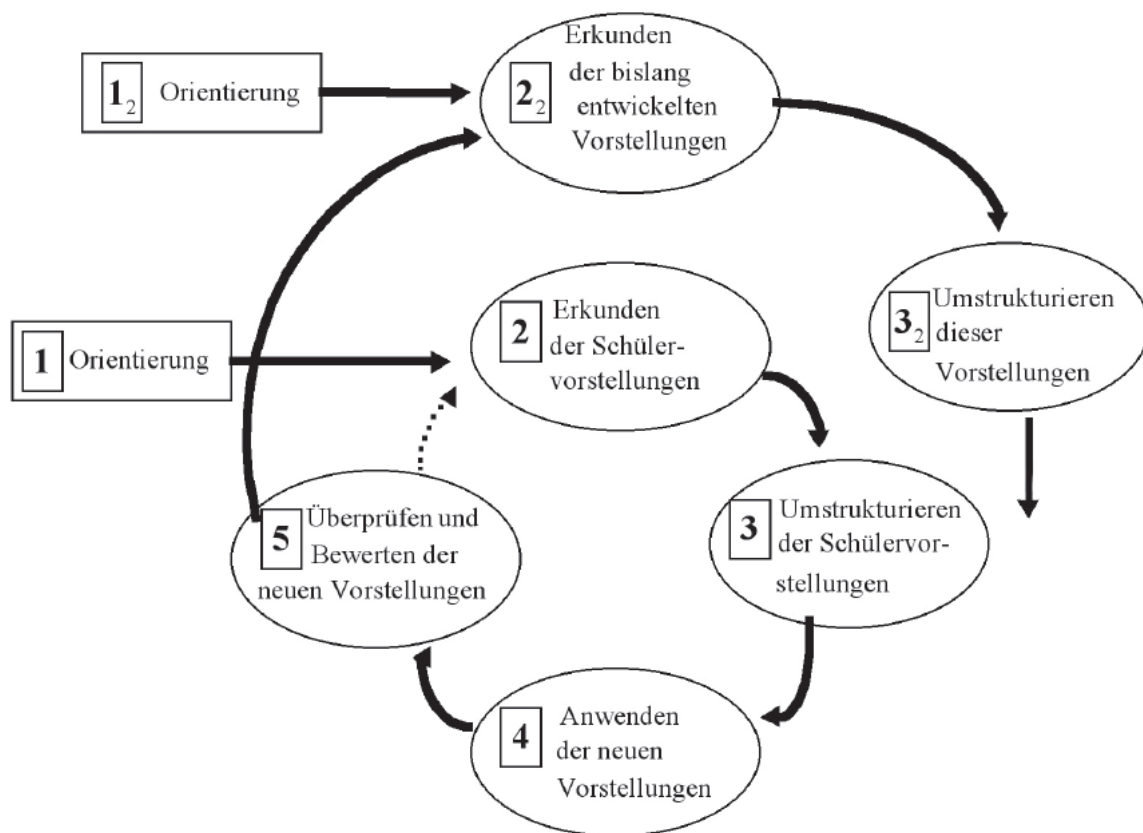


Abbildung 8: Ein Modell einer konstruktivistischen Lehr-Lern-Sequenz (Widodo & Duit, 2005)

Die fünf Phasen bilden also

- (1) Orientierung
- (2) Erkunden der bislang entwickelten Vorstellungen
- (3) Umstrukturieren dieser Vorstellungen
- (4) Anwenden der neuen Vorstellungen
- (5) Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellungen

In Phase (1) Orientierung sollen vor allem affektiver Variablen adressiert werden, es soll also das Interesse geweckt werden, die Schülerinnen und Schüler werden in dieser Phase mit dem Thema vertraut gemacht und auf das behandelnde Konzept eingestimmt. Dies beinhaltet aber auch, dass die Lernenden eigene Erfahrungen mit Phänomenen, welche im Zusammenhang

mit dem Thema stehen, machen sollen und außerdem wird abgeklärt, welche Zielsetzungen es für dieses Gebiet gibt.

In Phase (2) Erkunden der bislang entwickelten Vorstellungen ist es angedacht, dass sich die Lehrkraft einen Überblick über die in der Klasse vorherrschenden Vorstellungen macht. Denn nur wenn die Lehrperson mit diesen vertraut ist, kann sie die Schülerinnen und Schüler zu einer physikalischen Sichtweise hinführen. Hier sei noch zusätzlich angemerkt, dass sich eine Lehrkraft im Normalfall bereits vor dem Unterricht über die in diesem Themengebiet vorherrschenden Schülervorstellungen informiert haben sollte. Diese Phase sollte vor allem auch dazu dienen, dass sich die Lernenden ihrer eigenen Vorstellungen bewusst werden und diese mit den Vorstellungen ihrer KollegInnen vergleichen und diskutieren. Hopf et al. (2011) weisen darauf hin, dass der Abgleich der Vorstellungen in der Anfangsphase, ähnlich wie bei der Konfrontationsstrategie, zur Verfestigung und Entwicklung ausgereifter Fehlvorstellungen führen kann.

Phase (3) Umstrukturieren der Schülervorstellungen bildet laut Widodo und Duit (2005) die zentrale Phase der Lehr-Lern Sequenz, in der eine der oben genannten Konzeptwechselstrategien angewandt wird. In dieser Phase geht es um die Entwicklung einer physikalischen Sichtweise, ausgehend von den Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler. Dazu gehören, wenn man an die Bedingungen von Posner et al. (1982) denkt, Argumente, welche die physikalische Sichtweise als die fruchtbarere, plausiblere und die Alltagsvorstellungen als weniger überzeugend dastehen lassen. Dies kann auf vielfältige Art und Weise passieren, zum Beispiel über Experimente, Argumente oder Phänomene.

Phase (4), Anwenden der neuen Vorstellungen, ist relativ selbsterklärend. Hier geht es darum, die in Phase (3) neu erarbeiteten Vorstellungen in vielen Situationen anzuwenden.

Die letzte Phase (5), Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellungen, dient der Festigung, aber auch der Weiterentwicklung der neu gewonnenen Vorstellungen. In Abgleich mit Abbildung 1 dient diese Phase dazu, einerseits den ersten Zyklus zu schließen, soll aber auch die Möglichkeit bieten, den Ausgangspunkt für einen neuen Zyklus zu bilden.

Das Ziel dabei ist den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu geben, sich bewusst zu werden, ob es eventuell noch Unstimmigkeiten mit dem neuen Konzept gibt. Nach Widodo und Duit (2005) soll die Lehrkraft hier auch die Möglichkeit bieten, eine Rückschau auf die

Vorstellungen, von denen ausgegangen wurde, zu geben als auch die „Fruchtbarkeit“ des neuen Konzepts aufzuzeigen.

5.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde wieder deutlich, wie schwierig es sein kann, Physik zu lernen bzw. auch zu lehren, da es oftmals grundlegende Unterschiede zwischen dem Alltagsverständnis und den physikalischen Konzepten gibt. Deshalb ist das Lernen von Physik meist mit Konzeptwechsel verbunden, weshalb Bedingungen, welche Konzeptwechsel begünstigen, auch Untersuchungsgegenstand vieler fachdidaktischer Studien sind.

Grundsätzlich gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze, die unterschiedliche Methoden oder Strategien verfolgen, welche Konzeptwechsel unterstützen. Welche dabei die zielführendste ist, hängt hierbei von vielen Faktoren wie Thema, Lehrperson, affektiver Eigenschaften aber ebenso von Interesse der Schülerinnen und Schüler ab. In Bezug auf die Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* lässt sich auch sagen, dass die Studierenden selbst Konzeptwechsel vollziehen müssen, da ihre Vorstellungen über fachliche Konzepte, zum Lehrberuf im Allgemeinen aber auch über das Lehren und Lernen von Physik im Speziellen sehr subjektiv ist und oft nicht mit dem wissenschaftlichen Stand übereinstimmen.

Zusammenfassend lassen sich nun aus Kapitel 1 bis 5 einige wichtige fachdidaktische Grundprinzipien formulieren, welche in der Lehrveranstaltung einen immer wiederkehrenden Charakter haben sollen. Im nächsten Kapitel werden diese Grundsätze zusammengefasst und deren Bedeutung speziell für die Lehrveranstaltung herausgestrichen.

5.4. Didaktische Grundprinzipien

Um den Teil der theoretischen Voraussetzungen für die didaktische Rekonstruktion der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* abzuschließen, werden in diesem Abschnitt noch einmal die wichtigsten fachdidaktischen Forschungsergebnisse und

Implikationen, welche sich aus Kapitel 1 bis fünf ergeben, zusammenfassend dargestellt. Diese didaktischen Grundprinzipien nehmen in gewisser Weise eine Doppelrolle ein. Eine Doppelrolle insofern, als diese Prinzipien einerseits bei der Konzeption und Planung der Lehrveranstaltungseinheiten beachtet werden sollen, andererseits sollen diese didaktischen Grundprinzipien in der Lehrveranstaltung immer wieder explizit thematisiert werden, sodass die LV-TeilnehmerInnen nach Abschluss der Lehrveranstaltung in jedem Fall mit diesen Prinzipien vertraut sind. Zu diesen Grundprinzipien gehören:

- **Das PCK von Lehrkräften beinhaltet nach Magnusson, Krajcik und Borko (1999):**
a) **“orientation toward science teaching”, b) “knowledge and beliefs about science curriculum”, c) “knowledge and beliefs about student’s understanding of specific science topics”, d) “knowledge and beliefs about assessment in science”, und e) “knowledge and beliefs about instruction strategies for teaching science”.** Die angehenden Lehrkräfte sollen Kenntnis über diese Facetten ihrer Professionswissensbasis erlangen um sich ein Bild davon machen zu können, mit welchen Herausforderungen und Zielsetzungen ihrer Ausbildung zur Lehrkraft bzw. ihrer Weiterentwicklung als Lehrkraft beinhaltet.
- **Das Modell der didaktischen Rekonstruktion ermöglicht es, bei der Gestaltung von Lernumgebungen die fachliche Ebene gleichermaßen zu berücksichtigen wie die Vorstellungen der Lernenden.** Auch hier wird die Doppelrolle dieser didaktischen Grundprinzipien wieder sehr deutlich. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion soll einerseits in den Lehrveranstaltungseinheiten vorgestellt und thematisiert werden, andererseits dient das Modell der didaktischen Rekonstruktion in einer abgewandelten Form (ERTE-Modell, siehe Kapitel 3) als theoretisches Rahmengefüge für die Konzeption dieser Lehrveranstaltung.
- **Vorwissen ist enorm wichtig.** Einerseits deshalb, weil das Vorwissen den Ausgangspunkt für die Gestaltung von Lernumgebungen bildet, andererseits aber auch, weil Vorwissen zu bestimmten Lernschwierigkeiten und Hemmnissen führen kann. Dies bedeutet, dass einerseits häufig auftretende Schülervorstellungen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik in den Lehrveranstaltungseinheiten thematisiert werden sollen, aber auch, dass die Rolle von Schülervorstellung beim Lernen von Physik besprochen werden muss. Um seiner Doppelrolle als Grundprinzip gerecht zu werden spielt aber auch das Vorwissen der Studierenden eine Rolle, als dass

es auch von dieser Seite Vorstellungen, sowohl zu fachlichen Aspekten, als auch über das Lehren und Lernen von Physik gibt, welche bei der Planung der Lehrveranstaltungseinheiten reflektiert werden müssen.

- **Lernen ist ein konstruktivistischer Prozess.** Dies bedeutet, dass sich Lernende ihr Wissen aufgrund von bereits vorhandenem Wissen selbständig „konstruieren“ müssen. Für die Konzeption der Lehrveranstaltung Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik ist es dadurch von Wert die Rolle des Konstruktivismus beim Lernen ausreichend zu thematisieren. Aber es müssen auch den Studierenden genügend Möglichkeiten geboten werden, sich ihr Wissen in den Lehrveranstaltungseinheiten selbständig zu konstruieren.
- **Lernen, insbesondere das Lernen von Physik soll mit Konzeptwechsel verbunden sein.** Dies gilt sowohl für die Schülerinnen und Schüler im Schulunterricht, wenn sie einen Konzeptwechsel von ihren Alltagsvorstellungen hin zur wissenschaftlichen Sichtweise vollführen, als auch für die Studierenden, nicht nur in Bezug auf das Lehren und Lernen von Physik, sondern auch auf die fachlichen Vorstellungen der Studierenden bezogen.
- **Widodo und Duit (2005) liefern einen Vorschlag für den Aufbau konstruktivistischer Lehr-Lern-Sequenzen.** Diese bestehen aus den fünf Phasen (1) Orientierung, (2) Erkunden der bislang entwickelten Vorstellungen, (3) Umstrukturieren dieser Vorstellungen, (4) Anwenden der neuen Vorstellungen und (5) Überprüfen und Bewerten der Vorstellungen.

Diese sechs Grundprinzipien im Hinterkopf behaltend ist das Ziel des nächsten Kapitels, fachdidaktische als auch fachliche Grundideen zu erarbeiten, welche die wichtigsten Aspekte zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik beinhalten.

6. Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik

Um geeignete Lernumgebungen für Studierende, welche die Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* besuchen, zu schaffen, ist es sinnvoll, zuerst die grundlegenden fachlichen aber auch fachdidaktischen Ideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik aufzuarbeiten. Diese Grundideen sollen schließlich, im

wechselseitigen Abgleich mit den Vorstellungen der Studierenden, in die didaktische Strukturierung der einzelnen Lehrveranstaltungseinheiten mit einfließen. Das folgende Unterkapitel soll beschreiben, nach welchen Kriterien die wichtigsten fachdidaktischen Ideen zu den fachlichen Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik ausgewählt wurden.

6.1 Bestimmung der fachdidaktischen Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik

Die Bestimmung der fachdidaktischen Grundideen lief in mehreren Phasen ab, wie zu sehen in Abbildung 9.

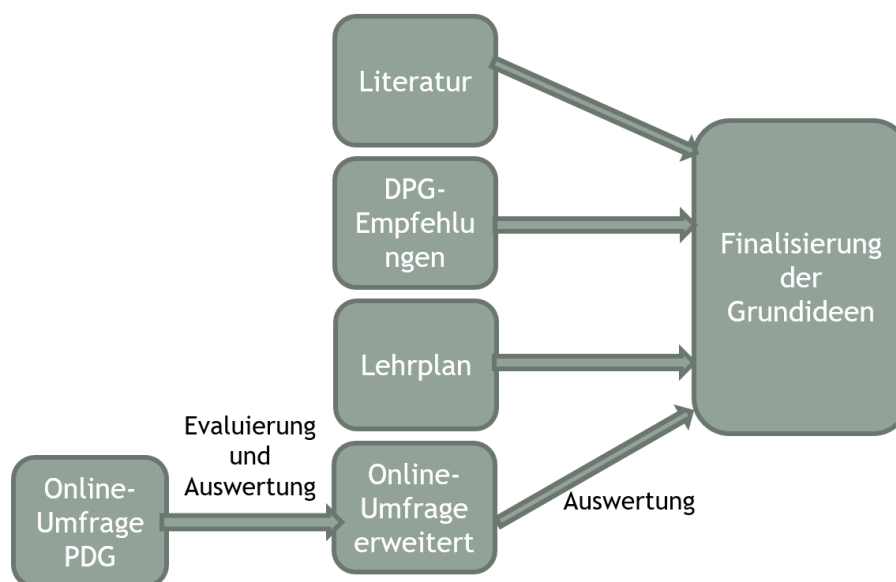


Abbildung 9: Vorgehensweise und Einflussfaktoren bei der Bildung der fachdidaktischen Grundideen

Die erste Phase bestand aus der Analyse des österreichischen Physik Lehrplans (zu finden auf https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?4dzgm2 für die Unterstufe sowie auf https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf für die Oberstufe). Dort können im Wesentlichen 6 Kernbereiche gefunden werden, welche mit den drei Themenbereichen Elektrizität, Magnetismus und Optik in Verbindung stehen.

- Elektrische Phänomene sind allgegenwärtig (Lehrplan für die AHS-Unterstufe Seite 4)

- Elektrotechnik macht vieles möglich (Lehrplan für die AHS-Unterstufe Seite 4)
- Elektrizität bestimmt unser Leben (Lehrplan für die AHS-Unterstufe Seite 4)
- Die Welt des Sichtbaren (Lehrplan für die AHS-Unterstufe Seite 4 und 5)
- Elektrodynamik in der Oberstufe (Lehrplan für die AHS-Oberstufe Seite 3 und 4)
- Optik in der Oberstufe (Lehrplan für die AHS-Oberstufe Seite 3 und 4)

Aufbauend auf diesen Kernbereichen wurde mit Limesurvey eine Online-Umfrage erstellt, welche aus insgesamt 12 Fragen exklusive der demographischen Daten bestand. Diese 12 Fragen bestanden aus jeweils zwei Fragen pro Kernbereich:

1. Welche fachlichen Grundideen (physikalische Begriffe und Konzepte, Arbeitsweisen etc.) erscheinen Ihnen in Bezug auf diesen Kernbereich im Physikunterricht besonders wichtig?
2. Kennen Sie fachdidaktische Forschungsergebnisse, erprobte Lehrgänge bzw. Unterrichtsmaterialien zu den von Ihnen genannten Grundideen, die in einer begleitenden Fachdidaktiklehveranstaltung zu diesem Kernbereich auf jeden Fall Platz finden sollten?

In einer ersten Runde wurde dieser Fragebogen an die Mitglieder des regionalen Fachdidaktikzentrums Physik (PDG) in Graz ausgesandt. Nach der Auswertung und Evaluation der Antworten wurden schließlich in einer zweiten Runde Personen, welche in Österreich in der fachdidaktischen Forschung tätig sind, gebeten, an der Umfrage teilzunehmen. Insgesamt wurden dabei 16 Personen angehalten an der Umfrage teilzunehmen, wobei sich davon zehn Personen dazu bereit erklärten, die Umfrage vollständig zu beantworten. Generell zeigte sich, dass die Antworten in Bezug auf die fachlichen Grundideen relativ kohärent ausfielen. In Bezug auf die Frage nach fachdidaktische Forschungsergebnisse, die mit den fachlichen Grundideen in Verbindung stehen, wurden im Vergleich zu Frage 1 relativ wenig Antworten genannt.

Diese Ergebnisse bildeten einen Teil, welcher die Formung der fachdidaktischen Grundideen beeinflusste. Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, gab es jedoch noch drei weitere wesentliche Einflussfaktoren. Dazu gehört einerseits der österreichische Physiklehrplan (welcher auch indirekt schon durch die Umfrageergebnisse einfluss), außerdem die Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (2016) zur Physik in der Schule sowie weitere fachdidaktische Literatur.

6.2 Fachdidaktische Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik

Insgesamt ergaben sich aus der in Kapitel 6.1 beschriebenen Vorgangsweise 12 wesentliche fachdidaktische Grundideen für den physikalischen Unterricht der Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik, welche wiederum mit fachlichen Grundideen verknüpft sind. Diese 12 fachdidaktischen Grundideen sind:

1. Zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand muss ausreichend differenziert werden.
2. Stromfluss ist eine Modellvorstellung, beim elektrischen Strom wird Energie übertragen.
3. Die Beschreibung der Verhältnisse im Stromkreis als System stellen häufig Lernhindernisse dar.
4. Energieübertragung und Energiebereitstellung kann und muss aus unterschiedlichen Perspektiven (physikalisch, ökologisch, etc.) betrachtet werden.
5. Das Verständnis von Schutzeinrichtungen und des Gefahrenpotentials von Elektrizität sind Voraussetzungen für den angemessenen Umgang mit elektrischer Energie im Alltag.
6. Magnetische Phänomene sind Ausgangspunkt für die Entwicklung des Feldkonzepts bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I.
7. Der wechselseitige Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bildet die Grundlage für viele technische Anwendungen.
8. Das Verständnis des physikalischen Sehvorgangs bildet die Grundlage für weiteres Verständnis in verschiedenen Bereichen der Optik.
9. Lichtstrahlen sind ein Modell, mit dem sich optische Phänomene gut beschreiben lassen, das jedoch auch lerntechnische Grenzen für Schülerinnen und Schüler aufweist.
10. Farblehre ist ein wichtiger Teilinhaltsbereich der Optik, der im gängigen Unterricht oft nur auf alles- oder nichts Prozesse und Malkastenregeln reduziert wird.
11. Das elektromagnetische Spektrum als Vereinheitlichung der Elektrodynamik und Optik bietet mehr als den sichtbaren Bereich.
12. Die verschiedenen Modelle des Lichts (Licht als Welle, Licht besteht aus Teilchen) bieten erste Einblicke in quantenmechanische Phänomene.

6.3 Planung auf Basis des CoRe-Rasters

Um die wichtigsten Aspekte, welche mit diesen fachdidaktischen Grundideen zusammenhängen, zu klären, wurde eine Struktur mit insgesamt acht Leitfragen erstellt, welcher am Raster zur Unterrichtsplanung von Hume & Berry (2011) angelehnt ist. Diese acht Fragen sind:

1. Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?
2. Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?
3. Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?
4. Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?
5. Welche Schwierigkeiten können bei der Vermittlung dieser Grundidee für die Studierenden auftreten?
6. Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?
7. Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden? (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)
8. Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Im folgenden Kapitel werden diese 8 Fragen für jede der 12 fachdidaktischen Grundideen bearbeitet, wobei darauf geachtet wurde, die in Kapitel 6 genannten didaktischen Grundprinzipien einfließen zu lassen.

7. Ausarbeitung der fachdidaktischen Grundideen

Einige Teilantworten der in Kapitel 6.3 formulierten Leitfragen lassen sich aufgrund ihrer Wichtigkeit auf jede fachdidaktische Grundidee anwenden. Um das Augenmerk bei der Beantwortung der Leitfragen zu den Grundideen auf die jeweils spezifischen Aspekte zu legen, werden hier vorab die übergreifenden Gesichtspunkte abgeklärt.

Einige Leitfragen lassen sich für die einzelnen Grundideen bereits vollständig durch diese allgemeinen Aspekte beantworten. Im Folgenden werden diese allgemeinen Aspekte, die auf alle bzw. die meisten Grundideen zutreffen, nicht mehr in der Bearbeitung der einzelnen Grundideen angeführt. Wird außerdem auf eine spezifische Grundidee verwiesen, so wird dies mit GI:X der Übersicht wegen abgekürzt, wobei das X für die jeweilige Nummer der Grundidee steht.

7.0 Grundideen-übergreifende Ausarbeitung der Leitfragen

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Von den Vorstellungen bzw. der schulischen Sozialisierung der Studierenden ausgehend ist mit ähnlichen Vorstellungen wie denen von Schülerinnen und Schülern zu rechnen, weshalb die Studierenden für Lernschwierigkeiten sensibilisiert werden müssen. Dies bedeutet, dass sich die Studierenden ihrer eigenen Vorstellungen bewusstwerden müssen und erkennen sollen, dass auch sie im Laufe ihres Lehramtsstudiums Konzeptwechsel vollziehen müssen.

Physikalische Sachinhalte altersgemäß zu elementarisieren stellt einen wichtigen Bereich des PCK von Lehrkräften dar. Weshalb die Studierenden einerseits die wichtigsten Elementarisierungsmöglichkeiten zu den einzelnen Themenblöcken kennen lernen sollen, außerdem sollen sie im Stande sein deren Vor- und Nachteile kritisch abzuwägen. Andererseits sollen sich die Studierenden aber auch die Fähigkeiten aneignen, eigenständig physikalische Sachverhalte altersgemäß zu elementarisieren. Werden diese Fachinhalte nicht adäquat elementarisiert, so kann dies zur Festigung, aber auch zur Bildung von neuen Schülervorstellungen kommen, was wiederum zu Lernschwierigkeiten führen kann.

Zusätzlich können auch fachlich falsche sowie falsch eingesetzte Analogien zur Festigung von Fehlvorstellungen oder zur Bildung neuer Vorstellungen, welche nicht mit der physikalischen Sichtweise in Einklang stehen, führen.

Die zukünftigen Lehrkräfte sind sich der Breite ihres Bildungsauftrags im Schulunterricht oft durch ihre eigene Sozialisierung nicht bewusst und versteifen sich deshalb in ihrem späteren Berufsleben oftmals nur auf physikalische Fachinhalte. Im allgemeinen Teil des österreichischen Lehrplans sind jedoch unter anderem die Bildungsbereiche „Sprache und Kommunikation“, „Mensch und Gesellschaft“, „Kreativität und Gestaltung“ und „Gesundheit und Bewegung“ verankert (BMBF, 2000a), weshalb sich die Studierenden im Laufe der Lehrveranstaltung immer mehr bewusst werden sollen, dass auch das Fach Physik einen Beitrag zu diesen allgemeinen Bildungsaufträgen leisten kann und muss. Deshalb ist ein Prinzip dieser Lehrveranstaltung alle Facetten des Bildungsauftrages von Lehrkräften zu thematisieren.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Auch zu dieser Leitfrage lassen sich einige Aspekte übergreifend abhandeln.

Grundsätzlich stellen alle Teilbereiche des Professionswissens, das in der Ausbildung von Lehrkräften grundgelegt werden soll (also auch Wissen über allgemeine Instruktions- und Assessmentstrategien, Wissen über konstruktivistische Lerntheorien im Allgemeinen etc.) eine wichtige allgemeine Basis dar.

Ebenso bedeutend sind Kenntnisse über das Wesen der Naturwissenschaften (Nature of Science). Wirft man einen Blick auf den Lehrplan für Physik in der Sekundarstufe I (BMBF, 2000b), so wird auch hier formuliert, dass die Schülerinnen und Schüler mit typischen Arbeits- und Denkweisen der Physik vertraut gemacht werden sollen. Überdies sollen die Studierenden die Rolle von Experimenten als Methode des Physikunterrichts und auch deren Lernwirksamkeit kennen lernen (Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007; Lunetta, 2003; Tesch & Duit, 2004). Als Vorschlag einer Lehrveranstaltungseinheit, welche diese Thematik aufgreift, siehe Kapitel 8.3.

Einen weiteren Punkt stellt Wissen über die Interessensforschung in Bezug auf den naturwissenschaftlichen Unterricht dar, als Beispiel einer Interessensuntersuchung sei hier die ROSE-Studie genannt (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007). Wenn sich bestimmte interessante Kontexte bei manchen fachdidaktischen Grundideen besonders gut umsetzen lassen (wie zum Beispiel der Kontext Humanbiologie bei GI 8), wird dies ebenfalls im jeweiligen Unterkapitel abgehandelt.

Zusätzlich müssen die Studierenden auch über den aktuellen Stand der Ergebnisse von internationalen Vergleichsstudien wie TIMSS (Suchan, Wallner-Paschon, Bergmüller, & Schreiner, 2011) oder PISA (OECD, 2012) Bescheid wissen. Einerseits, um schlichtweg die durchschnittlichen Leistungen aktueller österreichischer Schülerinnen und Schüler einschätzen zu können, andererseits aber auch, um ein Bewusstsein dafür zu entwickeln, dass weitere Einflussfaktoren wie das Geschlecht oder der soziokulturelle Status der Eltern die Leistung der Schülerinnen und Schüler maßgeblich beeinflussen können. Schließlich sollen diese Ergebnisse auch als Indikator für die Weiterentwicklung des Unterrichts dienen.

Aus fachlich inhaltlicher Perspektive kann generell gesagt werden, dass empirisch erprobte Lehrgänge zu den jeweiligen Grundideen einen wesentlichen Punkt beitragen, da themenspezifische Lehrgänge elementar für die Professionswissensbasis von Lehrkräften sind. Die speziellen Unterrichtskonzepte werden in der Aufarbeitung der einzelnen Grundideen im Weiteren vorgestellt.

Als letzter, aber nicht minder wichtiger Wissensaspekt seien an dieser Stelle die fachsprachlichen Aspekte des Physikunterrichts angeführt. Die Studierenden müssen im Laufe ihres Studiums ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass fachliches Lernen auch immer mit sprachlichem Lernen verbunden ist (Rincke & Leisen, 2015) und dass Schülerinnen und Schüler oft große Schwierigkeiten damit haben, zwischen unterschiedlichen Repräsentationsformen zu wechseln (also zum Beispiel zwischen mathematischen Formeln und einer bildlichen Darstellung) (Leisen, 2005). Zudem sind auch vielfach Schülervorstellungen bekannt, die sich erst durch gewisse sprachliche Aspekte im Physikunterricht entwickeln (siehe Kapitel 4.5). Ein Vorschlag für eine Lehrveranstaltungseinheit, welche dieses Thema beinhaltet, findet sich in Kapitel 8.2.

Frage 5: Welche Schwierigkeiten können bei der Vermittlung dieser Grundidee für die Studierenden auftreten?

Eine Quelle von Schwierigkeiten stellt eindeutig fehlendes vertieftes Fachwissen auf Universitätsniveau der Studierenden dar, ähnlich wie bei Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht ist es auch bei den Studierenden so, dass sich vielfach Hybridvorstellungen zwischen ihren eigenen Theorien und den physikalisch angemessenen Theorien bilden. Im Sinne der didaktischen Rekonstruktion bildet die fachliche Klärung einen wesentlichen Bestandteil für die angemessene Gestaltung von Lernumgebungen. Es soll zwar nicht Aufgabe dieser Lehrveranstaltung sein dieses fehlende vertiefte Fachwissen zu adressieren, dennoch sollten den Studierenden Quellen aufgezeigt werden, in denen die wichtigsten fachlichen Konzepte aufgearbeitet werden.

Neben fehlendem vertieften Fachwissen können auch Fehlvorstellungen über das Lernen von Physik oder über das Modell der didaktischen Rekonstruktion zu Lernschwierigkeiten führen. Da diese Lehrveranstaltung für das vierte Studiensemester geplant ist, ist davon auszugehen, dass die Studierenden teilweise noch relativ wenig Einblick in konstruktivistische Lerntheorien haben (Duit & Treagust, 2012).

Die Studierenden können außerdem Schwierigkeiten mit der adäquaten Elementarisierung von physikalischen Begriffen aufweisen. So können beim Vereinfachen leicht Darstellungen entstehen, die der physikalisch anerkannten Auffassung widersprechen.

Zusätzlich können Fehlvorstellungen über die Wirksamkeit von Experimenten im Physikunterricht Lernhindernisse darstellen, diese Vorstellungen sollen in der in Kapitel 8.3 vorgestellten Lehrveranstaltungseinheit adressiert werden.

Konstruktivistische Lerntheorien besagen, dass Lernen für alle Menschen in allen Gelegenheiten ein Prozess ist, bei dem sich die Person ihr eigenes Wissen konstruieren muss. Die LV-LeiterIn sollte auch bei der Auswahl der Methodik auf diese Tatsache Rücksicht nehmen, um die Studierenden möglichst gut unterstützen zu können, sich ihr eigenes Wissen zu konstruieren. Hier können bei der Auswahl der Methodik zweierlei Arten von Schwierigkeiten auftreten: Einerseits kann es sein, dass die ausgewählte Methodik die Studierenden nicht ausreichend in diesem Ziel unterstützt. Andererseits soll die lehrveranstaltungsleitende Person zwar argumentieren, dass Lernumgebungen immer

konstruktivistisch gestaltet werden sollen, oftmals ist dies jedoch nicht der Fall, was zu fehlender Akzeptanz bei den Studierenden führen kann.

Zudem kann der Fall auftreten, dass sich die Studierenden nicht bewusst sind, dass Dinge, welche für sie interessant sind, für einen Großteil ihrer späteren Schülerinnen und Schüler nicht interessant sind.

Generell kann gesagt werden, dass die Erkenntnis der Studierenden, dass ihre eigenen Vorstellungen, welche sie sich in ihrem eigenen Physikunterricht und ihrem bisherigen Studium angeeignet haben, nicht mit den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung übereinstimmen (z.B. die Differenzierung von Stromstärke und Spannung, der Wirksamkeit von Analogien etc.) kann zu Frustration und fehlender Akzeptanz führen.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Das Vorwissen der Studierenden stellt einen zentralen Punkt dar, denn auch die Studierenden müssen sich nach konstruktivistischen Lerntheorien ihr Wissen anhand ihrer eigenen Vorerfahrungen aufbauen. Weshalb die Lehrveranstaltungsinhalte zwingend an den Erfahrungen der Studierenden anknüpfen müssen. Außerdem sollen sich die Studierenden ihrer eigenen Vorstellungen bewusst werden, in dem sie über ihre eigenen Lernschwierigkeiten diskutieren und reflektieren mit dem Ziel, dass die Studierenden ihre unangemessenen Vorstellungen und fachlichen Lücken, die sie eventuell besitzen, wahrnehmen. Generell wird in der Lehrveranstaltung versucht, am Vorwissen der Studierenden aufzubauen und eine Anknüpfungsstrategie (siehe Kapitel 5.1.1) soll angewandt werden. Wo dies nicht möglich ist kann aber auch auf eine Konfrontationsstrategie zurückgegriffen werden, wenn die in Kapitel 5.1.2 formulierten Kritikpunkte im Hinterkopf bewahrt und adressiert werden.

Bei fehlendem vertieften, fachlichen Wissen kann die LehrveranstaltungsleiterIn Hilfestellung durch entsprechende Materialien, Artikel oder ähnliches bieten.

Nachdem die übergreifenden Aspekte der Grundideen geklärt wurden, sollen in den Kapiteln 7.1 bis 7.12 die Leitfragen zu den jeweiligen Grundideen beantwortet werden. Die bisher

genannten Allgemeinen Prinzipien werden nun nicht mehr in der Bearbeitung der einzelnen Grundideen angeführt.

7.1 Zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand muss ausreichend differenziert werden

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- Die elektrische Spannung U ist als Potentialdifferenz des elektrostatischen Potentials zwischen zwei Punkten A und B zu sehen. $U_{AB} = \Phi(A) - \Phi(B)$
- Stromstärke ist die Ladungsmenge Q , welche pro Zeiteinheit durch einen zur Stromrichtung senkrechten Querschnitt des stromführenden Leiters fließt. $I = \frac{dQ}{dt}$. 1 A ist diejenige Stromstärke, die zwischen zwei unendlich langen, geraden, im Abstand von 1m voneinander angeordneten Leitern im Vakuum eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N pro m Leiterlänge verursacht.
- Der elektrische Widerstand ist eine von der Leitfähigkeit σ sowie der Geometrie des Leiters abhängige Größe.
- Das Ohm'sche Gesetz ist die Beziehung $j = \sigma_{el} \cdot E$, sowie $U = R \cdot I$ für Widerstände, bei denen die Leitfähigkeit unabhängig von Spannung und Stromstärke ist.
- Temperaturabhängige Widerstände wie zum Beispiel Glühlämpchen unterscheiden sich von Ohm'schen Widerständen.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Der Begriff der elektrischen Spannung stellt für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle von Lernschwierigkeiten dar. Dies lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen: Einerseits ist der Spannungsbegriff an sich ein schwieriges Konzept, da die Lernenden beim Anfangsunterricht zum Thema Elektrizität weder Unterricht zum Konzept eines physikalischen Feldes noch zu dem eines Potentials hatten. Zum anderen lassen sich diese Schwierigkeiten teilweise auf nicht adäquate Elementarisierungen des Spannungsbegriffes zurückführen (Müller, 2012). Diese nicht adäquaten Elementarisierungen lassen sich oft auf verschiedene Interpretationen

des Spannungsbegriffes zurückführen, welche sich auch in verschiedenen Schulbüchern wiederfinden lassen. Darunter:

- Über die Formel $U = \frac{W}{q}$: „Die elektrische Spannung ist proportional der Arbeit, die nötig ist, Ladungsträger zwischen Gebieten von Elektronenmangel und –überschuss zu verschieben (Gruber & Rupp, 2006).
- Als Kraft: „Die elektrische Spannung ist die Kraft, die Elektronen von einem negativ geladenen Pol (viele Ladungsträger) zu einem positiv geladenen Pol (wenige Ladungsträger) fließen lässt (Reitinger, Fischer, & Novak, 2009).
- Als Maß dafür, wieviel Energie zum Beispiel in einer Batterie durch Ladungstrennung gespeichert ist.

Die Studierenden sollen also vor allem erkennen, dass adäquate Elementarisierungen nötig sind, um diese Lernschwierigkeiten zu adressieren.

Nicht nur der Spannungsbegriff, sondern auch das Konzept der Stromstärke stellt für Schülerinnen und Schüler ein Lernhindernis dar, weswegen der altersgemäßen Aufarbeitung des Konzeptes der elektrischen Stromstärke ebenfalls besondere Beachtung geschenkt werden sollte. Im Wesentlichen lassen sich hier zwei Zugänge nennen, welche auf unterschiedlichen Voraussetzungen beruhen:

- Der eine Zugang zur elektrischen Stromstärke ist stark an der Formel $I = \frac{dQ}{dt}$ orientiert. Dabei stellt die elektrische Stromstärke die Anzahl der Elektronen, welche während einer bestimmten Zeitspanne durch einen Leiter fließen, dar.
- Die zweite Möglichkeit die elektrische Stromstärke einzuführen ist an der magnetischen Wirkung des Stromes orientiert, zum Beispiel über die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel. Es zeigte sich in der Dissertation von Gleixner (1998), dass sich dieser Zugang als sehr fruchtbar erweist. Viele Schülerinnen und Schüler konnten in an den Unterricht anschließenden Aufgabenstellungen in verschiedenen Situationen fachlich korrekt argumentieren.

Die Studierenden sollen den angemessenen Umgang mit Widerständen im physikalischen Unterricht lernen. Viele Schulbücher oder Unterrichtsmaterialien behandeln zum Beispiel

Glühlämpchen einfach so, als wären diese nicht temperaturabhängig und somit ohm'sch, was zu weiteren Lernschwierigkeiten führen kann.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Nicht angemessene Elementarisierungen der physikalischen Konzepte Spannung, Stromstärke und Widerstand können zur Folge haben, dass sich bereits vorhandene Schülervorstellungen verfestigen oder sich gar neue, nicht fachgemäße Vorstellungen entwickeln.

Die Definition des Widerstandes als Quotient von Spannung und Stromstärke kann bei der anschließenden Verwendung von nicht Ohm'schen Widerständen zu Schwierigkeiten führen, da über den Zusammenhang $I \sim U$ eine ausreichende Differenzierung zwischen den beiden Konzepten Spannung und Stromstärke erschwert wird. Doch gerade eine ausreichende Unterscheidung dieser Begriffe ist essentiell für den weiterführenden Unterricht in der Elektrizitätslehre (siehe Gl 2-5).

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Einen wesentlichen Bereich stellen Forschungsergebnisse über Schülervorstellungen in der elementaren Elektrizitätslehre für die Sekundarstufe I dar, denn Physikunterricht soll am Vorwissen der Schülerinnen und Schüler orientiert sein. Die für diese Grundidee wichtigsten Schülervorstellungen bilden folgende drei, für eine genauere Beschreibung dieser siehe Kapitel 4.5.1:

- Die Kategorisierung des elektrischen Stroms als Substanz
- Die Verbrauchervorstellung
- Die unzureichende Differenzierung von Stromstärke und Spannung

Ergebnisse über die Elementarisierung des Spannungsbegriffs stellen einen besonders wichtigen Punkt dar, da die Spannung, wie oben bereits angesprochen, eine besonders große Quelle von Lernschwierigkeiten darstellt (Gleixner, 1998). Einen guten Überblick bietet hier der Artikel von Müller (2012).

Außerdem sind Kenntnisse über die Wirksamkeit verschiedener Analogien, welche im Physikunterricht eingesetzt werden oder wurden, wie zum Beispiel die

Wasserkreislaufanalogie, das Rucksackmodell oder das Stäbchenmodell, relevant, da ähnlich wie bei nicht adäquaten Elementarisierungen, auch nicht angemessene Analogien zu erheblichen Lernschwierigkeiten führen können (siehe Leitfrage 4 in GI 1).

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Als speziell für diese Grundidee relevanter Unterrichtslehrgang lässt sich das an der Ludwig-Maximilian Universität München entwickelte Unterrichtskonzept inklusive des Stäbchenmodells nennen. Das Stäbchenmodell greift auf die Höhen- bzw. Gravitationsanalogie zurück, welches sich nicht der Teilchenvorstellung des elektrischen Stromes bedient. Dabei wird die elektrische Spannung zwischen den Polen, zum Beispiel einer Batterie, als Unterschied zwischen zwei Höhenlagen dargestellt, zu sehen in Abbildung 10.

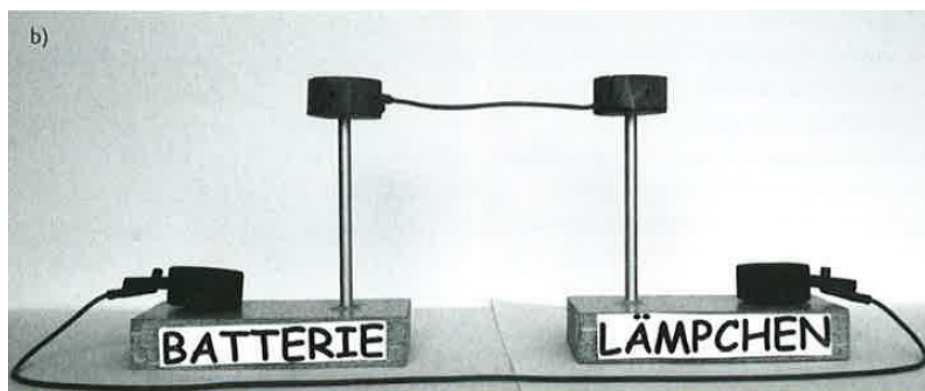


Abbildung 10: Darstellung der Potentialdifferenz mittels einer Höhenanalogie. Aus Koller et al. (2008)

Die Idee dieser Analogie ist dabei unter anderem, im Sinne der ausreichenden Differenzierung von elektrischer Spannung und Stromstärke das elektrische Potential oder die elektrische Spannung ohne gleichzeitige Veranschaulichung der elektrischen Stromstärke darzustellen (Gleixner, 1998; Koller, Waltner, & Wiesner, 2008), dies kann weiterführend auch zur Beschreibung von elektrischen Schaltungen genutzt werden (siehe GI 3).

Die Gravitationsanalogie beim Stäbchenmodell ist eine auf Forschungsergebnissen basierende Darstellungsform, welche die ausreichende Unterscheidung von Spannung und Stromstärke unterstützt. Betrachtet man im Gegensatz dazu die Wasserkreislanalogie, so zeigen hier Schwedes und Schilling (1983) auf, dass diese Analogien nur unter bestimmten Bedingungen Wirksamkeit zeigt. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler hier mit ähnlichen Problemen wie beim Stromkreis kämpfen müssen, da sie auch zu Wasserkreisläufen

und Druckverhältnissen in diesen Kreisläufen nur bedingt angemessene Vorstellungen besitzen. Dies bedeutet, dass ohne entsprechend gründlichen Unterricht über diese Wasserkreislaufmodelle eben jene wenig zum Lernen über elektrische Stromkreise beitragen können. Diese beiden Analogien vergleichend kann also gesagt werden, dass die Höhen- oder Gravitationsanalogie im Allgemeinen wesentlich besser für den Einsatz im Physikunterricht geeignet ist.

Die Studierenden sollen auch Darstellungsformen kennen lernen, die demonstrieren, welche Schwierigkeiten bei einer nicht adäquaten Elementarisierung auftreten können. So wird bei der Verwendung des Rucksackmodells die Definition der Spannung durch die Gleichung

$U = \frac{W}{q}$ vorausgesetzt. Dieses Modell impliziert die Vorstellung, dass jede Ladung an einer Batterie einen gewissen Energiebetrag mitgegeben bekommt und diesen auf ihrem Weg durch den Stromkreis abgibt. Die Argumentation mit diesem Modell versagt jedoch bereits bei einfachen Schaltungen in elektrischen Stromkreisen, mehr dazu bei GI 3.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Bei fehlendem Fachwissen kann der oder die LV-LeiterIn auf entsprechende Artikel verweisen, welche zum Beispiel den Spannungsbegriff thematisieren, als Anregung jenen von Härtel (2012) oder Müller (2012).

Die verschiedenen Analogien und Definitionen aus den unterschiedlichen Unterrichtslehrgängen und Schulbüchern können gemeinsam nach bestimmten Kriterien (Qualität der Darstellung, Probleme in Zusammenhang mit dieser Definition/Analogie etc.) analysiert werden. Die fehlende Anschlussfähigkeit verschiedener Analogien kann dabei im Fokus sein.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Als eine Möglichkeit sollen die Studierenden in Gruppen die Begriffe Spannung und Stromstärke anhand eines Experiments (zum Beispiel eines einfachen Stromkreises mit einer Glühlampe) darstellen und mithilfe der unterschiedlichen Analogien (Stäbchenmodell,

Wasserkreislaufanalogie etc.) oder Modelle (Rucksackmodell, Hula-Hoop-Reifen etc.) erklären und schließlich auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Zugänge hinweisen.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potential*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Härtel, H. (2012). Spannung und Oberflächenladungen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 61(5), 25–31.

Koller, D., Waltner, C., & Wiesner, H. (2008). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 57(6), 6–18.

Müller, R. (2012). Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potentiellen Energie. *Praxis Der Naturwissenschaften*, 61(5-16).

Schwedes, H., & Schilling, P. (1983). Schülervorstellungen zum Wasserstromkreis. *Physica Didactica*, 10(3/4), 159–170.

7.2 Stromfluss ist eine Modellvorstellung, beim Stromfluss wird Energie übertragen

Verknüpfte fachliche Grundideen

- Stromfluss ist eine Modellvorstellung.
- Elektrischer Strom ist der Transport von Energie durch Felder.
- Die elektrische Spannung ist direkt proportional zur Leistung über den Zusammenhang
$$U = \frac{P}{I}.$$
- Die Energiestromdichte $I = c \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$ beschreibt die Energie, die pro Zeit durch eine Flächeneinheit senkrecht zum Wellenvektor k (oder eben senkrecht zum Poynting-Vektor) transportiert wird (Demtröder, 2013).

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Elektrischer Strom hat im alltäglichen Gebrauch eine andere Bedeutung als in der Physik, er wird dort oftmals mit der Energie (gemessen in Kilowattstunden) oder dem Energieumsatz (in Kilowatt) verwechselt oder gleichgesetzt. Die Studierenden sollen den Einfluss des alltäglichen Sprachgebrauchs auf den physikalischen Unterricht erkennen.

Außerdem sollen die Studierenden verschiedene Möglichkeiten zur Darstellung des elektrischen Stroms sowie deren Vorteile und Grenzen kennenlernen. Darunter:

- Das Fahrradkettenmodell
- Das Drude-Modell
- Die Wasserkreislaufanalogie

Die Studierenden sollen unterschiedliche Sachstrukturen für den Unterricht im Themenbereich Stromfluss als Modellvorstellung kennen lernen.

Die Studierenden sollen nach Abschluss dieses Seminars die Vor- und Nachteile des Einsatzes unterschiedlicher Spannungsquellen (z.B. Batterie, Handgeneratoren, Solarzellen, ...) im Unterricht kennen. So wirkt zum Beispiel der Einsatz von Handgeneratoren oder Solarzellen der Stromverbrauchervorstellung entgegen. Schülerinnen und Schüler haben oft die Vorstellung, in einer Batterie sei der „Strom gespeichert“ und wird anschließend verbraucht. In Solarzellen oder Handgeneratoren kann der Strom nicht schon vorab gespeichert sein.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Damit die angehenden Lehrkräfte möglichst lernwirksamen Unterricht zu den Konzepten Stromfluss als Modellvorstellung und Energieübertragung beim Stromfluss gestalten können, ist zusätzlich zu den in GI 1 genannten Erkenntnissen über Schülervorstellungen auch Wissen über die häufigsten Präkonzepte zum elektrischen Stromkreis von Bedeutung. Dazu gehören vor allem:

- Die Kategorisierung des elektrischen Stroms als Substanz
- Die Verbrauchervorstellung

Eine genauere Beschreibung dieser Schülervorstellungen lässt sich in Kapitel 4.5.1 finden.

Eine weitere wichtige Entwicklungsbasis bildet das von Muckenfuß und Walz (1997) entwickelte Unterrichtskonzept, welches die Energieübertragung in elektrischen Anlagen in den Vordergrund stellt, hierbei wird also besonderes Wert auf den Fluss des elektrischen Stroms gelegt.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Unterricht?

Der Unterricht über die Elektrizitätslehre ist aufbauend zu sehen, weshalb das in GI 1 genannte zusätzliche Wissen auch für diese Grundidee relevant ist.

Als spezieller Unterrichtslehrgang, welcher den Aspekt der Energieübertragung beim Stromfluss hervorhebt, ist der von Muckenfuß und Walz (1997) entwickelte Lehrgang zu nennen. Dieses Unterrichtskonzept bietet eine alternative Sachstruktur zu der in Grundidee 1 vorgestellten. Zentral hierbei ist die Verwendung von Handgeneratoren für die Experimente mit einfachen Stromkreisen. Diese Handgeneratoren wirken (ebenfalls wie die Verwendung von Solarzellen oder thermischen Elementen als Spannungsquellen) der Stromverbrauchsvorstellung entgegen, da die Schülerinnen und Schüler im Gegensatz zur Verwendung einer Batterie hier die Energie selbst umwandeln bzw. bereitstellen müssen (vgl. GI 1). Die SchülerInnen erkennen dabei, dass hier kein „Elektronenreservoir“ vorhanden ist. Die Definitionsgleichung der elektrischen Spannung wird in diesem Lehrgang als $U = P/I$ festgelegt, welche auch wieder die Bedeutung des Energiestroms in elektrischen Stromkreisen hervorhebt.

Leitfrage 5: Welche Schwierigkeiten können bei der Vermittlung dieser Grundidee für die Studierenden auftreten?

Der Unterrichtslehrgang von Muckenfuß und Walz (1997) weist eine andere Sachstruktur auf als die in fast allen österreichischen Schulbüchern gängige, weswegen es hier zu Akzeptanzproblemen bei den Studierenden aufgrund ihrer Sozialisierung in ihrem eigenen Unterricht kommen kann.

Außerdem werfen alternative Sachstrukturen oftmals die Angst auf, dass zu wenig fachlicher Inhalt besprochen wird, zu triviale Konzepte abgehandelt werden und generell „zu wenig

gerechnet wird“, was ebenfalls wieder auf die eigene Sozialisation der Studierenden zurückgeführt werden kann.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Die Studierenden machen eigenständige Erfahrungen mit den im Lehrgang vorgestellten Experimenten, vor allem mit dem Einsatz von Handgeneratoren. Dies kann genauso wie bei SchülerInnen dazu führen, dass unangemessene Vorstellungen adaptiert werden.

Die Lehrveranstaltungsleitende Person kann bei Bedenken hinsichtlich der alternativen Sachstruktur auf den Lehrplan verweisen und die eigenständige Gewichtung der einzelnen Kernthemen, aber auch den allgemeinen Bildungsauftrag im Seminar thematisieren.

Die Studierenden sollen sich in Kleingruppen auf die wichtigsten fachlichen Grundideen in Bezug auf die elementare Elektrizitätslehre einigen, welche alle Schülerinnen und Schüler nach dem Unterricht verstanden haben müssen, um darauf aufbauen zu können.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen zuerst bereits vorhandene Experimentiervorlagen zu einfachen Stromkreisen mit einer Batterie als Spannungsquelle durchführen. Anschließend sollen sie diese Experimente so modifizieren, dass sie sich im Sinne des Unterrichtslehrganges von Muckenfuß und Walz (1997) mit Handgeneratoren umsetzen lassen und diese dann eigens durchführen. Die Studierenden sollen anschließend eine Lernzielanalyse der beiden Experimente durchführen und über die verschiedenen Zugänge sowie über die Unterschiede der beiden Spannungsquellen und deren Wirkung auf die Schülerinnen und Schüler reflektieren.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 2* (6th ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potential*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). Köln: Aulis

verlag.

Müller, R. (2012). Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potentiellen Energie. *Praxis Der Naturwissenschaften*, 61(5-16).

Schwedes, H., & Schilling, P. (1983). Schülervorstellungen zum Wasserstromkreis. *Physica Didactica*, 10(3/4), 159–170.

7.3 Die Beschreibung der Verhältnisse im Stromkreis als System stellen häufig Schwierigkeiten dar.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

Diese fachlichen Grundideen wurden übernommen aus Kuchling (2011):

- In einer Stromverzweigung ist die Summe der Zweigströme gleich dem Gesamtstrom (1. Kirchhoff'sches Gesetz).
- In einem unverzweigten Stromkreis bzw. in jeder Masche eines verzweigten Netzwerkes ist die algebraische Summe aller Quellenspannungen gleich der Summe aller inneren und äußeren Spannungsabfälle (2. Kirchhoff'sches Gesetz).
- Bei einer Reihenschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände.
- Bei der Parallelschaltung ist der Kehrwert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Aufbauend auf den in GI 1 und GI 2 beschriebenen Möglichkeiten, Spannung und Stromstärke zu differenzieren, sollen die Studierenden die Fähigkeiten erwerben, die in GI 1 und GI 2 vorgestellten Unterrichtskonzepte (Stäbchenmodell, Lehrgang nach Muckenfuß & Walz) ebenfalls in der weiterführenden Beschreibung elektrischer Schaltungen anzuwenden. Damit verbunden sollen die Studierenden auch die unterrichtlichen Vor- und Nachteile verschiedener Stromstärken- und Spannungsmessgeräte kennen lernen (digitale Geräte,

Drehspulmesswerke, etc.). Außerdem sollen die LehrveranstaltungsteilnehmerInnen erfassen, dass Schülerinnen und Schüler oft aufgrund der Topologie von gezeichneten Schaltskizzen zu gewissen Argumentationen (sequentielle oder lokale Argumentationen, siehe Kapitel 4.5.1) verleitet werden (Gleixner, 1998).

Die unterschiedlichen Repräsentationsformen bei elektrischen Schaltungen können oft zu Verwirrung bei Schülerinnen und Schülern führen, so ist oft im Schaltplan oder dem tatsächlich aufgebauten Experiment nicht a priori klar, wo es sich im Schaltkreis um einen „Knoten“ oder eine „Masche“ handelt.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Die Beschreibung von Verhältnissen im Stromkreis bildet einen wesentlichen Teil der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I. Diese bildet aber auch eine Quelle von diversen Lernschwierigkeiten. So ist aus fachdidaktischer Forschung bekannt, dass Schülerinnen und Schüler, abhängig von der vorgelegten Schaltung, nur lokal oder sequentiell argumentieren (siehe Kapitel 4.5.1).

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Zusätzlich zu den in GI 1 und GI 2 beschriebenen Forschungsergebnissen über Schülervorstellungen sind vor allem die Präkonzepte der sequentiellen und lokalen Argumentation von besonderer Bedeutung, siehe Kapitel 4.5.1. Außerdem stellen die Forschungsergebnisse über die Vorstellung einer konstanten Stromstärke im geschlossenen Stromkreis einen wichtigen Punkt, wenn man Lernumgebungen über die Beschreibung der Verhältnisse im Stromkreis erstellen möchte, dar. Das Konzept einer konstanten Stromstärke in einem geschlossenen Stromkreis steht im Gegensatz zu der Stromverbrauchsvorstellung (nach dieser Argumentation müsste ja die Stromstärke nach dem „Verbraucher“ zumindest kleiner sein als davor).

In GI 1 und GI 2 wurden verschiedene Analogien vorgestellt, welche sich auf für die Beschreibung der Verhältnisse in elektrischen Stromkreisen anwenden lassen. Empirische Untersuchungen über die Wirksamkeit dieser Analogien bei der Argumentation in Schaltungen müssen in Betracht gezogen werden (Gleixner, 1998; Muckenfuß & Walz, 1997a).

Dazu gehören die Wasserkreislaufanalogie, die Höhenanalogie inklusive Stäbchenmodell, das Fahrradkettenmodell sowie die Parallelstraßenanalogie.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Das auf empirischer Evidenz basierte Stäbchenmodell (siehe GI 1) bietet die Möglichkeit, Verhältnisse in elektrischen Schaltungen sowie das Hintereinander- und Gegeneinanderschalten von Batterien zu beschreiben und analysieren. In Abbildung 11 ist die Visualisierung einer Serienschaltung mittels des Stäbchenmodells zu sehen. In dieser Abbildung ist außerdem ersichtlich, dass die Elemente gleichen Potentials mit derselben Farbe visualisiert wurden, so ist leicht zu erkennen, dass an den Lämpchen jeweils ein Potentialunterschied herrscht. Diese Farbgebung erweist sich insbesondere bei der Parallelschaltung als sehr hilfreich. Außerdem ist sofort ersichtlich, dass in den Leiterabschnitten zwischen den Lämpchen und der Batterie jeweils ein Potentialunterschied von Null herrscht.

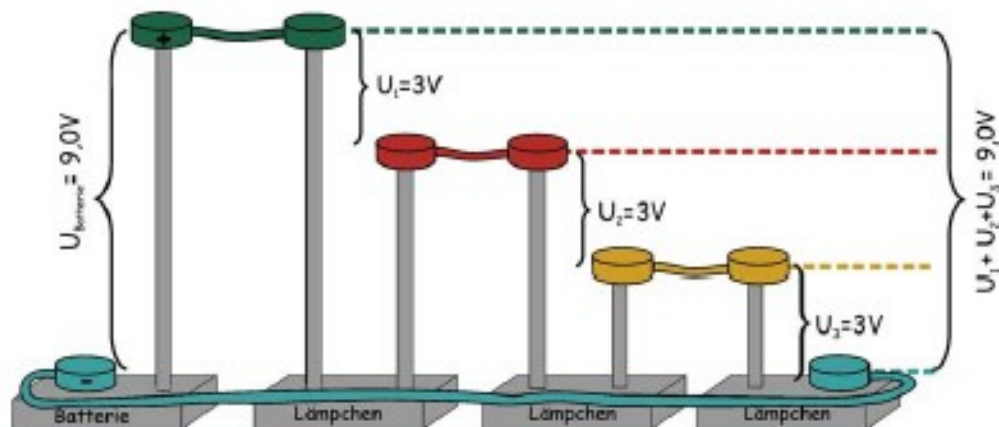


Abbildung 11: Darstellung des Potentialunterschieds bei einer Reihenschaltung mit dem Stäbchenmodell, aus den Unterrichtsmaterialien von Koller (Internetquelle, siehe Literatur)

Bei der in GI 1 vorgestellten Wasserkreislaufanalogie ergeben sich aus den gleichen wie in GI 1 erläuterten Gründen auch Probleme bei der Beschreibung von elektrischen Schaltungen, weshalb diese Analogie nur unter bestimmten Bedingungen (wenn Druckverhältnisse in geschlossenen Leitungen ausreichend besprochen wurden etc., siehe GI 1 und 2) im Unterricht eingesetzt werden sollte.

In der Dissertation von Gleixner (1998) stellt sich das Fahrradkettenmodell als eine empirisch erprobte Möglichkeit dar, die Rolle des Widerstands in einem elektrischen Stromkreis zu verdeutlichen. Bei diesem Modell kommt die konstante Antriebskraft der konstanten Spannung gleich und der Bremsklotz entspricht einem elektrischen Widerstand im Kreislauf, zu sehen in Abbildung 12. Diese Analogie wirkt der Stromverbrauchsvorstellung entgegen, da der Bremsklotz eben keine Kettenglieder verbraucht, sondern lediglich dem Kreislauf Energie entnimmt und in innere Energie umwandelt.

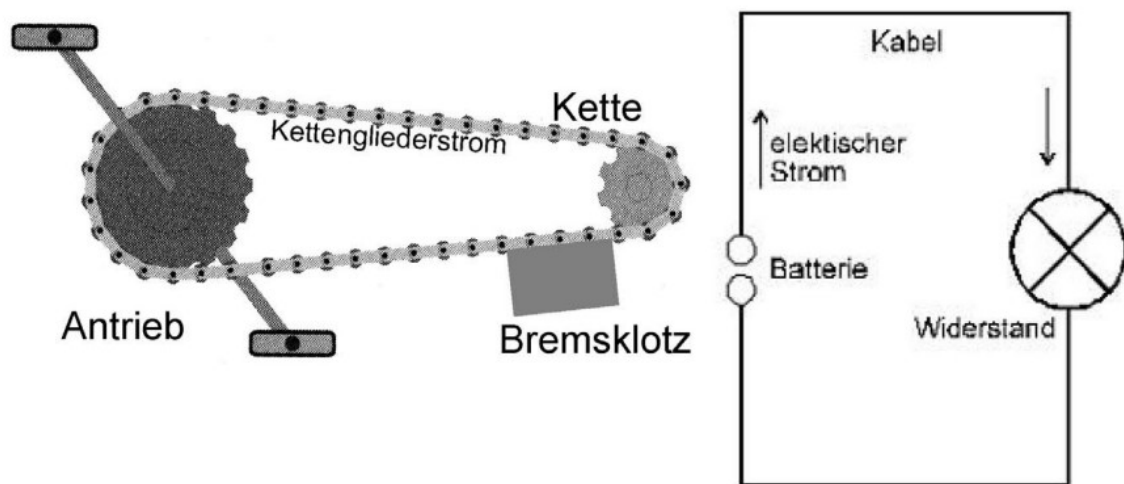


Abbildung 12: Fahrradkettenanalogie, aus Gleixner (1998)

Die Parallelstraßenanalogie dient – wie ihr Name schon suggeriert – dazu, die Verhältnisse beim parallelen Hinzuschalten eines Elektrogeräts zu beschreiben. Dabei wird die Serienschaltung mit einer Straße verglichen, in der zwei Hindernisse hintereinander aufgebaut sind. Die Parallelschaltung wird mit einer Situation, in der zu einer Straße mit einem Hindernis noch eine zweite zusätzliche Straße mit ebenfalls einem Hindernis bereitgestellt wird, verglichen. Die Wirksamkeit dieser Analogie konnte in der Dissertation von Gleixner (1998) jedoch nicht dargelegt werden.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen in Schulbüchern recherchieren, welche Darstellungsformen es für elektrische Stromkreise in diesen gibt (Topologie der Schaltpläne, Analogien für die Serien- sowie Parallelschaltung) und in Kleingruppen analysieren und bewerten, ob diese den in der

Lehrveranstaltungseinheit besprochenen Kriterien entsprechen. Nach einer anschließenden Input-Phase über die Wirksamkeit der einzelnen Darstellungsformen und Analogien sollen die Studierenden abermals die zuvor ausgearbeiteten Analogien mit dem soeben erworbenen Wissen bewerten und über die Unterschiede der beiden Bewertungen diskutieren.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potential*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Koller, D., Waltner, C., & Wiesner, H. (2008). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 57(6), 6–18.

Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). Köln: Aulis verlag.

Müller, R. (2012). Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potentiellen Energie. *Praxis Der Naturwissenschaften*, 61(5-16).

Schwedes, H., & Schilling, P. (1983). Schülervorstellungen zum Wasserstromkreis. *Physica Didactica*, 10(3/4), 159–170.

Urban-Woldron, H. (2013). Verständnisvolles Lernen in der Elektrizitätslehre. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 133, 26–29.

Wodzinski, R. (2013). Elektronenbewegung in der Parallelschaltung. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 133, 22–25.

7.4 Energieübertragung und Energiebereitstellung kann und muss aus unterschiedlichen Perspektiven (physikalisch, ökologisch, etc.) betrachtet werden

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- Strom bildet die Grundlagen zur flächendeckenden Energieversorgung.
- Das europäische Stromnetz ist auf verschiedenen Spannungsebenen aufgebaut.

- Eine Wechselspannung $U = U_0 \cdot \cos(\omega t)$, die an einem Widerstand R anliegt, erzeugt einen Wechselstrom $I = I_0 \cdot \cos(\omega t)$. Die Zeit $T = \frac{2\pi}{\omega}$ zwischen zwei Maxima heißt die Periode. Sie beträgt im mitteleuropäischen Netz mit einer Frequenz von 50 Hertz 20 ms (Demtröder, 2013).
- Die Richtung des Energieflusses wird durch den Poynting-Vektor $S = E \times H$ beschrieben, wobei der Betrag von S genau der Energiestromdichte entspricht.
- Die Energiestromdichte $I = c \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$ beschreibt die Energie, die pro Zeit durch eine Flächeneinheit senkrecht zum Wellenvektor k (oder eben senkrecht zum Poynting-Vektor) transportiert wird (Demtröder, 2013).

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Die Studierenden sollen unterrichtliche Zugänge zur Bereitstellung und Übertragung elektrischer Energie kennenlernen. Dazu gehören:

- Ökologische Aspekte der Energiebereitstellung und -nutzung
- Aufbau des physikalischen Stromnetzes
- Aufbau des Handels-Stromnetzes
- Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ)

Die Studierenden sollen Möglichkeiten kennen lernen, im Unterricht Nachhaltigkeitsaspekte zu behandeln.

Die Studierenden sollen mit dem Konzept der Bewertungskompetenz vertraut gemacht werden (Sakschewski, 2013).

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Im Kompetenzmodell NaWi 8 (Bifie, 2011) ist – als ein Teilbereich der Handlungsdimension – „Standpunkte begründen und aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten“ angeführt. Das Themengebiet der Energiebereitstellung und –übertragung bietet hier einen guten Anknüpfungspunkt.

Im Sinne der didaktischen Rekonstruktion ist die fachliche Klärung des Aufbaus von Stromnetzen nötig, einerseits, da dieser Aspekt in der fachlichen Grundvorlesung meist ausgeklammert wird, andererseits wird aber auch vertieftes fachliches Wissen in Bezug auf den Aufbau von Stromnetzen vorausgesetzt, wenn es um die adäquate Gestaltung von Lernumgebungen geht.

Im Lehrplan für die Physik-Unterstufe in Österreich ist unter anderem folgender Abschnitt formuliert, in der die Physik Beiträge zu folgenden Bildungsbereichen liefern soll:

- Einfluss von Physik und Technik auf gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Entwicklungen
- Kritische Auseinandersetzung mit unwissenschaftlichen bzw. technikfeindlichen Meinungen
- Einfluss moderner Technologien
- Aufzeigen möglicher Gefahren bei der Umsetzung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen in technische Anwendungen
- Entwickeln persönlicher Wertvorstellungen und der Einsicht zur Mitverantwortung im Umgang mit der Umwelt.

Weiters sind in den Kernbereichen folgende Aspekte verankert:

- Energieumformung, Arbeitsverrichtung und Wirkungsgrad wichtiger Elektrogeräte verstehen
- Einsicht in die ökologische Bedeutung von Energiesparmaßnahmen gewinnen und ökologische Handlungskompetenz aufbauen

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Im Zuge der Energieübertragung und Energiebereitstellung sind Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen im Bereich des Energietransports relevant (Duit, n.d.; K. Neumann, Viering, Boone, & Fischer, 2012).

Außerdem sind Forschungsergebnisse über die fachliche Klärung des Energietransports in elektrischen Stromkreisen wichtig (Muckenfuß & Walz, 1997a; R. Müller, 2012a), denn auch

hier ist damit zu rechnen, dass die Studierenden ähnliche Vorstellungen besitzen wie Schülerinnen und Schüler, siehe Kapitel 4.5.1.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Die Studierenden benötigen vertiefendes fachliches Wissen über:

- Das sogenannte UCTE-Netz (union for the coordination of transmission of electricity), welches das Kontinente überspannende Versorgungsnetz für Europa und Teile Nordafrikas ist. Wobei die Aufteilung der Netzlast zu ungefähr 50% von der Industrie, 40% von privaten Haushalten sowie 7% Nettoverlusten plus einem Rest ist (diese Daten beziehen sich auf das Jahr 2008, aus Ludgen und Waitschat (2009)). Die Studierenden benötigen ein grundlegendes Wissen über die Rolle der gemeinsamen 50 Hertz Frequenz und der Ursachen für Netzausfälle und Schutzmechanismen, welche diese verhindern sollen.
- Den historischen „Stromkrieg“ zwischen der Gleich- (Edison) und Wechselspannungstechnologie (Westinghouse). Die Schülerinnen und Schüler sollen im Schulunterricht mit der Bedeutung von Physik als Kulturgut vertraut gemacht werden und den Einfluss der Gesellschaft auf Entwicklungen in der Physik kennen lernen, weswegen die Studierenden ein vertieftes fachliches Wissen in diesen Bereichen benötigen.
- Die Vor- und Nachteile der Gleichspannungs- und Wechselspannungstechnologie sowie deren aktuelle Einsatzmöglichkeiten. Dazu gehören die verschiedenen Spannungsebenen des Stromnetzwerkes sowie die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ).
- Die verschiedenen Möglichkeiten, elektrische Energie zu „erzeugen“ und umzuwandeln.
- Die aktuelle Lage der Energieversorgung Europas und die Möglichkeiten alternativer Energiequellen.

Die Studierenden benötigen fachdidaktisches Wissen über:

- Die Verwendung der Begriffe Energiequelle und Energieverbrauch im alltäglichen Leben und deren Quelle für Lernschwierigkeiten im Physikunterricht.

- Den von Muckenfuß & Walz (1997) entwickelten Unterrichtsgang zur Bedeutung des Transformators für die elektrische Energieübertragung. Auf dem Lehrgang für die Elektrizitätslehre, welcher für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I konzipiert wurde, aufbauend wird auch in diesem Unterrichtsgang die elektrische Energieversorgung und -übertragung in den Vordergrund gerückt. Muckenfuß (2007) nennt im Zusammenhang mit der Energieversorgung der Bevölkerung vor allem zwei Aspekte:
 - Wie werden die gewaltigen benötigten elektrischen Energieströme erzeugt?
 - Wie ist es möglich, elektrische Energieströme in der Größenordnung von mehreren Hundert Megawatt über große Entfernungen und mit geringem Verlust zu transportieren?

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen ein Rollenspiel zum Thema Nachhaltigkeit in der Energiebereitstellung und –übertragung erarbeiten, welches sich im Unterricht der Sekundarstufe I umsetzen lässt. Dabei sollen verschiedene Rollen vertreten sein, zum Beispiel eine Vertreterin der Industrie, ein Umweltschützer, eine Physikerin sowie ein Vertreter eines Stromanbieters. Dieses Rollenspiel soll anschließend in der Lehrveranstaltung durchgeführt werden und danach über die Implikationen für den Physikunterricht diskutiert werden.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Berger, R., & Müller, M. (2015). Erzeugung und Übertragung elektrischer Energie. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 11–19.

Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 2* (6th ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Kahnt, M., & Kuper, F. (2015). Der Strom kommt einfach aus der Steckdose? *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 20–25.

Muckenfuß, H. (2007). Vom Induktionsgesetz zum Transformator. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 25–29.

Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). Köln: Aulis verlag.

- Müller, R. (2012). Was ist Spannung? *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 61(5), 5–16.
- Rincke, K. (2015). Energie speichern im Gravitationsfeld. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 26–33.
- Berge, O. E. (1997a). Didaktische Aspekte des Energiesparens. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 39, 4–6.
- Berge, O. E. (1997b). Elektrische Energie. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 39, 8–12.
- Berger, R., & Müller, M. (2015). Erzeugung und Übertragung elektrischer Energie. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 11–19.
- Brandt, R. (2007). Die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ). *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102.
- Hilbert, M., & Heier, S. (2009). Vom Wind zum elektrischen Strom. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 58(5), 24–29.
- Kahnt, M. (2015). Am Weihnachtsbaum die LED-Lichter brennen... *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 34–39.
- Kahnt, M., & Kuper, F. (2015). Der Strom kommt einfach aus der Steckdose? *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 146, 20–25.
- Kurrat, M., & Deppe, B. (2009). Die Hochspannungs-GleichstromÜbertragung (HGÜ). *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 58(5), 11–16.
- Ludgen, D., & Waitschat, H. (2009). Funktionsweise des elektrischen Versorgungsnetzes. *Praxis Der Naturwissenschaften - Physik*, 58(5), 5–10.
- Nitsch, J. (2011). Die weltweite Energieversorgung und ihre Zukunft. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 60(1), 5–10.
- Schuldt, C. (1997). Energiebedarf und Energiesparen im Haushalt. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 39, 22–25.
- Trieb, F. (2011). Strom aus der Wüste. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 60(1), 25–39.

Urban-Woldron, H. (1997). Aufgaben zum Energiesparen. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 39, 13–15.

7.5 Das Verständnis von Schutzeinrichtungen und des Gefahrenpotentials von Elektrizität sind Voraussetzungen für den angemessenen Umgang mit elektrischer Energie im Alltag.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- 50 Hertz-Ströme können unterschiedliche Auswirkungen auf den menschlichen Körper haben.
- Die Wärmeleistung $P = R \cdot I^2$ ist die erzeugte thermische Energie pro Zeitintervall.
- Die Wirkungsweise eines Fehlerstromschutzschalters als Vergleich von in einer Leitung hin- und zurückfließenden Strom.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Die Studierenden sollen Möglichkeiten kennen lernen, Lernumgebungen zum Thema Personen- und Brandschutz im Haushalt zu erstellen, außerdem sollen sie die Sicherheitsvorschriften im physikalischen Unterricht in Bezug auf die Elektrizitätslehre kennen lernen.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Kenntnisse über die Sicherheitsbestimmungen im physikalischen Unterricht stellen eine essentielle Voraussetzung für die Durchführung von Schülerexperimenten in der Elektrizitätslehre dar, zudem ist dieser Aspekt in der bisherigen Physik-Lehramtsausbildung an der Universität Graz in keiner Lehrveranstaltung explizit verortet. Dies trifft im Übrigen auf die meisten Curricula in Österreich zu. Typischerweise tendieren derartige „Querschnittsthemen“, die keiner Lehrveranstaltung explizit verortet sind, unter den Tisch zu fallen. Aus diesem Grund soll in der *Lehrveranstaltung Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* ein fixer Platz dafür verankert werden.

Ein Ziel im Physikunterricht ist es, die Schülerinnen und Schülern die Gefahren des elektrischen Stromflusses erkennen zu lassen und sie außerdem zu fördern, sicherheitsbewusst zu Handeln. Aus diesem Grund müssen die Studierenden mit den fachlichen Konzepten von gängigen Schutzeinrichtungen in Haushalten vertraut sein, sie sollen aber auch Möglichkeiten kennen diese für den Unterricht der Sekundarstufe I aufzubereiten.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Da diese Grundidee als auf den GI 1-4 aufbauend zu sehen ist, lassen sich die relevanten Forschungsergebnisse von GI 1-4 auf diese Grundidee übertragen.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Wie bereits in Frage 2 angeschnitten, bildet Wissen über die Schutzbestimmungen für den physikalischen Unterricht einen wichtigen Faktor, da die Studierenden in ihrem späteren Unterricht regelmäßig mit Schülerversuchen konfrontiert sind. In Deutschland gibt es hierzu eine Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RISU), aufrufbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf.

Außerdem sollen die Studierenden Möglichkeiten kennen lernen, elektrische Sicherheitseinrichtungen im Physikunterricht zu thematisieren.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Im Rahmen eines Quiz zu den Sicherheitsbestimmungen im Unterricht der Elektrizitätslehre. Die Abfrage wird hierbei auf einer der beiden Plattformen Kahoot (<https://getkahoot.com>) oder Plickers (<https://plickers.com>) durchgeführt, womit auch der Einsatz neuer Medien im Physikunterricht angesprochen werden soll.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Brandt, R. (2000). Der Schutzleiter. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 55, 29–35.

Braß, M. (2000). Die Glühwurst. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 55, 41.

Marhenke, E. (2000). Der Fehlerstromschutzschalter. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 55, 36–40.

Volkmer, M. (2000a). Personen und Brandschutz in der Elektrotechnik. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 55, 4–7.

Volkmer, M. (2000b). Zur Didaktik des Themas “Elektrische Sicherheitseinrichtungen.” *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 55, 8–11.

7.6 Magnetische Phänomene sind Ausgangspunkt für die Entwicklung des Feldkonzepts bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- Magnetische Pole sind jene Stellen eines Magneten, an denen die Feldliniendichte am größten ist.
- Es gibt keine magnetischen Monopole, Quellen und Senken des magnetischen Feldes treten immer gemeinsam auf. Anders ausgedrückt: $\text{div}(\mathbf{B}) = 0$.
- Ein Magnetfeld ist jedoch nicht wirbelfrei, es gilt: $\text{rot}(\mathbf{B}) = \mu_0 \cdot \mathbf{j} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$.
- Ferromagnetisch sind Stoffe, die eine Permeabilitätszahl μ_r aufweisen, die wesentlich größer als eins ist und deren magnetische Suszeptibilität κ (zumindest) größer als eins ist. Außerdem verstärken sie ein Magnetfeld wesentlich. Ferromagnetische Stoffe lassen sich zudem permanent magnetisieren.
- Paramagnetisch sind Stoffe, die eine Permeabilitätszahl von $\mu_r > 1$ besitzen und deren magnetische Suszeptibilität κ zwischen 0 und 1 liegt. Paramagnetische Stoffe verstärken ein äußeres Magnetfeld nur geringfügig
- Diamagnetisch sind Stoffe, die eine Permeabilitätszahl $\mu_r < 1$ aufweisen und deren magnetische Suszeptibilität κ zwischen -1 und 0 liegt. Diamagnetische Stoffe schwächen ein äußeres Magnetfeld geringfügig ab (Kuchling, 2011).
- Das Modell der weiß'schen Bezirke beruht auf der Annahme, dass ein ferromagnetischer Festkörper aus mikroskopischen Bereichen besteht, in denen

jeweils alle atomaren Momente durch eine starke Wechselwirkung zwischen den atomaren Momenten parallel ausgerichtet sind (Demtröder, 2013).

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Das Konzept eines physikalischen Feldes stellt für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle von Lernschwierigkeiten dar. Magnetische Phänomene bieten eine gute Einstiegsmöglichkeit, physikalische Felder im Unterricht zu thematisieren. Die Studierenden sollen Möglichkeiten kennen lernen, ein physikalisches Feld oder Ferromagnetismus altersgemäß für den Unterricht aufzubereiten. Dazu gehört vor allem das Modell der Elementarmagneten und Abwandlungen davon (mehr dazu siehe Leitfrage 4).

Im physikalischen Unterricht muss außerdem ausreichend zwischen magnetischen und elektrischen Dipolen differenziert werden, da die nicht ausreichende Unterscheidung von diesen Quellen von Lernschwierigkeiten sind.

Die Studierenden sollen die Entwicklung des Denkens über Magnetismus, welcher von Borges, Tecnico und Gilbert (1998) in fünf Modelle unterteilt wurde, kennenlernen.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Lernwirksamer physikalischer Unterricht muss sich am Vorwissen der Schülerinnen und Schüler orientieren, weshalb Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen im Bereich des Magnetismus wichtig sind. Einige der häufigsten Präkonzepte sind:

- Die Klebstoffvorstellung
- Magnetismus als Quelle der Gravitation
- Magnetische Pole üben Kräfte auf ruhende elektrische Ladungen aus
- Die begrenzte Reichweite der magnetischen Kraft/des magnetischen Feldes
- Vorstellungen zum Modell der Elementarmagnete
- Vorstellungen zu Magnetpolen
- Vorstellungen zu Feldern und deren Darstellung

Für eine genaue Beschreibung der soeben genannten Schülervorstellungen siehe Kapitel 4.5.2 sowie 4.5.3.

Außerdem stellen Forschungsergebnisse über die Wirksamkeit verschiedener Analogien und Elementarisierungen, welche im physikalischen Unterricht eingesetzt werden oder wurden, eine große Rolle im Zuge dieser Grundidee. Dazu gehören unter anderem das Elementarmagnetenmodell sowie das Magnet-Eisen-Modell.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Borges et al. (1998) beschreiben die Entwicklung des Denkens über den Magnetismus mittels fünf verschiedenen Modellen. Diese sind:

- **Modell A:** Die Anziehung bestimmter Gegenstände durch einen Magneten wird als wesentlich gesehen. Schülerinnen und Schüler, welche auf Basis dieses Modells argumentieren, können lediglich die Effekte eines Magneten beschreiben und diese Effekte auf den Magneten zurückführen.
- **Modell B:** Personen, welche nach diesem Modell argumentieren, bringen die Wirkung eines Magneten häufig mit der Gravitation in Verbindung gebracht. Die Polarität hingegen wird häufig mit der elektrischen Polarität in Verbindung gebracht. Außerdem haben diese Personen die Vorstellung, dass in einem bestimmten Areal um den Magneten unsichtbare Kräfte, jedoch nur auf bestimmte Gegenstände, wirken.
- **Modell C:** Ein wesentliches Merkmal dieses Modells ist die Annahme, dass die magnetische Polarität als Überschuss oder Mangel an elektrischer Ladung gesehen wird, was auf die Analogie zur elektrischen Wechselwirkung zurückzuführen ist.
- **Modell D:** Dieses Modell entwickelt sich vor allem nach dem Anfangsunterricht über Elektrizität und Magnetismus. Eine grundlegende Annahme dieses Modells ist, dass in einem ferromagnetischen Material durch den Magnetismus sehr kleine elektrische Dipole entstehen. Quelle für diese Vorstellung könnte eine unzureichende Differenzierung zwischen magnetischen und elektrischen Dipolen sein.
- **Modell E:** Dieses Modell ist äquivalent mit dem in der Physik akzeptierten Modell über Magnetismus.

Duit, Kraus und Rincke (2012) formulieren in einem Artikel einige Folgerungen für den Unterricht über den Magnetismus, welche aus vier zentralen Punkten bestehen.

- Vor allem im Bereich der Sekundarstufe II sollte forciert werden, dass alle Gegenstände mit einem magnetischen Feld wechselwirken. Die Einschränkung auf ferromagnetische Materialien wie Eisen, Kobalt und Nickel ist hier nicht sinnvoll.
- Im Sinne der ausreichenden Differenzierung zwischen magnetischem und elektrischem Feld ist eine Betonung des spezifischen Dipolcharakters von Magneten essentiell.
- Die magnetische Anziehung und Abstoßung ist in der heutigen Sicht als Nahwirkung und nicht als „instantane“ Fernwirkung zu deuten.
- Die Rolle von Elementarisierungen, vor allem des Elementarmagnetenmodells sowie des Feldlinienmodells muss ausreichend berücksichtigt werden. Modellbildung in der Physik setzt sehr abstraktes Denken voraus, was besonderer Berücksichtigung bedarf.

Eine Elementarisierungsmöglichkeit der weiß'schen Bezirke versucht das Elementarmagnetenmodell zu liefern, indem das wiederholte Zerteilen eines magnetisierten Gegenstands wiederum kleinere Magneten liefert. Diese „Elementarmagneten“ werden oft so dargestellt, dass sie sich entweder in einem gegeneinander ungeordneten oder parallel zueinander ausgerichteten Zustand befinden (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Elementarmagnetenmodell, links im unmagnetisierten, rechts im magnetisierten Zustand, übernommen von Leifi Physik (Internetquelle, siehe Literatur)

Rachel, Heran-Dörr und Waltner (2012) sehen in diesem Modell aus didaktischer Sicht mehrere Schwierigkeiten, welche im Folgenden angeführt werden:

- **Die vertikale Abstoßung der Elementarmagnete.** Betrachtet man die Elementarmagnete in einer angeordneten Ausrichtung, so würden sich diese Magneten entweder anziehen (in x-Richtung) oder abstoßen (in y- und z- Richtung).

Hees (2008) schlägt in ihrer Dissertation ein alternatives Modell vor, siehe Abbildung 14.

- Die Schwierigkeit der vertikalen Abstoßung wird in diesem Modell zwar verringert, jedoch lassen sich einige weitere Kritikpunkte finden, die in den folgenden Punkten dargestellt werden.
- **Visualisierung der Elementarmagnete.** Die Darstellung der Elementarmagnete als farbig markierte Stabmagnete legt nach Rachel et al. (2012) die Vorstellung nahe, dass Elementarmagnete direkt als quaderförmige Magnete beobachtet werden können, was wiederum das Verständnis des Modellaspekts erschweren kann. Allgemein sind Vermischungen von Modell- und Phänomenebene oft mit Lernschwierigkeiten verbunden.
- **Fehlende räumliche Fixierung der Elementarmagnete.** Eine weitere Problematik bei den Darstellungen in Abbildung 13 und Abbildung 14 stellt der Magnetisierungsvorgang dar. Bedingt durch die Quaderform und der räumlichen Anordnung der Elementarmagneten können sich diese nicht von einer ungeordneten zu einer geordneten Anordnung umsortieren. Hier lässt sich vor allem ein Widerspruch zu der grundlegenden Idee von atomaren magnetischen Momenten, die sich ortsfest ausrichten, finden.
- **Die Verwendung des Ausdrucks „elementar“.** Die Bezeichnung „elementar“ stellt einen starken Hinweis darauf dar, dass es sich dabei nicht um eine Modellvorstellung, sondern dass es sich hierbei tatsächlich um die kleinsten Bausteine handelt, im Gegensatz zu der physikalischen Auffassung von magnetischen Momenten.

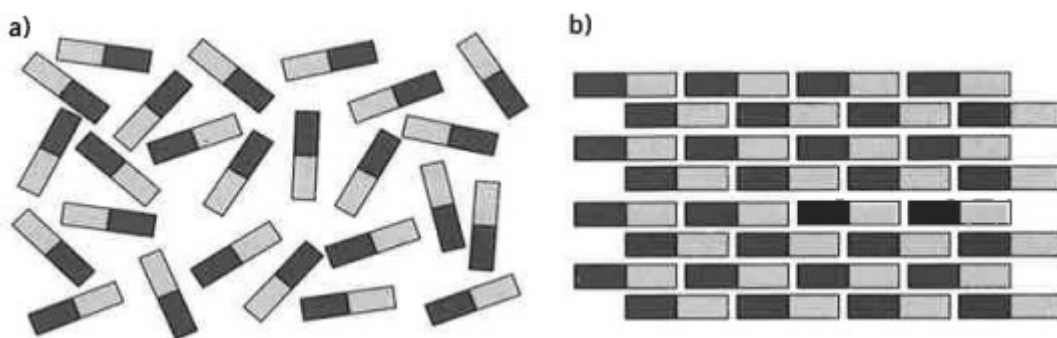


Abbildung 14: alternatives Modell nach Hees (2008), Abbildung aus Rachel et al. (2012)

Rachel (2012) schlägt in seiner Dissertation eine verbesserte Version des Elementarmagnetenmodells vor, welches er Eisen-Magnet-Modell genannt hat. In diesem Modell wurde sowohl die Bezeichnung als auch die Darstellung der Elementarmagneten abgeändert. Die Elementarmagneten werden hierbei als „Magnetchen“ bezeichnet, als Darstellungsmöglichkeit werden Pfeile verwendet, mit der Konvention, dass die Pfeilspitze den magnetischen Nordpol darstellt, siehe Abbildung 15.

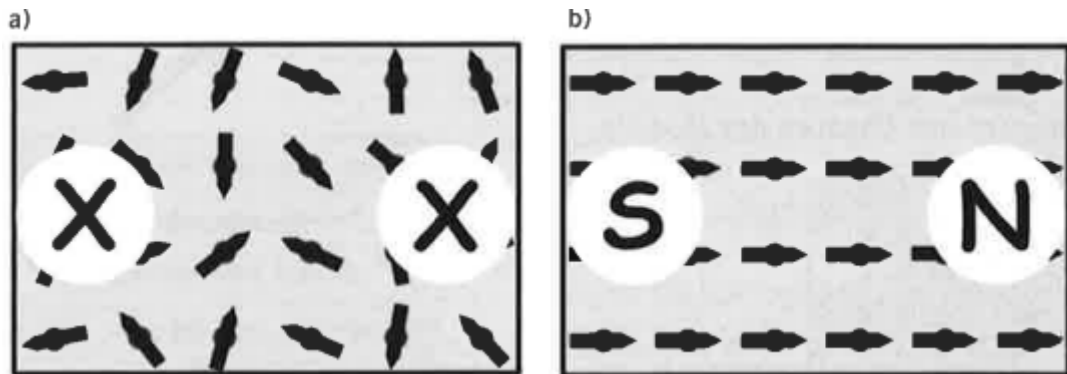


Abbildung 15: Visualisierung des Eisen-Magnet-Modell nach Rachel (2012)

Die räumliche Anordnung wird dabei als ortsfest und drehbar in einem zweidimensionalen Gitter visualisiert. Der im Zuge der Dissertation von Rachel entwickelte Lehrgang zeigte einen guten Lernerfolg, der Versuch einer kleinschrittiger angelegten Version konnte jedoch keinen höheren Lernerfolg erzielen.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen in Kleingruppen Arbeitsblätter für die Einführung in das Themengebiet des Magnetismus erstellen. Diese sollen als Basis die Plattform Sachunterricht praktisch und korrekt (SUPRA) nutzen.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Borges, A., Tecnico, C., & Gilbert, J. K. (1998). Models of magnetism. *International Journal of Science Education*, 20(3), 361–378.

Duit, R. (1989). Vorstellungen von Magnetismus. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Physik, Chemie*, 37(44), 4–5.

Duit, R., Kraus, M. E., & Rincke, K. (2012). Magnetismus im Physikunterricht.

Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik, 127, 4–9.

Hees, B. (2008). *Das Elementarmagneten-Modell im Physikunterricht am Gymnasium*. Universität Duisburg-Essen. Retrieved from http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20812/Hees_Diss.pdf

Ostersehl, D. (2012). Wie finden Zugvögel den richtigen Weg? *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 127, 36–42.

Rachel, A. (2012). *Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des Magnetismus. Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*. Ludwig-Maximilian Universität München.

Rachel, A., Heran-Dörr, E., & Waltner, C. (2012). Das Eisen-Magnet-Modell im Unterricht. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 127, 10–15.

Rachel, A., Wiesner, H., Heran-Dörr, E., & Waltner, C. (2009). Das “Eisen-Magneten-Modell” im Anfangsunterricht als Beispiel für die Entwicklung und Anwendung eines “gedanklichen Modells.” *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 9–15.

7.7 Der wechselseitige Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bildet die Grundlage für viele technische Anwendungen

Verknüpfte fachliche Grundideen

- Das Faraday'sche Induktionsgesetz besagt, dass eine induzierte Spannung U_{ind} gleich der negativen zeitlichen Änderung des magnetischen Kraftflusses durch eine Probespule ist. $U_{ind} = -\frac{d\phi_m}{dt}$
- Die Lenzsche Regel, welche besagt, dass die durch Induktion entstehenden Ströme, Felder und Kräfte stets den die Induktion einleitenden Vorgang behindern.
- Die erste Maxwell-Gleichung, welche besagt, dass ein magnetisches Feld, welches sich zeitlich ändert, ein elektrisches Wirbelfeld erzeugt. $rot(E) = -\frac{\partial B}{\partial t}$
- Magnetfelder werden nicht nur von Strömen erzeugt, sondern ebenfalls von zeitlich veränderlichen elektrischen Feldern. $rot(H) = j + \frac{\partial D}{\partial t}$

- Die Lorentzkraft, welche auf bewegte Ladungen in einem Magnetfeld wirkt.

$$F = q \cdot (v \times B)$$

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

Das Konzept der Induktion sowie der Lorentzkraft stellt für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle von Lernschwierigkeiten dar.

Die Studierenden sollen Möglichkeiten kennen lernen, das Konzept der Induktion mitsamt ihren Anwendungen altersgemäß zu elementarisieren und, im Zuge der didaktischen Rekonstruktion, Lernumgebungen zu den Themen Induktion, Lenzsche Regel, Lorentzkraft und Anwendungen zu gestalten.

Die Elektrodynamik in der Oberstufe bietet gute Anknüpfungsmöglichkeiten an die Mathematik, insbesondere nachdem im Mathematikunterricht Vektor- und Differentialrechnung besprochen wurde.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Viele physikalische Vorgänge lassen sich (mehr oder weniger gut) durch mathematische Modelle beschreiben, weshalb die Mathematik im Physikunterricht im Laufe der Sekundarstufe II eine immer größer werdende Bedeutung hat. So sollen die Schülerinnen und Schüler auf einer immer abstrakter werdenden Ebene argumentieren und fachlich kommunizieren können (Leisen, 2005).

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Geht man von konstruktivistischen Lerntheorien aus, so bildet das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler die Grundlage von neu erworbenem Wissen, weshalb Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen eine wichtige Rolle spielen. Für eine genauere Beschreibung dieser Schülervorstellungen siehe Kapitel 4.5.3.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Nach Rubitzko (2014) bildet eine Möglichkeit, die magnetische Flussdichte darzustellen, die Visualisierung als Flächendichte der Feldlinien. Hierbei ist allerdings kritisch anzumerken, dass viele Schülerinnen und Schüler die magnetischen Feldlinien mit dem magnetischen Feld an sich verwechseln, was bei dieser Analogie zu weiteren Schwierigkeiten führen kann.

Lebensweltliche Bezüge stellen im Physikunterricht einen wichtigen Bereich dar. Rubitzko (2014b) zeigt in einem Artikel verschiedene Möglichkeiten auf, aktuellere Themen als z.B. den Fahrraddynamo im Zuge der elektromagnetischen Induktion zu behandeln. Darunter sind zum Beispiel der Induktionsherd oder E-Gitarren. Aber auch Anwendungen im medizintechnischen Bereich, wie zum Beispiel die Tomographie oder MR lassen sich für den Schulunterricht aufbereiten.

Der von Muckenfuß & Walz (1997) entwickelte Unterrichtsgang zur Induktion sowie zur Funktionsweise des Transformators zeigt eine Möglichkeit auf, wie elektromagnetische Konzepte im Physikunterricht thematisiert werden können, im Vergleich mit GI 2 wird auch hier die Energieversorgung und –übertragung in den Vordergrund gerückt. Muckenfuß nennt im Zusammenhang mit der Versorgung der Bevölkerung mit Energie vor allem zwei Aspekte:

- Wie werden die gewaltigen benötigten elektrischen Energieströme erzeugt?
- Wie ist es möglich, elektrische Energieströme in der Größenordnung von mehreren Hundert Megawatt über große Entfernungen und mit geringem Verlust zu transportieren?

Leitfrage 5: Welche Schwierigkeiten können bei der Vermittlung dieser Grundidee für die Studierenden auftreten?

Fehlende Mathematik-Kenntnisse der Studierenden können Schwierigkeiten darstellen, vor allem für den Teil der Studierenden, die nicht Mathematik als ihr Zweitfach gewählt haben.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen als Hausübung zum Begriff der Induktion exemplarisch im Sinne der didaktischen Rekonstruktion eine fachliche Klärung sowie eine Elementarisierung durchführen, dabei sollen sie mit entsprechenden Artikeln aus Fachzeitschriften sowie physikalischen Fachbüchern arbeiten.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Barth, M. (2014). Induktion. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 143, 4–9.

Berge, O. E. (2007). Einstiege in das Thema “Transformator.” *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 18–21.

Berge, O. E., & Girwidz, R. (2007). Der Transformator. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 4–10.

Berge, O. E., & Lichtenstern, H. (2007). Unterrichten über den Transformator. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 11–17.

Claus, E., Kasper, L., & Mikelski-Seifert, S. (2012). Shake Your Light! *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 127, 24–30.

Heran-Dörr, E., Schwarze, H., & Wünscher, T. (2009). Unterricht Physik. Experimente-Medien-Modelle. Köln: Aulis Verlag

Erfmann, C., & Berger, R. (2015). Ein elementarer Zugang zur Induktion. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(2), 13–25.

Fösel, A. (2015). Induktives Laden. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(8), 26–29.

Muckenfuß, H. (2007). Vom Induktionsgesetz zum Transformator. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 25–29.

Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). KKöln: Aulis verlag.

Renner, A., & Huber, L. (2015). Experimente mit der Ladestation einer elektrischen Zahnbürste. *Praxis Der Naturwissenschaften*, 64(2), 5–12.

Rubitzko, T. (2014a). Elementarisierung der elektromagnetischen Induktion. *Naturwissenschaften Im Unterricht Physik*, 143, 14–17.

Rubitzko, T. (2014b). Weltraumseile, Rockmusik und Induktionsherd. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 143, 36–38.

Schwarze, H. (2005). Die Pole, das Feld und andere Schwierigkeiten. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 54(2), 2–7.

7.8 Das Verständnis des physikalischen Sehvorgangs bildet die Grundlage für weiteres Verständnis in verschiedenen Bereichen der Optik.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- Der Aufbau und die Funktionsweise des menschlichen Auges: Hier ist eindeutig zwischen dem physikalischen Teil des Sehprozesses und der Interpretation der empfangenen Daten zu unterscheiden (siehe Abbildung 1).

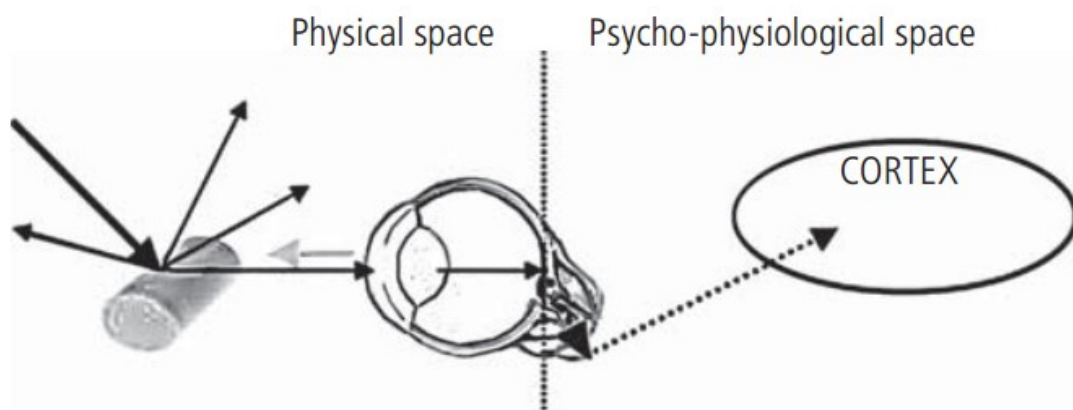


Abbildung 16: Der Sehprozess aufgeteilt in einen physikalischen und physiologischen Bereich, aus de Hosson und Kaminski (2007)

Der physikalische Sehprozess läuft über die Linse, welche an den Ziliarfäden aufgehängt ist. Durch Entspannen und Zusammenziehen des Ziliarmuskels kann so das Auge auf Gegenstände unterschiedlicher Entfernung akkomodieren. Die Interpretation erfolgt in der Retina, wobei hier zwei Typen von Rezeptorzellen vorhanden sind: Stäbchen (für das Sehen bei sehr geringer Lichtintensität

verantwortlich) sowie Zapfen (für Scharf- und Farbsehen verantwortlich). Wobei hier wiederum unter drei verschiedenen Zapfen-Pigmenten unterschieden werden muss. Diese Zapfenarten haben ihr Absorptionsmaximum jeweils bei 440 nm , 540 nm und 580 nm (Wiesner, Herdt, & Engelhardt, 1993).

- Geladene Teilchen einer Oberfläche werden durch das Einfallen von Licht, also einer elektromagnetischen Welle, durch das sich periodisch ändernde elektrische Feld zu Schwingungen angeregt. Dadurch strahlen diese Teilchen selbst elektromagnetische Wellen im sichtbaren Bereich ab. Dieses Konzept wird in der Physik Streuung von Licht genannt.
- Eine Lochkamera bildet jeden Punkt P eines Gegenstandes in eine nähere Umgebung seines Bildpunktes P' ab (blendet man die divergenten Lichtbündel einfach aus).

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

- Die Optik ist für Schülerinnen und Schüler ein interessantes Thema, welches aber trotzdem viele Lernhindernisse beinhaltet.
- Im konventionellen österreichischen Schulunterricht (vor allem in Schulbüchern) werden immer noch sehr viele Lehrgänge, Unterrichtskonzepte und/oder Sachstrukturen umgesetzt, die sich als lerntechnisch schwierig gezeigt haben.
- Bereits das Verständnis des Sehvorgangs stellt für viele Schülerinnen und Schülern eine Schwierigkeit dar.
- Die Studierenden sollen unterschiedliche Sachstrukturen für den Unterricht im Bereich der Optik kennen lernen.
- Im Kontext des menschlichen Auges sollen die Studierenden die Rolle von interessanten Kontexten im Physikunterricht kennenlernen.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Im Verlauf der Sekundarstufe I lässt sich eine deutliche Abnahme des Interesses der Schülerinnen und Schüler am physikalischen Unterricht feststellen. Eine Möglichkeit, diesem Interessensverlust entgegenzuwirken wird darin gesehen, physikalische Inhalte in interessante Kontexte zu verpacken. Die Studierenden sollen deshalb interessante Kontexte

kennenlernen (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007). Im Kontext Humanbiologie lässt sich hier zum Beispiel die Funktionsweise des Auges physikalisch beschreiben.

Wir Menschen nehmen rund 80 % aller Informationen über unsere Augen auf, was bedeutet, dass dieses Themengebiet eine außerordentliche Alltagsrelevanz für die Schülerinnen und Schüler aufweist. Die Studierenden sollen erkennen, dass Physikunterricht auch einen Teil zum allgemeinen Bildungsauftrag leisten kann und soll.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Die angehenden Lehrkräfte müssen über typische Vorstellungen, mit denen Schülerinnen und Schüler in den physikalischen Unterricht der Sekundarstufe I kommen, Bescheid wissen. Deshalb stellen vor allem Forschungsergebnisse über Schülervorstellungen im Bereich der Optik wichtige Faktoren da. Typische Vorstellungen sind zum Beispiel:

- Licht als strömende Substanz
- Vorstellungen zur Reichweite des Lichts
- Vorstellungen zum physikalischen Sehvorgang
- Vorstellungen zur Streuung und Reflexion des Lichts an Oberflächen

Um dem Absinken des Interesses am physikalischen Unterricht entgegenzuwirken, sind auch Forschungsergebnisse der Interessensforschung und interessante Kontexte relevant, wie zum Beispiel die IPN-Interessenstudie (Muckenfuß, 1995) oder die ROSE-Studie (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007).

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Die Studierenden sollen wichtige Lehrgänge und Unterrichtskonzeptionen zum Anfangsunterricht im Bereich der Optik kennen, die empirisch überprüft worden sind. Dazu gehört zum Beispiel der von Haagen-Schützenhöfer (2015) entwickelte Lehrgang, welcher auf der Unterrichtskonzeption von Wiesner, Herdt und Engelhardt (1993) basiert.

Dieses Unterrichtskonzept sieht vor allem zwei Ansätze als zentral an: Das Sender-Streuungs-Empfänger Konzept sowie das Nachverfolgen der Wege des Lichts von der Lichtquelle bis hin zum Beobachter oder zur Beobachterin. Dieses Unterrichtskonzept unterscheidet sich

hinsichtlich seiner Sachstruktur von den in Österreich gängigen Unterrichtsmaterialien, als dass die Farblehre bereits als zweites Kapitel nach dem Sehen von selbstleuchtenden und beleuchteten Gegenständen besprochen wurde. Zur Farblehre im Zuge dieses Lehrgangs siehe GI 10. In diesem Lehrgang werden vor allem die einzelnen Aspekte der Lichtausbreitung aufgearbeitet, die für viele Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten darstellen. Darunter fallen folgende Aspekte, welche die in Frage 4 genannten Schülervorstellungen adressieren sollen:

- Licht strömt
- Licht strömt schnell
- Licht strömt geradlinig
- Licht strömt immer weiter

Außerdem ist Wissen über interessante Kontexte aus den oben genannten Gründen wichtig. Die Rose-Studie (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007) zeigt unter anderem auf, dass humanbiologische Kontexte sich als besonders interessant sowohl für Mädchen als auch Burschen herausstellte. Im Rahmen der Funktionsweise des menschlichen Auges und der menschlichen Wahrnehmung von Licht kann dieser interessante Kontext aufgegriffen werden.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Die Studierenden sollen über ihre eigenen Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik reflektieren und diskutieren. Die Lehrveranstaltungsinhalte müssen an diesen Vorerfahrungen der Studierenden anknüpfen. Bei fehlendem Fachwissen kann der oder die LV-LeiterIn auf entsprechende Artikel verweisen.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen unterschiedliche Texte (aus Schulbüchern, aus dem Lernmaterial von Haagen-Schützenhöfer (2015)) auf die verwendete Sprache hin analysieren. Dabei soll das Augenmerk auf die Leitlinien sprachsensiblen Physikunterrichts gelegt werden. Die analysierten Textpassagen werden schließlich im Plenum diskutiert.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Berge, O. E. (2000). Das Auge im Optik-Unterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 56, 10–14.

Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? *Plus Lucis*2, (3), 2–8.

Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Einführungsunterricht in die Optik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 5–13.

Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 13, 71–86.

Hopf, M. (2015). Unterrichtsideen zur Sender - Empfänger - Streu - Vorstellung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 14–17.

7.9 Lichtstrahlen sind ein Modell, mit dem sich optische Phänomene gut beschreiben lassen, das jedoch auch lerntechnische Grenzen für Schülerinnen und Schüler aufweist.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

- Das „Fleck zu Fleck“-Abbildungsschema basiert auf folgendem Modell: Ein Gegenstand, der abgebildet werden soll, wird in eine endliche Anzahl von Leuchtflecken (oder auch „Punkten“) zerlegt. Von jedem dieser Flecken werden divergente Lichtbündel in alle Richtungen abgestrahlt. Eine Abbildung eines Gegenstandes setzt voraus, dass eine bijektive Zuordnung zwischen Leucht- und Bildfleck möglich ist (Wiesner et al., 1993).
- An der Grenzfläche zwischen zwei Medien werden die Lichtstrahlen nach dem Reflexionsgesetz reflektiert und gemäß dem Snelliusschen Brechungsgesetz gebrochen.

- Der ebene Spiegel erzeugt eine ideale Abbildung in dem Sinn, dass jeder Punkt des Raumes in einen anderen Punkt abgebildet wird, durch das Modell.
- Für die Abbildungen in dünnen Linsen gilt folgende Gleichung: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, wobei a für den Abstand des Objekts zur Linse, b für den Abstand des Bildes zur Linse sowie f für die Brennweite steht. (Demtröder, 2013)
- Diese formulierten Grundideen zu den Abbildungen durch Linsen gelten nur für den Fall achsennaher Strahlen. Bei realen Abbildungsvorgängen kommt es daher zu Abbildungsfehlern. Die wichtigsten Abbildungsfehler sind die sphärische Aberration sowie die chromatische Aberration.
- Unter sphärischer Aberration versteht man den Effekt, dass Randstrahlen eines Parallelbündels bei der Abbildung durch eine Linse stärker gebrochen werden als jene in der Nähe des Mittelpunkts der Linse. Diese Verschiebung des Brennpunkts geschieht aber nicht nur längs, sondern auch quer. So ergibt sich als zugehörige Queraberration eine kleine Kreisschreibe auf einem Schirm durch den eigentlichen Brennpunkt.
- Unter chromatischer Aberration wird jener Abbildungsfehler verstanden, der durch Dispersion entsteht. Bei der Abbildung eines weißen Punktes erhält man auf einem Schirm in der Brennebene konzentrische Ringe mit unterschiedlichen Farben (Wiesner et al., 1993).

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

- Die Abbildungsvorgänge in Linsen sowie die Konzepte Brechung und Reflexion stellen für viele Schüler und Schülerinnen Lernschwierigkeiten dar.
- Die Konzepte Sonnenschatten und farbige Schatten stellen Lernhindernisse für Lernende dar.
- Die Verknüpfung der subjektiven Wahrnehmung mit der physikalischen Sichtweise spielt eine zentrale Rolle im Optikunterricht, auch wenn es darum geht, optische Phänomene mit dem Modell der Lichtstrahlen zu erklären.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Das übermäßige Betonen von Mittelpunkt- und Brennpunktstrahlen kann zu Lernschwierigkeiten bei Schülerinnen und Schülern führen, weshalb die Studierenden für eine übermäßige Verwendung dieser sensibilisiert werden sollen. Denn das fokussieren auf Mittelpunkt- und Brennpunktstrahlen vermittelt eine verzerrte und mit der Beobachtung derartiger Phänomene nicht in Einklang zu bringende Auffassung des tatsächlichen Abbildungsvorganges bzw. der Funktionsweise einer Linse.

Physikalischer Unterricht muss sich am Vorwissen der Schülerinnen und Schüler orientieren, weshalb die Studierenden Kenntnisse über häufige Schülervorstellungen benötigen.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Zusätzlich zu den in Gl 8 genannten Schülervorstellungen kommen Forschungsergebnisse über jene Präkonzepte hinzu, welche mit der Abbildung in Linsen und Spiegeln in Verbindung gebracht werden können. Typische Vorstellungen sind hier zum Beispiel:

- Der holistische Abbildungsvorgang
- Die Linsenmitte als besonderer Punkt
- Vorstellungen zum Spiegelbild

Für eine genaue Beschreibung der soeben genannten Schülervorstellungen siehe Kapitel 4.5.4.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Eine empirisch erprobte Unterrichtskonzeption, welche auch die Themenbereiche Spiegelbilder, Abbildungsprozesse und Randstrahlendarstellung beinhaltet ist der bereits in Gl 8 vorgestellte Lehrgang von Haagen-Schützenhöfer (2015). Im Zuge dieses Lehrgangs wird Schatten als Zone definiert, an welchen aufgrund der geradlinigen Ausbreitung von Licht kein oder nur wenig Licht gelangt. Dabei werden, im Sinne einer ausreichenden Differenzierung von Schatten als zweidimensionales Abbild, der Schattenraum und das Schattenbild subsummiert. Dieser Aspekt des dreidimensionalen Schattenraums wird in vielen österreichischen Schulbüchern außen vorgelassen. Weiters hervorzuheben ist, dass auf die

Verwendung von drei ausgezeichneten Strahlen größtenteils verzichtet wird, oder darauf ausdrücklich hingewiesen wird, dass es sich tatsächlich nur um ein Modell handelt. Stattdessen werden für die Visualisierung von Abbildungsvorgängen meist Strahlenbündel verwendet, welche Schülervorstellungen entgegenwirken sollen.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Die Studierenden sollen über ihre eigenen Lernschwierigkeiten im Bereich der geometrischen Optik reflektieren und diskutieren. Die Lehrveranstaltungsinhalte müssen an diesen Vorerfahrungen der Studierenden anknüpfen. Bei fehlendem Fachwissen kann der oder die LV-LeiterIn auf entsprechende Artikel verweisen.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen in Gruppen zu je drei Personen dieselbe Unterrichtseinheit des Unterrichtskonzeptes von Haagen-Schützenhöfer (2015) vorbereiten und Auszüge davon in der Lehrveranstaltung vorstellen. Die Studierenden sollen die Beiträge jeweils gegenseitig bewerten und über die Vor- und Nachteile sowie die unterschiedlichen Umsetzungsmöglichkeiten dieses Lehrgangs diskutieren.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Dvorak, L., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Eine optische Bank zum Selbermachen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 26–30.

Friege, G., & Rode, H. (2015). Optische Blackbox-Experimente im Anfangsunterricht. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 54(5), 38–42.

Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Einführungsunterricht in die Optik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 5–13.

Planinsic, G., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Sonnenschatten und farbige Schatten. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 21–25.

Wenzel, M., & Wilhelm, T. (2015). Simulationen zu Anwendungen der Totalreflexion. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 34–37.

7.10 Farblehre ist ein wichtiger Teilinhaltsbereich der Optik, der im gängigen Unterricht oft nur auf alles oder nichts Prozesse und Malkastenregeln reduziert wird.

Verknüpfte fachliche Grundideen:

In einem Artikel von Haagen-Schützenhöfer et al. (2014) wurden bereits die wichtigsten Ideen in Bezug auf weißes Licht identifiziert:

- Weißes Licht setzt sich aus allen Wellenlängen und Farben des sichtbaren Spektrums zusammen.
- Die Energieverteilung entlang des Frequenzspektrums muss dabei gleichmäßig sein.
- Farbwahrnehmung ist die subjektive physiologische Reaktion des Menschen auf visuelle Reize verschiedener Frequenzbereiche.
- Viele unterschiedliche Frequenzverteilungen erscheinen als weiß, wenn die menschlichen, physiologischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

- Im Zuge der Konzeption eines Unterrichtslehrgangs zur Optik in der Sekundarstufe I von Haagen-Schützenhöfer (2015) hat sich in Akzeptanzbefragungen herausgestellt, dass es sinnvoll ist, bereits sehr früh im Optikunterricht über die Farbigkeit von Körpern zu sprechen, außerdem ist ein gängiger Zugang über „Malkastenregeln“ nicht zielführend (Hirn & Viennot, 2000).
- Die Farbenlehre stellt einen wichtigen Bereich des Optikunterrichts dar, welcher in konventionellen Lehrgängen oft wenig Beachtung findet.
- Die Studierenden sollen unterschiedliche Sachstrukturen für den Unterricht im Bereich der Optik kennen lernen.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

In vielen Schulbüchern lässt sich keine Definition von weißem Licht finden, die Rolle der Beleuchtungsfarbe wird ebenfalls oft vernachlässigt. Die Studierenden sollen ein Bewusstsein dafür bekommen, welche Implikationen fachdidaktische Forschung für den Unterricht bringt.

Die Studierenden sollen außerdem Möglichkeiten kennen lernen, sich über verschiedene Unterrichtskonzepte und Lehrgänge zu informieren und dessen Vor- und Nachteile abwägen können.

Frage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Betrachtet man Lernen als konstruktivistischen Prozess, so müssen die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler in Betracht gezogen werden. Aus diesem Grund sind Forschungsergebnisse über Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler essentiell. Zusätzlich zu den in GI 8 und GI 9 aufgezählten Vorstellungen sind für diese Grundidee außerdem Vorstellungen über die Farbenlehre und das Konzept „weißes Licht“ wichtig. Einige wichtige Vorstellungen zu diesem Bereich sind:

- Die Ablehnung der Zusammensetzung von weißem Licht aus verschiedenen Farben
- Die „Malkastenvorstellung“
- Körper besitzen eine Eigenfarbe
- Farbe entsteht durch das Auftreffen von Licht

Für eine genaue Beschreibung der soeben genannten Schülervorstellungen siehe Kapitel 4.5.4.3.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Aufbauend auf dem in GI 8 und GI 9 vorgestellten Lehrgang sollen die Studierenden auch eine alternative Unterrichtskonzeption zum Themenbereich Farblehre kennenlernen. Im Optik-Lehrgang von Haagen-Schützenhöfer (2015) werden als zweiter Bereich farbige Körper thematisiert, wobei hier auch Wert auf die Rolle der abgestrahlten Lichtsorte oder Beleuchtungsfarbe gelegt wird. Wurde das Thema Energie bereits im Physikunterricht besprochen, werden in diesem Unterrichtskonzept auch Möglichkeiten aufgezeigt, Streuprozesse, selektive Absorption und Re-Emission zu behandeln.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen die Sachstruktur in Bezug auf den Anfangsoptikunterricht in gängigen österreichischen Schulbüchern sowie im Unterrichtskonzept von Haagen-Schützenhöfer (2015) analysieren. Dabei sollen die Unterschiede aufgearbeitet und im Plenum diskutiert werden.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Haagen-Schützenhöfer, C. (2015a). Einfache Experimente zum Thema Farbe im Optikanfangsunterricht. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 14–17.

Haagen-Schützenhöfer, C. (2015b). Einführungsunterricht in die Optik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 5–13.

Haagen-Schützenhöfer, C., Langer, S., Hiller, R., Klingenböck, A., Rohringer, C., Franz, G., ... Wien, U. (2014). Vorstellungen zu weißem Licht (pp. 1–6). Frankfurt. Retrieved from <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/518/663>

Hirn, C., & Viennot, L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8. *International Journal of Science Education*, 22(4), 357–384.

Planinsic, G., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Sonnenschatten und farbige Schatten. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 21–25.

Reichel, E. (2015). Ist Blau und Gelb Grün, Rot und Grün Gelb? *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 31–33.

Viennot, L., & de Hosson, C. (2012a). Beyond a dichotomic approach, the case of colour phenomena. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1315–1336.

Viennot, L., & de Hosson, C. (2012b). Colour Phenomena and Partial Absorption. Retrieved May 13, 2016, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.687.5245&rep=rep1&type=pdf>

Viennot, L., & de Hosson, C. (2015). From a Subtractive to Multiplicative Approach: A

concept-driven interactive pathway on the selective absorption of light. *International Journal of Science Education*, 37(1), 1–30.

7.11 Das elektromagnetische Spektrum als Vereinheitlichung der Elektrodynamik und Optik bietet mehr als den sichtbaren Bereich.

Verknüpfte fachliche Grundideen

Die mit Strahlung verknüpften fachlichen Grundideen wurden in einem Artikel von Plotz (2016) dargestellt. Dabei wurden folgende vier wichtige Ideen gefunden:

- Elektromagnetische Strahlung wird anhand des Spektrums klassifiziert und geordnet. Jede Strahlungsart ist dort vertreten.
- Elektromagnetische Strahlung benötigt für die Ausbreitung kein Medium. Jede Strahlung breitet sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- Elektromagnetische Strahlung ist omnipräsent. Wir leben in einem „Strahlungsbad“. Jede Strahlungsart umfließt uns in unterschiedlicher Intensität.
- Elektromagnetische Strahlung transportiert Energie und wechselwirkt in unterschiedlicher Weise mit Materie.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

- Das Konzept der (elektromagnetischen) Strahlung stellt für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle von Lernschwierigkeiten dar.
- Die Studierenden sollen Möglichkeiten kennen lernen, Strahlung im Unterricht zu thematisieren und auf die unterschiedlichen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums (UV-Strahlung, Infrarot-Strahlung, ...) eingehen können.
- Elektromagnetische Strahlung hat eine hohe Alltagsrelevanz für das Leben der Schülerinnen und Schüler.
- Das Konzept der elektromagnetischen Strahlung bildet die Vereinheitlichung zweier großer Themenbereiche im Physikunterricht: der Optik und der Elektrodynamik.

- Das Thema Strahlung ist ein vielseitiges Themengebiet, welches sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II thematisiert werden kann.

Leitfrage 2: Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Physikalischer Unterricht soll Alltagsrelevanz aufweisen. Das Themengebiet der elektromagnetischen Strahlung bietet hier viele Anknüpfungspunkte, so basiert beispielsweise das gesamte Telekommunikationsnetz auf elektromagnetischer Strahlung. Weiters finden sich im Bereich der bildgebenden Verfahren (MRT, fMRI) sowie im Flugverkehr viele Anwendungen.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Auch im Bereich der (elektromagnetischen) Strahlung spielen Forschungsergebnisse im Bereich der Schülervorstellungen eine große Rolle. Zu typischen Vorstellungen gehören zum Beispiel:

- Strahlung ist etwas Künstliches
- Strahlung ist etwas Anderes als Licht
- Elektrische Geräte sind immer Quellen von Strahlung
- Strahlung ist eine der Ursachen für Umweltschäden
- Strahlung ist gleich strahlende Partikel

Für eine genaue Beschreibung dieser Schülervorstellungen siehe Kapitel 4.5.5.

Die empirisch erprobten Unterrichtskonzepte zum Thema Infrarot-, UV-, Röntgen- und Mikrowellenstrahlung sind hier wichtig (Haas, Hollenthoner, Schöfl, & Plotz, 2016; Krutzler, Petti, Valda, & Plotz, 2016; Lieb, Painsi, Schwarz, Zloklikovits, & Plotz, 2016; Neunteufel, Handler, Müllauer, Rotschnik, & Plotz, 2016).

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Thomas Plotz (2016) weist auf einige Implikationen für konsistente Einführung elektromagnetischer Strahlung im Physikunterricht hin. Als Tipp nennt er dabei die

Verwendung des Begriffs Infrarotstrahlung anstatt Wärmestrahlung, um eine korrekte Einordnung dessen in das elektromagnetische Spektrum zu ermöglichen. Weiters weist er darauf hin, den Begriff der radioaktiven Strahlung im Unterricht zu vermeiden. Stattdessen sollen die Strahlungsarten (alpha, beta, gamma) einzeln benannt werden, um besser unterscheiden zu können, ob es sich um Teilchen- oder elektromagnetische Strahlung handelt.

Die in der Ausgabe „Strahlung“ der Praxis der Naturwissenschaften Physik (2) 65 vorgestellten Unterrichtskonzepte zum Thema Strahlung. In diesem Heft werden drei empirisch erprobte Möglichkeiten aufgezeigt das Thema Strahlung im Physikunterricht zu thematisieren. Diese vier Unterrichtskonzepte basieren alle auf dem Konzept des Cross-Age-Peer-Tutoring, unter welcher eine Unterrichtsmethode verstanden wird, bei denen Lernende einander beim Lernen helfen (Korner & Plotz, 2016). Der Zusatz Cross-Age bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Methode über Altersstufen hinweg stattfindet. Diese vier Unterrichtskonzepte sollen Schülerinnen und Schüler mit den Themengebieten Infrarotstrahlung, UV-Strahlung, Röntgenstrahlung und Mikrowellenstrahlung vertraut machen.

Leitfrage 5: Welche Schwierigkeiten können bei der Vermittlung dieser Grundidee für die Studierenden auftreten?

Aufgrund der Erfahrungen der Studierenden aus ihrem eigenen Physikunterricht kann den Studierenden die Relevanz des Themas Strahlung für den physikalischen Unterricht sowie für den Alltag nicht bewusst sein.

Leitfrage 6: Wie kann die Lehrveranstaltungsleitende Person die auftretenden Vorstellungen und Schwierigkeiten adressieren?

Die Studierenden sollen sich ihrer eigenen Vorstellungen zum Thema Strahlung mittels der von Neumann und Hopf (2011) verwendeten Methode (die Schülerinnen und Schüler wurden dabei gebeten, eigenständige Zeichnungen zum Thema Strahlung zu erstellen) bewusst werden und außerdem Möglichkeiten kennenlernen, die Präkonzepte ihrer eigenen zukünftigen Schülerinnen und Schüler zu erfassen.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen eines der in Frage 4 vorgestellten Unterrichtseinheiten (Peer-Tutoring) in der Lehrveranstaltung durchführen und anschließend über die Durchführungsmöglichkeiten im Sekundarstufe I-II übergreifenden Unterricht diskutieren und reflektieren.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Haas, V., Hollenthoner, F., Schöfl, F., & Plotz, T. (2016). Infrarotstrahlung - SchülerInnen sehen "rot." *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 11–17.

Korner, M., & Plotz, T. (2016). Cross-Age Peer Tutoring. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 9–10.

Krutzler, T., Petti, P., Valda, A., & Plotz, T. (2016). Mikrowellen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 33–36.

Lieb, D., Painsi, J., Schwarz, K., Zloklikovits, S., & Plotz, T. (2016). Unglaublich Vielseitig! *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 24–32.

Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff "Strahlung"? *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 17.

Neunteufel, C., Handler, T., Müllauer, C., Rotschnik, M., & Plotz, T. (2016). Röntgenstrahlung - Ein Werkzeug der medizinischen Diagnostik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 18–23.

Plotz, T. (2016). Handystrahlung: Wie gefährlich ist sie jetzt wirklich? *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 37–39.

Plotz, T. (2016). Strahlung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 6–8.

7.12 Die verschiedenen Modelle des Lichts (Licht als Welle, Licht besteht aus Teilchen) bieten erste Einblicke in quantenmechanische Phänomene.

Verknüpfte fachliche Grundideen

- Sichtbares Licht ist eine elektromagnetische Welle im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm.
- Mithilfe der Wellenoptik lassen sich viele Eigenschaften des Lichts erklären, wie zum Beispiel Interferenz, Beugung und Polarisation.
- In der Quantenmechanik wird Licht aus Photonen aufgebaut gesehen. Photonen gehören zur Familie der Eichbosonen (da sie Vermittler der elektromagnetischen Wechselwirkung sind), besitzen eine Ruhemasse von $m=0$ und breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Leitfrage 1: Welche fachdidaktischen und fachlichen Problemstellungen und Konzepte sollen die Studierenden bezogen auf diese Grundidee kennen lernen?

- Die Beschreibung des Lichts mit unterschiedlichen Modellen (Licht als Welle, Licht als Teilchen) bietet gute Anknüpfungspunkte an die Quantenmechanik.
- Die Studierenden sollen den Modellcharakter physikalischer Konzepte erkennen.
- Viele Schülerinnen und Schüler sehen physikalische Modelle als eine „echte“ Beschreibung der Natur. Die Notwendigkeit verschiedener Modelle für die Beschreibung von Licht bietet eine gute Möglichkeit, den Modellcharakter der Physik zu thematisieren.
- Die Studierenden sollen Unterrichtskonzepte zum Thema Licht in der Quantenmechanik kennenlernen.

Leitfrage 3: Welche fachdidaktischen Forschungsergebnisse (Sachstrukturen, Schülervorstellungen, Lernhindernisse, ...) sind bezogen auf diese Grundidee relevant?

Um lernwirksamen Physikunterricht gestalten zu können, müssen die zukünftigen Lehrkräfte über die wesentlichen Schülervorstellungen Bescheid wissen, für eine genaue Beschreibung der Schülervorstellungen im Bereich der Wellenoptik siehe Kapitel 4.5.4.4 und 4.5.6.

Leitfrage 4: Welches zusätzliche Wissen (Lehrgänge, Darstellungsformen, ...) benötigen die angehenden Lehrkräfte zur Gestaltung von Lernumgebungen?

Neue Medien spielen eine immer größer werdende Rolle im physikalischen Unterricht. Da sich Experimente im Bereich der Quantenmechanik nur sehr selten im Unterricht realisieren lassen, bietet es sich hier an diverse Simulationen im Unterricht einzusetzen.

Die Plattform PHET bietet Möglichkeiten zur Visualisierung von quantenmechanischen Phänomenen zum Thema Licht. Darunter finden sich folgende Simulationen:

- Eine Simulation zur Interferenz von Photonenwellen, aufrufbar unter <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/quantum-wave-interference>
- Eine Simulation zur Interferenz von Lichtwellen, aufrufbar unter <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/wave-interference>.
- Eine Simulation zum photoelektrischen Effekt, aufrufbar unter <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/photoelectric>.

Auf der Plattform LEIFI lassen sich ebenfalls Simulationen finden:

- Zum Thema Beugung und Interferenz, aufzurufen unter <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/beugung-und-interferenz/versuche>.
- Zum Thema Quantenobjekt Photon: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-photon/versuche>.

Leitfrage 7: Wie kann der Lernerfolg der Studierenden bei der Vermittlung dieser Grundidee evaluiert und sichergestellt werden (Lernprodukte, formatives Assessment, ...)?

Die Studierenden sollen in Kleingruppen Unterrichtseinheiten zum Themenbereich dieser Grundidee entwerfen, wobei die in Frage 4 beschriebenen Simulationen in der Unterrichtseinheit Anwendung finden sollen. Die Studierenden sollen anschließend die Konzepte gegenseitig bewerten und diskutieren.

Leitfrage 8: Welche Literatur wird in Zusammenhang mit dieser Grundidee empfohlen?

Müller, R., & Wiesner, H. (n.d.). Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. Retrieved April 4, 2016, from http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~milq/kap1/images/Lehrtext_milq.pdf

8. Planung von Lehrveranstaltungseinheiten

In diesem Kapitel werden drei Einheiten der Lehrveranstaltung *Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik* genauer vorgestellt. Diese Lehrveranstaltung ist im Ausmaß von drei Semesterstunden im Curriculum für das Bachelor-Lehramtsstudium geplant (weshalb die Lehrveranstaltungseinheiten für eine Zeit von 135 Minuten exklusive Pause geplant wurden), die Teilnehmerzahl ist mit 20 Studierenden angesetzt. Diese geplanten Lehrveranstaltungseinheiten bilden einen Vorschlag für die reale Umsetzung in einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik.

In den ersten Teilen der Planung werden die wichtigsten Grundideen, „learning outcomes“ sowie mögliche Vorstellungen der Studierenden zu den jeweiligen Themen erarbeitet. Der zweite Teil beinhaltet einen Raster des Einheitenablaufes.

8.1 Lehrveranstaltungseinheit zu Analogien und Darstellungsformen im Physikunterricht zu den fachlichen Themenbereichen Elektrizität und Magnetismus

Als Inhalt dieser Einheit sind zwei große Bereiche von Relevanz. Einerseits sollen die Studierenden die wichtigsten Schülervorstellungen in Bezug auf die elementare Elektrizitätslehre sowie zu Magnetismus und Feldern kennenlernen. Andererseits sollen die wichtigsten Analogien und Darstellungsformen, die zurzeit im Physik-Anfangsunterricht der Sekundarstufe I eingesetzt werden oder eingesetzt werden können, identifiziert werden. Außerdem soll die Lernwirksamkeit dieser Analogien und Darstellungsformen auf Basis der vorhandenen fachdidaktischen Forschung analysiert werden.

8.1.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit

Schlüsselbegriffe der Lehrveranstaltungseinheit:

Schülervorstellungen in der elementaren Elektrizitätslehre (siehe Kapitel 4.5.1)

Schülervorstellungen im Bereich des Magnetismus (siehe Kapitel 4.5.2)

Schülervorstellungen zu physikalischen Feldern (siehe Kapitel 4.5.2.2)

Analogien und Darstellungsformen im Physikunterricht

Was sollen die Studierenden am Ende der Lehrveranstaltungseinheit wissen/können?

In Bezug auf diese Frage ist natürlich anzumerken, dass die Studierenden die im Folgenden formulierten Kompetenzen im Laufe einer Lehrveranstaltungseinheit aufgrund der kurzen Interventionsdauer nur basal erreichen können. Jedoch bildet diese Einheit nur einen Mosaikstein der gesamten Kompetenzentwicklung, sodass sich im Laufe der Lehrveranstaltung eine langfristige Intervention ergibt.

- Die Studierenden sind mit den wichtigsten Schülervorstellungen im Bereich der elementaren Elektrizitätslehre, Magnetismus und zu physikalischen Feldern vertraut.
- Die Studierenden erkennen die Rolle von Schülervorstellungen als Anknüpfungspunkte im physikalischen Unterricht.
- Die Studierenden sind mit den Elementarisierungs-Kriterien bekannt.
- Die Studierenden erkennen die Rolle von Analogien und Darstellungsformen für Lernprozesse im Physikunterricht.
- Die Studierenden kennen die wichtigsten Analogien und Darstellungsformen im Bereich der elementaren Elektrizitätslehre und Magnetismus.
- Die Studierenden können diese Analogien und Darstellungsformen kritisch betrachten und bewerten.

Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Nach Magnusson et al. (1999) ist die Kenntnis über Darstellungsformen und Analogien ein Teil des PCK von Physiklehrkräften. Nicht adäquate Elementarisierungen können Schülervorstellungen festigen oder neue entstehen lassen, ebenso können falsch eingesetzte

oder angewandte Analogien und Darstellungsformen Quellen von Lernschwierigkeiten darstellen.

Elementare Grundideen:

Die hier vorgestellten Grundideen leiten sich aus den beabsichtigten Learning-Outcomes ab.

- Schülervorstellungen und Präkonzepte bilden den Ausgangspunkt für lernwirksamen physikalischen Unterricht.
- Schülervorstellungen stimmen oft nicht mit der in der Physik akzeptierten Sichtweise überein.
- Es ist nicht zweckmäßig, die Vorstellungen, mit denen Schülerinnen und Schüler in den physikalischen Unterricht kommen, zu überschreiben oder gar auszulöschen. Fachdidaktische Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass es prinzipiell gar nicht möglich ist, diese Vorstellungen zu ersetzen.
- Es gibt eine Reihe von Analogien und Darstellungsformen, die empirisch erprobte Wirksamkeit zeigen, so zum Beispiel das Stäbchenmodell (siehe Kapitel 7.1), das Fahrradkettenmodell (siehe Kapitel 7.2) oder das Eisen-Magnet-Modell (siehe Kapitel 7.3).
- Analogien und Darstellungsformen, welche nicht adäquat elementarisiert wurden (nicht fachgerecht, nicht anschlussfähig oder nicht schülergemäß) können zu Lernschwierigkeiten im Physikunterricht führen. Beispiele hierfür wären das Rucksackmodell (siehe Kapitel 7.2) oder das Elementarmagnetenmodell (siehe Kapitel 7.3).

Mit welchen Vorstellungen der Studierenden ist bei diesem Thema zu rechnen?

- Die Studierenden besitzen möglicherweise ähnliche Vorstellungen über fachliche Konzepte wie Schülerinnen und Schüler.
- Wenn Studierende realisieren, dass ihre eigenen Vorstellungen, welche sie sich in ihrem eigenen Physikunterricht und ihrem bisherigen Studium gebildet haben, nicht mit fachlich angemessenen Konzepten übereinstimmen (z.B. die Differenzierung von Stromstärke und Spannung, die Wirksamkeit von Analogien etc.) kann dies Frustration auslösen oder zu fehlender Akzeptanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse führen.

- Die Studierenden können unangemessene Vorstellungen über das Lernen und Lehren von Physik besitzen, dies beinhaltet Vorstellungen über die konstruktivistische Sicht des Lernens sowie über Konzeptwechsel und Konzeptwechselstrategien.

8.1.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit

Zeit	LV-Leiteraktivität	Studierendenaktivitäten
9:00-9:25	Die Studierenden sollen sich ihrer Vorstellungen bewusst werden. Die LV-leitende Person teilt die Tests aus.	Individuelles Ausfüllen des Tests zum Verständnis in der E-Lehre von Urban-Woldron und Hopf (2012).
9:25-9:40	Präsentation der Musterantworten zum Test und fallweiser Vergleich mit den Ergebnissen von insgesamt 422 SchülerInnen im Alter von ca. 15 Jahren (Urban-Woldron & Hopf, 2012).	Diskussion der unterschiedlichen Antworten/Vorstellungen der Studierenden.
9:40-9:50	Input-Sequenz zur Rolle von Schülervorstellungen mittels Ausschnitten des Videos „a private universe“ (aufzurufen unter https://www.learner.org/resources/series28.html#)	Die Studierenden sehen sich die Videoausschnitte an.
9:50-10:00	Input-Sequenz zu Schülervorstellungen in der E-Lehre, im Bereich des Magnetismus sowie zu physikalischen Feldern	Diskussion zu den einzelnen Vorstellungen / Bewusstmachen der eigenen Vorstellungen.
10:00-10:10	Input-Sequenzen zur Definition von Analogien und Darstellungsformen im Physikunterricht	

10:10-10:15	Aufgabenstellung: Welche Analogien und Darstellungsformen kennen die Studierenden aus ihrem eigenen Physikunterricht?	Brainstorming – die Studierenden schreiben ihre Erfahrungen auf Post-Its und heften diese an die Tafel
10:15-10:25	Aufgabenstellung: Welche Analogien lassen sich in österreichischen Schulbüchern finden? Einteilung in Gruppen zur E-Lehre und zum Magnetismus	Die Studierenden durchsuchen gängige österreichische Schulbücher nach Analogien.
10:25-10:40	Aufgabenstellung: Welche Vor- und Nachteile bieten diese Analogien?	Die Studierenden sollen die soeben gefundenen Analogien analysieren und bewerten.
10:40 – 10:50	Besprechung der Analogien hinsichtlich ihrer fachgerechten, anschlussfähigen und schülergemäßen Darstellung.	Diskussion und Einbringen der Ergebnisse.
10:50-11:00	Input-Sequenz zu Analogien, die im Zuge der Schulbuchanalyse noch nicht aufgetreten sind wie zum Beispiel das Fahrradkettenmodell	Diskussion und Einbringen eigener Erfahrungen.
11:00-11:15	Aufgabenstellung: Aufbereiten eines Experiments, wessen Erklärung sich auf eine Analogie stützen soll. Die Gruppen bilden: Stäbchenmodell, „Hula-Hoop-Reifen“, Fahrradkettenmodell	Die Studierenden sollen als Hausübung diese Experimente bis zur nächsten Einheit aufbereiten.

8.2 Lehrveranstaltungseinheit zu sprachsensiblen Unterricht und Sachstrukturen im Physikunterricht am Beispiel der Optik

In dieser Lehrveranstaltungseinheit sollen zwei fachdidaktisch-themenbezogene Grundideen (für diese beiden Grundideen siehe Kapitel 7.8 und 7.10) sowie zwei weitere, allgemeinere

fachdidaktische Konzepte im Mittelpunkt stehen: (1) sprachsensibler Physikunterricht sowie (2) Sachstrukturen im physikalischen Unterricht. Es werden außerdem einige inhaltliche Punkte vorausgesetzt, die im Idealfall in einer vorausgehenden Einheit bereits besprochen wurden. Die Studierenden sollen mit den wichtigsten Schülervorstellungen in der Optik, mit der didaktischen Rekonstruktion sowie mit dem Konzept der Elementarisierung von fachlichen Begriffen vertraut sein.

8.2.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit

Schlüsselbegriffe der Lehrveranstaltungseinheit:

Schülervorstellungen im Bereich der Optik (siehe Kapitel 4.5.4)

Sachstruktur und Sachstrukturdiagramme

Sprachsensibler Physikunterricht

Was sollen die Studierenden am Ende der Lehrveranstaltungseinheit wissen/können?

In Bezug auf diese Frage ist natürlich anzumerken, dass die Studierenden diese Kompetenzen im Laufe einer Lehrveranstaltungseinheit aufgrund der kurzen Interventionsdauer nur basal erreichen können. Jedoch bildet diese Einheit nur einen Mosaikstein der gesamten Kompetenzentwicklung, sodass sich im Laufe der Lehrveranstaltung eine langfristige Intervention ergibt.

- Die Studierenden sind mit dem Begriff „Sachstruktur“ vertraut und können Sachstrukturdiagramme interpretieren.
- Die Studierenden kennen mögliche Sachstrukturen für den Optik-Anfangsunterricht.
- Die Studierenden können unterschiedliche Sachstrukturen vergleichen und kritisch bewerten.
- Die Studierenden sind mit der Tatsache vertraut, dass Physikunterricht immer auch Sprachunterricht ist.
- Die Studierenden sind mit den von Rincke und Leisen (2015) formulierten Leitlinien für sprachsensiblen Physikunterricht vertraut.

Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Fachdidaktische Forschungsergebnisse können Auswirkungen auf die Sachstruktur verschiedener Themenbereiche haben, so wird zum Beispiel im Unterrichtskonzept von Haagen-Schützenhöfer (2015) die Farblehre aufgrund von fachdidaktischen Forschungsergebnissen relativ früh im Optikunterricht besprochen. Bei der Umsetzung neuer Curricula oder Sachstrukturen treten von Lehrpersonenseite häufig Hindernisse auf, vor allem die Passung neuer Unterrichtsmaterialien spielt eine bedeutende Rolle (Hirn & Viennot, 2000). Die Studierenden sollen deshalb bereits relativ früh in Ihrer Ausbildung erkennen, welchen Mehrwert fachdidaktische Forschungsergebnisse bringen können und wie sich diese Neuerungen im Unterricht umsetzen lassen.

Die Studierenden sollen sich bewusst werden, dass die Sprache eine wesentliche Rolle im Physikunterricht spielt, dann das Lernen von Physik funktioniert nur in oder mit der Sprache (Rincke & Leisen, 2015).

Elementare Grundideen:

Die hier vorgestellten Grundideen leiten sich aus den beabsichtigten Learning – Outcomes ab.

- Unterschiedliche Sachstrukturen haben Auswirkungen auf den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern (C. Müller & Duit, 2004).
- Die Passung eingesetzter Unterrichtsmaterialien zu „neuen“ Sachstrukturen spielt eine wesentliche Rolle (Hirn & Viennot, 2000).
- Die Sprache spielt eine wesentliche Rolle für Lernprozesse im physikalischen Unterricht.
- Es gibt eine Reihe von methodischen Möglichkeiten die sprachsensiblen Fachunterricht unterstützen (Rincke & Leisen, 2015):
 - *Den Unterricht auf Kommunikation im Fach hin ausrichten*
 - *Die Sprache am Verstehen der Schüler orientieren und nicht an der Sprache des Faches*
 - *Sprache als eine von vielen Darstellungsformen nutzen und sie den Schülern bewusst machen*
 - *Die Schüler zum Sprechen ermutigen und sprachliche Misserfolge möglichst vermeiden*
 - *Sprachliche Standardsituationen mit Methoden-Werkzeugen unterstützen*
 - *Begriffe und fachsprachliche Strukturen über Stufen sprachlicher Fassungen bilden*
 - *Beim Lesen von Texten Hilfen geben und das Textverstehen üben*

- *Verhindern, dass sich Fach- und Sprachlernprobleme vermischen*
- *Metareflexive Phasen in den Unterricht integrieren und Sprachbewusstsein schaffen*

Mit welchen Vorstellungen der Studierenden ist bei diesem Thema zu rechnen?

- Es ist damit zu rechnen, dass die Studierenden ähnliche Vorstellungen über die fachlichen Inhalte besitzen wie Schülerinnen und Schüler.
- Die Erkenntnis der Studierenden, dass ihre eigenen Vorstellungen, welche sie sich in ihrem eigenen Physikunterricht und ihrem bisherigen Studium gebildet haben, nicht mit den Ergebnissen von fachdidaktischen Forschungsergebnissen übereinstimmen (z.B. die Differenzierung von Stromstärke und Spannung, der Wirksamkeit von Analogien etc.) kann zu Frustration und fehlender Akzeptanz führen.
- Die Studierenden können unangemessene Vorstellungen über das Lernen und Lehren von Physik besitzen, dies beinhaltet Vorstellungen über die konstruktivistische Sicht des Lernens sowie über Konzeptwechsel und Konzeptwechselstrategien.
- Die Studierenden können die Vorstellung haben, dass die Sprache im Physikunterricht zu vernachlässigen ist oder dass die Fachsprache implizit mitgelernt wird und ihr somit keine besondere Rolle im Physikunterricht zukommt.

8.2.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit

Zeit	LV-Leiteraktivität	Studierendenaktivitäten
9:00-9:10	Moderation der Wiederholung zu Schülervorstellungen im Bereich der Optik und didaktischer Rekonstruktion	Diskussion und Einbringen der Erfahrungen aus den letzten Einheiten
9:10-9:15	Kurze Input-Sequenz zu Sachstrukturen in Lehrgängen und Schulbüchern („Was sind Sachstrukturen“)	
9:15-9:25	Aufgabenstellung 1: Welche Faktoren beeinflussen die Sachstruktur im Unterricht? Worauf sollte bei der Erstellung geachtet werden?	Die Studierenden bearbeiten in Kleingruppen die Aufgabenstellung und heften ihre Ergebnisse mit Post-Its die Tafel
9:25-9:35	Diskussion der Aufgabenstellung 1	Diskussion der Aufgabenstellung
9:35-10:00	Aufgabenstellung 2: Unterscheidet sich der Aufbau im Bereich des Anfangsunterrichts zum Thema Optik in unterschiedlichen Schulbüchern / Lehrgängen? Dabei sollen folgende Aspekte ausgearbeitet werden: Betrachtet im Inhaltsverzeichnis der Schulbücher die Überschriften zum Thema Optik, welche Aspekte erscheinen hier	Die Studierenden analysieren in Kleingruppen jeweils ein Schulbuch sowie das Unterrichtskonzept von Haagen-Schützenhöfer (2015) und erarbeiten dabei die von der Lehrveranstaltungsleitenden Person gestellten Fragen.

	besonders wichtig und wie ist die Abfolge der einzelnen Konzepte? • Welche Lichtquellen werden im Schulbuch verwendet? • Wie viele Fachausdrücke werden im Kapitel zur Reflexion von Licht verwendet? Werden diese Fachausdrücke explizit erklärt?	
10:00-10:20	Moderation der Diskussion zur Aufgabenstellung 2 und Einbringen fachdidaktischer Forschungsergebnisse zu den jeweiligen Punkten. Dazu gehören Studien zu Sachstrukturen (C. Müller & Duit, 2004; Wilhelm & Kneisel, 2011), zur Umsetzung curricularer Änderungen (Hirn & Viennot, 2000) aber auch zur allgemeinen Situation im Physikunterricht (Seidel et al., 2006).	Diskussion und Präsentation der gewonnenen Erkenntnisse aus Aufgabenstellung 2.
10:20-10:35	Moderation der Diskussion zum Unterpunkt „Welche Fachausdrücke werden im Kapitel zur Reflexion von Licht verwendet?“ sowie Input zu den Aspekten sprachsensiblen Unterrichts (Leisen, 2010).	Diskussion und Einbringen eigener Erfahrung
10:35-11:00	Bearbeiten eines Negativ- sowie Positivbeispiels zu sprachsensiblen Aufgabenstellungen anhand des Beispiels „Archimedes“ (für die	Gemeinsames Erarbeiten der beiden Beispiele. Diskussion und Einbringen eigener Erfahrungen und Beiträge.

	verwendeten Unterlagen siehe Anhang Teil C)	
11:00-11:05	Aufgabenstellung 3: Welche Faktoren beeinflussen die Sachstruktur im Unterricht? Worauf sollte bei der Erstellung geachtet werden?	Erneutes Bearbeiten der Aufgabenstellung
11:05-11:15	Fragestellung: Haben sich die Vorstellungen verändert, wenn ja, wie?	Diskussion im Plenum

8.3 Lehrveranstaltungseinheit zum Thema experimentelle Kompetenzen

Diese geplante Lehrveranstaltungseinheit wurde in der Lehrveranstaltung *Einführung in die Fachdidaktik Physik* erprobt. Diese Lehrveranstaltung ist im Curriculum des Bachelor-Lehramtsstudiums Physik an der Karl-Franzens Universität im zweiten Studiensemester verankert. Dementsprechend hatten die Studierenden noch kein fachdidaktisches Vorwissen. In der Lehrveranstaltungseinheit waren insgesamt 19 Studierende anwesend, die Dauer der Einheit belief sich auf zwei Stunden. Außerdem ist noch anzumerken, dass die Lehrveranstaltungseinheit in das fachliche Thema „einfacher Stromkreis“ eingebettet war (siehe auch Kapitel 7.1 sowie 7.3).

Die verwendete PowerPoint-Präsentation dieser Lehrveranstaltungseinheit lässt sich in Teil A des Anhangs finden.

8.3.1 Planung der Lehrveranstaltungseinheit

Schlüsselbegriffe der Lehrveranstaltungseinheit:

Rolle des Experiments in der Physik, experimentelle Kompetenzen

Was sollen die Studierenden am Ende der Lehrveranstaltungseinheit wissen/können?

In Bezug auf diese Frage ist natürlich anzumerken, dass die Studierenden die im Folgenden formulierten Kompetenzen im Laufe einer Lehrveranstaltungseinheit aufgrund der kurzen Interventionsdauer nur basal erreichen können. Jedoch bildet diese Einheit nur einen Mosaikstein der gesamten Kompetenzentwicklung, sodass sich im Laufe der Lehrveranstaltung eine langfristige Intervention ergibt.

- Die Studierenden erkennen die Rolle des Experiments im physikalischen Unterricht.
- Die Studierenden können die Rolle des Vorwissens beim Experimentieren einschätzen.
- Die Studierenden sind mit den Zielsetzungen und auch der Wirksamkeit von Experimenten im physikalischen Unterricht vertraut.
- Die Studierenden erkennen, dass die Vor- und Nachbereitung bei Experimenten eine wesentliche Rolle spielt.
- Die Studierenden können die verschiedenen Facetten experimenteller Kompetenzen benennen und erkennen auch deren Relevanz für den Unterricht.
- Die Studierenden können selbständig Experimentieraufgaben hinsichtlich der Umsetzung unterschiedlicher Facetten experimenteller Kompetenz bewerten.
- Die Studierenden können selbständig Experimente so modifizieren, dass diese bestimmten Facetten experimenteller Kompetenz entsprechen und im Unterricht einsetzbar sind.
- Außerdem sind sich die Studierenden der Wichtigkeit von Fehler- und Variablenkontrolle bei Experimenten im Physikunterricht bewusst.

Warum sollen die Studierenden diese Problemstellungen und Konzepte kennen lernen?

Im Kompetenzmodell für Österreich ist Experimentieren und Erkenntnisgewinnung als eigenständiger Bereich des Kompetenzmodells für den naturwissenschaftlichen Unterricht

verankert. Experimentieren ist Teil des PCK von Lehrkräften, insbesondere wenn das Experiment als naturwissenschaftliche Instruktionsstrategie angesehen wird.

Elementare Grundideen:

Die hier vorgestellten Grundideen leiten sich aus den beabsichtigten Learning-Outcomes ab.

- Das Experiment spielt im Physikunterricht eine Doppelrolle: einerseits soll mit dem Experiment Physik gelernt werden, andererseits soll über Physik gelernt werden.
- Häufiges Experimentieren bedingt nicht automatisch guten Physikunterricht.
- Experimentelle Kompetenzen bestehen laut (Schecker, Maiseyenko, & Nawrath, 2011) aus sieben Facetten: (1) Fragestellung entwickeln, (2) Vermutung aufstellen/Hypothese bilden, (3) Experiment planen, (4) Versuch funktionsfähig aufbauen, (5) Beobachten/Messen/Dokumentieren, (6) Daten aufbereiten sowie (7) Schlüsse ziehen/diskutieren.
- Es sollen möglichst alle experimentellen Kompetenzen im Unterricht im Laufe eines Schuljahres angesprochen werden.
- Die Vor- und Nachbereitung eines Experiments spielt eine wesentliche Rolle.
- Das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler (aber auch jenes der Lehrpersonen) bestimmt, was bei einem Experiment beobachtet wird.
- Systematische Fehler- und Variablenkontrolle spielen eine wesentliche Rolle bei physikalischen Experimenten.

Mit welchen Vorstellungen der Studierenden ist bei diesem Thema zu rechnen?

- Studierende verwechseln experimentelle Kompetenzen mit praktischem sowie fachlichem Vorwissen, welches nötig ist, um experimentieren zu können.
- Es gibt einen Zusammenhang zwischen Lernerfolg und Einsatz von Experimenten.
- Häufiges Experimentieren fördert den Lernerfolg.
- Häufiges Experimentieren fördert Interesse und Motivation.
- Viele Fähigkeiten, wie zum Beispiel „Versuche selbständig planen“ werden im Unterricht quasi automatisch mitunterrichtet.
- Die Beobachtung eines Demonstrationsexperiments sowie eines Schülerexperiments führt automatisch zu einer Wissensentwicklung.

8.3.2 Zeitlicher Ablauf der Einheit

Zeit	LV-Leiteraktivität	Studierendenaktivitäten
9:00-9:05	Problemstellung: Welche Rolle spielt das Experiment im Physikunterricht?	Brainstorming – die Studierenden schreiben ihr Vorwissen auf Post-Its und heften diese an die Tafel.
9:05-9:10	Input über die Zielsetzung und Wirksamkeit von Experimenten im Physikunterricht.	Diskussion der Wahr/Falsch Aussagen zur Lernwirksamkeit von Experimenten.
9:10-9:25	Video-Input: Schützenfisch, Austeilen der Kärtchen mit unterschiedlichen Informationen.	Das Experiment „Schützenfisch“ beobachten. Anschließend Diskussion in Dreier-Gruppen. Danach Diskussion über die Implikationen für den Physikunterricht.
9:25-9:30	Input-Sequenz zur aktuellen Lage von Experimenten im Schulunterricht.	
9:30-9:40	Aufgabenstellung an Studierende: Welche experimentellen Kompetenzen kennen Sie?	Brainstorming – die Studierenden schreiben ihr Vorwissen auf Post-Its und heften diese an die Tafel (Ergebnisse siehe Evaluierung).
9:40-9:50	Input-Sequenz zu experimentellen Kompetenzen, dem Kompetenzmodell nach Schecker et al. (2011) sowie dessen Einsatzmöglichkeiten in der	

	Planung und Diagnose von Experimenten.	
9:50-9:55	Aufgabenstellung: Bewertung des Experiments „Reihenschaltung von Glühlampen (siehe Anhang)“ anhand des Kompetenzmodells.	Die Studierenden bewerten das Experiment „Reihenschaltung von Glühlampen“ anhand des Kompetenzmodells selbständig.
9:55-10:00	Besprechung des Experiments „Reihenschaltung von Glühlampen“.	Diskussion und Einbringen eigener Erfahrungswerte im Plenum.
10:00 – 10:05	Aufgabenstellung: Bewertung des Experiments „Elektrische Stromstärke (siehe Anhang)“ anhand des Kompetenzmodells.	Die Studierenden bewerten das Experiment „Elektrische Stromstärke“ anhand des Kompetenzmodells selbständig.
10:05 – 10:10	Besprechung des Experiments „Elektrische Stromstärke“.	Diskussion und Einbringen eigener Erfahrungswerte im Plenum.
10:00-10:10	Input-Sequenz zur systematischen Fehler- und Variablenkontrolle.	
10:10-10:25	Aufgabenstellung: Modifizierung eines Experiments, sodass es bestimmte Facetten experimenteller Kompetenz forciert.	Die Studierenden modifizieren das Experiment „Parallelschaltung von Glühlampen (siehe Anhang)“ in Zweier-Gruppen so, dass die neue Aufgabenstellung entweder (1) „Hypothesen bilden und Erwartungen formulieren“, (2) „Daten interpretieren und Ergebnis auf Fragestellung beziehen“ oder (3) „Fehlerquellen und Umgang mit Fehlern“ in den Vordergrund stellt.
10:25-10:45	Einteilung der Studierenden in Sechsergruppen, wobei in jeder Gruppe alle drei unterschiedlichen	Diskussion der unterschiedlichen Herangehensweisen. Jede Gruppe einigt sich auf einen Aufgabenbereich, den sie weiter

	Aufgabenbereiche vertreten sein müssen.	verfolgen möchte. Die Studierenden modifizieren und verfeinern erneut die Aufgabenstellung. Die Studierenden formulieren gemeinsam eine Take-Home Message.
10:45-11:00	Conclusio zur Lehrveranstaltungseinheit und Diskussion.	Diskussion zur Lehrveranstaltungseinheit im Plenum sowie schriftliches Feedback.

9. Evaluation der Lehrveranstaltungseinheit zu experimentellen Kompetenzen

Um die Lehrveranstaltungseinheit zu experimentellen Kompetenzen zu evaluieren und festzustellen, inwieweit die in Kapitel 8.3 beschriebenen Lernziele erreicht wurden, wurde eine Prä-Befragung zu experimentellen Kompetenzen durchgeführt sowie ein Fragebogen erstellt, welcher am Ende der Einheit den Studierenden vorgelegt wurde. Der Fragebogen (siehe Anhang) beinhaltete folgende Fragen, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden:

1. Wie stehen Sie zu folgenden Aussagen?
 - a. Die Vor- und Nachbereitung zu einem Experiment spielt eine wesentliche Rolle.
 - b. Der Vorteil am Experimentieren ist, dass jede Person die gleiche Beobachtung macht.
 - c. Fertigkeiten im Bereich „Versuche funktionsfähig aufbauen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet.
 - d. Fertigkeiten im Bereich „Versuche planen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet.

- e. Fehlerkontrolle und Fehleranalyse sollte beim Physikunterricht in der Sekundarstufe I eher noch nicht thematisiert werden, um die Schülerinnen und Schüler nicht zu verwirren.

2. Nennen Sie 7 Facetten experimenteller Kompetenz

2.b) Ordnen Sie diese experimentellen Facetten für die Durchführung von Schülerversuchen nach ihrer Wichtigkeit.

3. Haben sich Ihre Überlegungen zum Einsatz von Experimenten im Physikunterricht geändert?

3.b) Falls sich Ihre Einstellung geändert hat, beschreiben Sie kurz was sich verändert hat!

4. Welches neue Wissen über experimentelle Kompetenz haben Sie heute erworben?

5. Feedback: Wenn Sie im nächsten Semester diese Einheit gestalten sollten, was würden Sie anders machen?

Dieser Fragebogen wurde von allen Studierenden (die sich in ihrem 2. bis 4. Studiensemester befanden), die an der Lehrveranstaltungseinheit teilnahmen (N=19) freiwillig sowie auf anonymer Basis am Ende der Einheit ausgefüllt. Der Fragebogen wurde den Studierenden dabei in schriftlicher Form als paper and pencil test vorgelegt.

9.1 Ergebnis der Prä-Befragung zu experimenteller Kompetenz

Im Zuge der Lehrveranstaltung, jedoch vor der Besprechung experimenteller Kompetenzen, wurde den Studierenden die Aufgabe gestellt, alle experimentellen Kompetenzen, die sie kennen, auf Handnotizen zu schreiben und diese an die Tafel zu heften. Diese Abfrage in der Lehrveranstaltung diene einerseits dazu, die Lernvoraussetzungen der Studierenden zu erheben. Andererseits ergibt sich so die Möglichkeit, die Ergebnisse des Post-Fragebogens mit dieser Abfrage zu vergleichen.

Das ausführliche Ergebnis dieser Erhebung ist im Anhang zu finden. Die wichtige Erkenntnis bei dieser Abfrage war, dass von insgesamt 21 abgegebenen Aussagen nur drei mit den Facetten experimenteller Kompetenz nach Schecker et al. (2011) in Verbindung gebracht werden konnten. Hier zeigte sich, dass viele Studierende experimentelle Kompetenzen mit den Zielsetzungen von Experimenten im physikalischen Unterricht verwechselten, einige Antworten waren: „Theorie und praktisches Verständnis“, „praktisches Verständnis“ oder „praktische Fähigkeiten“. Dies zeigt, dass vor der Lehrveranstaltungseinheit wenig bis gar kein Vorwissen zu experimentellen Kompetenzen bei den Studierenden vorhanden war.

9.2 Ergebnisse des Post-Fragebogens

In diesem Unterkapitel werden nun Schritt für Schritt die Ergebnisse der einzelnen Fragen des Fragebogens präsentiert.

Frage 1a: Die Vor- und Nachbereitung zu einem Experiment spielt eine wesentliche Rolle.

Dieser Aussage stimmten ausnahmslos alle Studierenden zu, was impliziert, dass das in Kapitel 8.1 formulierte Lernziel: „Die Studierenden sollen erkennen, dass die Vor- und Nachbereitung bei Experimenten eine wesentliche Rolle spielt.“ im Wesentlichen erreicht werden konnte.

Frage 1b: Der Vorteil am Experimentieren ist, dass jede Person die gleiche Beobachtung macht.

Dieser Aussage stimmte niemand zu, dies kann als starkes Indiz dafür gewertet werden, dass die Studierenden das Lernziel „Die Studierenden können die Rolle des Vorwissens bei Experimentieren einschätzen“ erreicht haben.

Frage 1c: Fertigkeiten im Bereich „Versuche funktionsfähig aufbauen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet.

Die Verteilung der Häufigkeiten der Antworten ist in Abbildung 17 zu sehen.

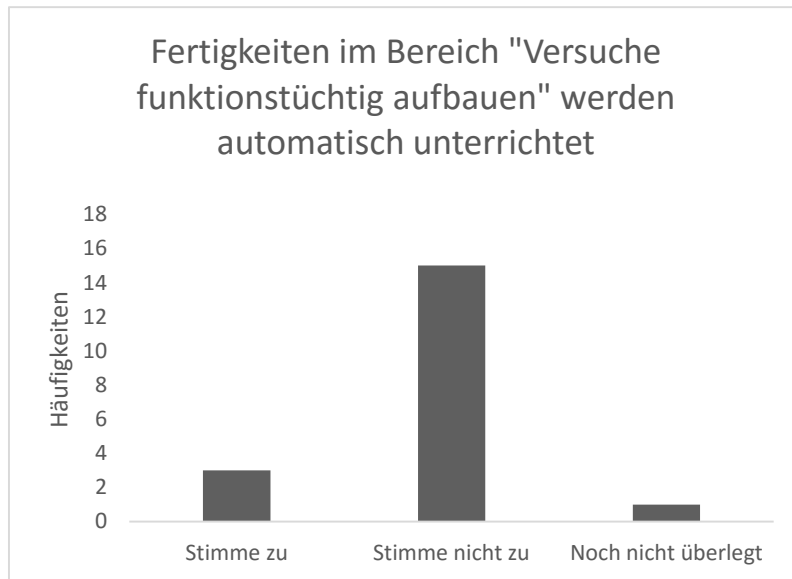


Abbildung 17: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 1c

Frage 1d: Fertigkeiten im Bereich „Versuche planen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet.

Die Verteilung der Häufigkeiten der Antworten ist in Abbildung 18 zu sehen.

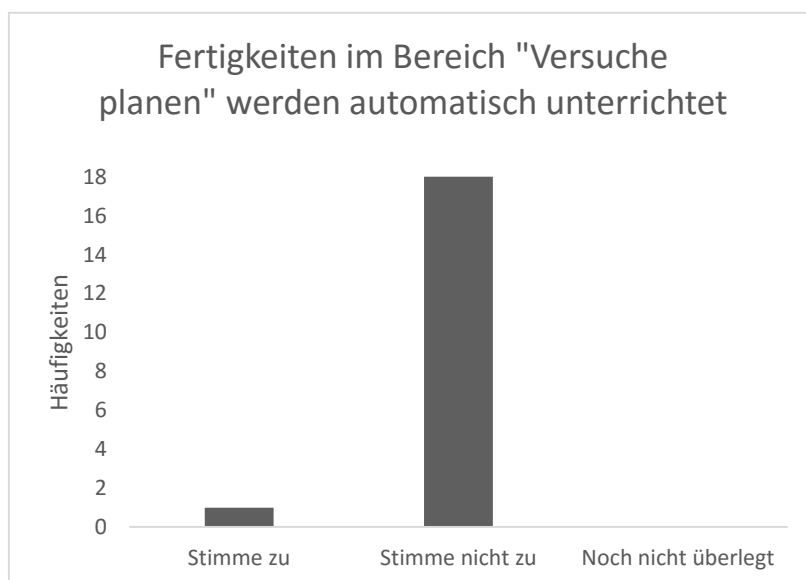


Abbildung 18: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 1d

Frage 2: Nennen Sie 7 Facetten experimenteller Kompetenz

Die Verteilung der Häufigkeiten der richtigen Antworten ist Abbildung 19 zu entnehmen.

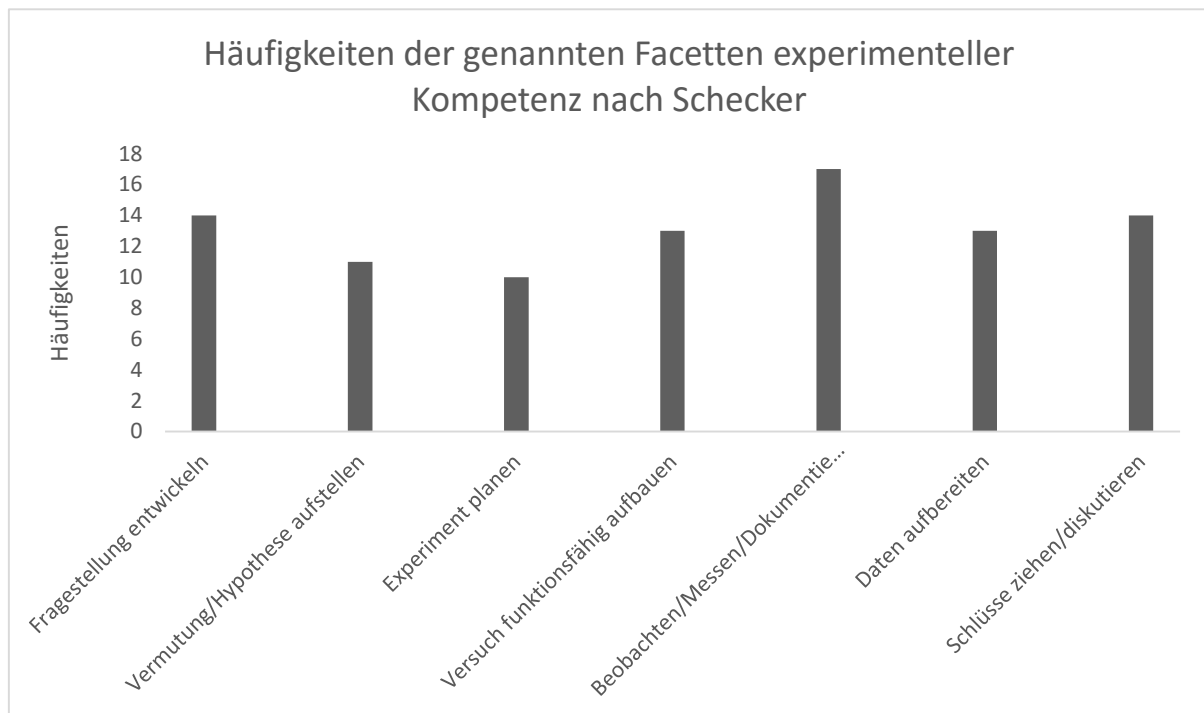


Abbildung 19: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 2

Insgesamt ergab sich, dass die Studierenden im Durchschnitt fast sieben Facetten nannten (6,68 bei einer Standardabweichung von 0,50), wovon fast fünf richtig waren (4,89 bei einer Standardabweichung von 1,4). Am Häufigsten kam dabei „Beobachten/Messen/Dokumentieren“ vor, welches 17 von 19-mal genannt wurde, am seltensten war „Experiment planen“ mit 10 von 19 Nennungen. Zusätzlich ist anzumerken, dass sieben Studierende auch den „Umgang mit Fehlern/Fehlerquellen“ als experimentelle Kompetenz nannten, was auf den letzten Arbeitsauftrag der Lehrveranstaltungseinheit zurückzuführen sein kann.

Stellt man dieses Ergebnis mit jenem der Zettelabfrage gegenüber, so ist ein deutlicher Zuwachs zu erkennen. Wurden in der Prä-Befragung insgesamt nur drei Facetten experimenteller Kompetenz genannt, so konnten die Studierenden beim der Lehrveranstaltungseinheit anschließenden Fragebogen insgesamt 92 Facetten experimenteller Kompetenz nennen.

Frage 2b: Ordnen Sie diese experimentellen Facetten für die Durchführung von Schülerversuchen nach ihrer Wichtigkeit.

Tabelle 1: Häufigkeiten und durchschnittliche Wertung der Facetten

Teilfacette	Häufigkeit	durchschnittliche Wichtigkeit*	Standardabweichung
Fragestellung entwickeln	14	3,1	1,7
Hypothese aufstellen	11	2,6	1,1
Experiment planen	10	3,7	1,4
Versuch funktionsfähig aufbauen	13	2,9	1,4
Beobachten/Messen/Dokumentieren	17	3,2	1,0
Daten aufbereiten	13	3,5	1,3
Schlüsse ziehen/diskutieren	14	2,8	1,3

*1=am wichtigsten, 6=am unwichtigsten

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die Studierenden die Facetten mit einer Spannweite von 2,6 (Hypothese aufstellen) bis 3,7 (Experiment planen) bewerteten. Der Unterschied zwischen den einzelnen Facetten experimenteller Kompetenz war also nicht allzu groß. Interessant hierbei ist jedoch, dass die Facetten „Hypothese aufstellen“ und „Schlüsse ziehen/diskutieren“ als am wichtigsten bewertet wurden, vor allem deshalb, weil diese Facetten im aktuellen physikalischen Unterricht nicht so oft angesprochen werden. „Experiment planen“ wurde mit einer durchschnittlichen Bewertung von 3,7 als am Unwichtigsten gesehen.

Frage 3: Haben sich ihre Überlegungen zum Einsatz von Experimenten im Physikunterricht geändert?

Zu beantworten war Frage 3 mittels einer vier-stufige metrische Skala (von „gleich geblieben“ bis „stark verändert“), als Mittelwert der Antworten ergab sich dabei ein Wert von 1,63 mit einer Standardabweichung von 0,64.

Frage 3b: Falls sich Ihre Einstellung verändert hat, beschreiben Sie kurz was sich verändert hat!

Die gegebenen Antworten wurde im Sinne der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring, (2002) in ein Kategoriensystem unterteilt, wobei sich hier im Wesentlichen zwei Kategorien herauskristallisierten: „Vor- und Nachbereitung ist wichtig“ (12 Nennungen) sowie „Häufiges Experimentieren bedingt nicht automatisch guten Lernzuwachs“ (3 Nennungen).

Frage 4: Welches neue Wissen über experimentelle Kompetenz haben Sie heute erworben?

Auch zu dieser Frage wurde ein Kategoriensystem entwickelt, insgesamt ergaben sich hier 4 Kategorien:

- Vor- und Nachbereitung ist wichtig (7 Nennungen)
- SchülerInnen beobachten bei Experimenten nicht dasselbe (7 Nennungen)
- verschiedene Facetten müssen beim Experimentieren abgedeckt werden (5 Nennungen)
- häufiges Experimentieren bedeutet nicht automatisch guten Lernzuwachs (6 Nennungen).

Vergleicht man diese Kategorien mit den in Kapitel 8.1 formulierten Lernzielen, so lässt sich hier eine gute Übereinstimmung finden. Herauszuheben ist insgesamt, dass insbesondere die Wichtigkeit der Vor- und Nachbereitung von den Studierenden erkannt wurde.

9.3 Ausgewählte Reflexionsausschnitte

Es wurden außerdem zwei Studierende gebeten, Reflexionen zu der Lehrveranstaltungseinheit zu verfassen. Der Inhalt dieser Reflexionen ist ebenfalls konsistent mit den Ergebnissen des Fragebogens, die Wichtigkeit der Vor- und Nachbereitung wurde auch in den Reflexionen angesprochen

Diese Übung hat mir vor allem gezeigt, dass die Vorbereitung auf ein Experiment ein wichtiger Eckpfeiler des ganzen Experiments ist, denn ohne dieses Vorwissen hat auch der Versuch relativ wenig Nutzen, sowie ... nicht nur das Vorwissen eine Rolle spielt sondern auch die Nachbereitung. Auch das ist mir bei diesem Fisch-Experiment klar geworden.

Der folgende Satz zeigt, dass die Quintessenz dieser Lehrveranstaltung zumindest von den beiden Personen, welche die Reflexionen verfasst haben, erkannt wurde:

Nach dieser Einheit ist mir bewusst geworden, dass Experimente zwar ein wichtiger Teil des Unterrichts sind, aber den Unterricht nicht dominieren. Ohne Theorie und Vorwissen helfen einem die besten und eindrucksvollsten Versuche nichts, weil man den Kern nicht versteht.

9.4 Diskussion

Insgesamt lässt sich feststellen, dass insbesondere die Wichtigkeit der Vor- und Nachbereitung von den Studierenden erkannt wurde. (12 Nennungen zu Frage 3b sowie sieben Nennungen bei Frage 4). Positiv hervorzuheben sind weiterhin die Ergebnisse zu Frage zwei, im Schnitt konnten hier 4,89 Facetten experimenteller Kompetenz genannt werden, bei der Prä-Befragung wurden lediglich insgesamt 3 Facetten genannt. Die Studierenden verwechselten in der Vorabfrage zu einem großen Teil experimentelle Kompetenzen mit den Zielsetzungen von Experimenten im physikalischen Unterricht („praktische Fähigkeiten“, „Theorie und praktisches Verständnis“, „Theorie verstehen“, etc.).

Es muss jedoch an dieser Stelle angemerkt werden, dass der Fragebogen direkt nach der Intervention vorgelegt wurde, was bedeutet, dass bezüglich eines langfristigen Wissenserwerbs keine Aussagen gemacht werden können. Wird von einem langfristigen Wissenserwerb ausgegangen, muss jedoch weiterhin zwischen dem Professionswissen von Lehrkräften und ihren tatsächlichen Handlungen im Unterricht unterschieden werden (Hirn & Viennot, 2000). Die Auswertung dieses Fragebogens kann deshalb nur Hinweise darauf geben, ob die Studierenden die in dieser Lehrveranstaltungseinheit angestrebten Lernziele in ihrem späteren, tatsächlichen Unterricht umsetzen werden.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Der forschungsbasierten Professionalisierung von Lehrkräften wurde in den letzten Jahren aus fachdidaktischer Sicht große Beachtung geschenkt. So sind unter anderem „Knowledge of Instructional Strategies“, „Knowledge of Student’s Understanding of Science“ oder „Knowledge of Science Curricula“ diejenigen Faktoren, welche Lehrkräfte von Personen anderer Berufsfelder abgrenzen. Diese Bedeutung von Professionswissen (PCK) soll nun auch verstärkt auf Lehrveranstaltungsniveau in der PädagogInnenbildung Neu Berücksichtigung

finden. Das Gesamtziel dieser Arbeit stellt die didaktische Rekonstruktion einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung im Physiklehramtsstudium zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik dar, welche die forschungsbasierte Professionalisierung von Lehramtsstudierenden unterstützen soll. Im Zuge dessen wurden die wichtigsten fachdidaktischen und fachlichen Grundideen zu den Themen Elektrizität, Magnetismus und Optik identifiziert und forschungsbasiert aufgearbeitet (siehe Kapitel 7). Basierend darauf wurden Vorschläge für die Gestaltung von Lehrveranstaltungseinheiten erstellt (siehe Kapitel 8). Eine Einheit zu experimentellen Kompetenzen wurde zudem in einem einführenden fachdidaktischen Seminar an der Universität Graz erprobt und evaluiert (siehe Kapitel 9).

Auftrag für die Zukunft wird es sein, basierend auf den in Kapitel 7 ausgearbeiteten Grundideen ein vollständiges Semester an Lehrveranstaltungseinheiten für Fachdidaktik Elektrizität, Magnetismus und Optik zu erstellen. Im Sommersemester 2017 wird diese Lehrveranstaltung zum ersten Mal an der Universität Graz abgehalten, woraus sich die Chance ergibt, die Konzeption der Lehrveranstaltung als Gesamtprojekt zu evaluieren und etwaige Verbesserungsmöglichkeiten aufzudecken.

11. Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1105–1149).
- Andersson, B. (1985). Reasoning with regard to an electromagnet. In *Aspects of understanding electricity* (pp. 153–163). Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Bifie. (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. Retrieved May 3, 2016, from https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf
- BMBF. (2000a). AHS-Lehrplan.
- BMBF. (2000b). Lehrplan Physik. Retrieved from https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?4dzgm2
- Borges, A., Tecnico, C., & Gilbert, J. K. (1998). Models of magnetism. *International Journal of Science Education*, 20(3), 361–378.
- Clermont, C. P., Krajcik, J. S., & Borko, H. (1993). The influence of an intensive in-service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 21–43.
<http://doi.org/10.1002/tea.3660300104>
- de Hosson, C., & Kaminski, W. (2007). Historical controversy as an educational tool: evaluating elements of a teaching-learning sequence conducted with the text “dialogue on the ways that vision operates.” *International Journal of Science Education*, 29(5), 617–642.
- Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 2* (6th ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Dittmann. (1979). Didaktische Bemerkungen zum elektromagnetischen Feld. *PhuD*, 79(3), 208–217.
- Driver, R., & Erickson, G. (1983). Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students’ conceptual frameworks in science.
- Duit, R. (n.d.). Der Energiebegriff im Physikunterricht. Retrieved May 3, 2016, from

<http://tocs.ulb.tu-darmstadt.de/5066395.pdf>

- Duit, R. (1989a). Vorstellung und Experiment. *Naturwissenschaften Im Unterricht Physik/Chemie*, 37(48), 319–321.
- Duit, R. (1989b). Vorstellungen von Magnetismus. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Physik, Chemie*, 37(44), 4–5.
- Duit, R. (1993). Schuelervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansaetzen. *Naturwissenschaften Im Unterricht Physik*, 4(16), 16–23.
- Duit, R. (2004). Schülervorstellungen und Lernen von Physik. *IPN Kiel*, 1–4. Retrieved from http://www.uni-kiel.de/piko/downloads/piko_Brief_01_Schuelervorstellungen.pdf
- Duit, R. (2010). PIKO-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst. *Physik Im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien Für Effizienten Physikunterricht*, 98.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, K., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science. Science Education Research and Practice in Europe: Restorative and Prospective*.
- Duit, R., Kraus, M. E., & Rincke, K. (2012). Magnetismus im Physikunterricht. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 127, 4–9.
- Duit, R., & Treagust, D. (2012). Conceptual Change: Still a Powerful Framework for Improving the Practice of Science Instruction. In *Issues and Challenges in Science Education Research: Moving Forward* (pp. 43–54). K.C.D. Tan and M. Kim, Springer Science+Business Media.
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching for conceptual change - Theory and practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 629–646). Mahwah.
- Dvorak, L., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Eine optische Bank zum Selbermachen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 26–30.
- Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? *Plus Lucis2*, (3), 2–8.

- Fischler, H., & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181–190.
- Galili, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17(3), 371–387.
- Gesellschaft, D. P. (2016). Physik in der Schule. Retrieved April 2, 2016, from <http://dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/schulstudie-2016/schulstudie-basiskonzepte.pdf>
- Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potential*. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Gruber, W., & Rupp, C. (2006). *ganz klar: Physik 3*. Wien: Jugend und Volk.
- Guesne, E. (1984). Die Vorstellungen von Kindern über Licht. *Physica Didactica*, 11, 79–84.
- Guisasola. (2000). Students Mental Representations and the Choice of Teaching Goals in Magnetostatic. In *GIREP 2000, Barcelona* (pp. 229–232).
- Gunstone, R. F., & White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65(3), 291–299. <http://doi.org/10.1002/sce.3730650308>
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2015). Einführungsunterricht in die Optik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 64(5), 5–13.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Langer, S., Hiller, R., Klingenböck, A., Rohringer, C., Franz, G., ... Wien, U. (2014). Vorstellungen zu weißem Licht (pp. 1–6). Frankfurt. Retrieved from <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/518/663>
- Haas, V., Hollenthoner, F., Schöfl, F., & Plotz, T. (2016). Infrarotstrahlung - SchülerInnen sehen "rot." *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 11–17.
- Härtel, H. (2012). Spannung und Oberflächenladungen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 61(5), 25–31.
- Heege, R., & Schwaneberg, R. (1985). Zur Anschaulichkeit elektrischer und magnetischer Felder. In *Vorträge der Physikertagung in München* (pp. 275–282).
- Hees, B. (2008). *Das Elementarmagneten-Modell im Physikunterricht am Gymnasium*.

- Universität Duisburg-Essen. Retrieved from http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20812/Hees_Diss.pdf
- Heimann, P., Otto, G., & Schulz, W. (1969). Unterricht, Analyse und Planung. Hannover: Schroedel.
- Hermann. (1995). Magnetische Eigenschaften von Materialien im Unterricht. *Praxis Der Naturwissenschaften - Physik*, 44(4), 17–22.
- Hewson, P., Tabachnick, B., Zeichner, K., Blomker, K., Meyer, H., Lemberger, J., ... Toolin, R. (1999). Educating prospective teachers of biology: Introduction and research methods. *Science Education*, 83(3), 247–273.
- Heywood, D. (2005). Primary Trainee Teachers' Learning and Teaching About Light: Some pedagogic implications for initial teacher training. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1447–1475.
- Hirn, C., & Viennot, L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8. *International Journal of Science Education*, 22(4), 357–384.
- Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 13, 71–86.
- Hopf, M., Schecker, H., & Wiesner, H. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Aulis Verlag.
- Hume, A., & Berry, A. (2011). Constructing CoRes—a Strategy for Building PCK in Pre-service Science Teacher Education. *Research in Science Education*, 41(3), 341–355.
<http://doi.org/10.1007/s11165-010-9168-3>
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Physik, Chemie*, 34(13), 2–6.
- Karl-Franzens Universität Graz. (2015). Mitteilungsblatt 48. Sondernummer. Retrieved from https://online.uni-graz.at/kfu_online/wbMitteilungsblaetter.list?pOrg=1
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung

- und Entwicklung. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 3.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik Theorie und Praxis*.
<http://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0>
- Klafki, W. (1969). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In *Auswahl, Didaktische Analyse* (pp. 5–34). Hannover: Schroedel: H. Roth & A. Blumental.
- Koller, D. (n.d.). Einführung in die Elektrizitätslehre - Lehrstuhl für Didaktik der Physik - LMU München. Retrieved May 23, 2016, from
http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html
- Koller, D., Waltner, C., & Wiesner, H. (2008). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 57(6), 6–18.
- Korner, M., & Plotz, T. (2016). Cross-Age Peer Tutoring. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 9–10.
- Krutzler, T., Petti, P., Valda, A., & Plotz, T. (2016). Mikrowellen. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 33–36.
- Kuchling, H. (2011). *Taschenbuch der Physik* (20th ed.). München: Carl Hanser Verlag.
- Leifi, P. (n.d.). Permanentmagnetismus. Retrieved May 23, 2016, from
<http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/permanentmagnetismus>
- Leisen, J. (2005). Wechsel der Darstellungsformen. *Der Fremdsprachliche Unterricht Englisch*, 78, 9–11. Retrieved from [http://www.josefleisen.de/uploads2/04 Sprache im Fachunterricht - Bilingualer Fachunterricht/05 Wechsel der Darstellungsformen - FU Englisch 78-2005.pdf](http://www.josefleisen.de/uploads2/04_Sprache_im_Fachunterricht_-_Bilingualer_Fachunterricht/05_Wechsel_der_Darstellungsformen_-_FU_Englisch_78-2005.pdf)
- Leisen, J. (2010). *Handbuch Sprachförderung im Fach*.
- Lieb, D., Painsi, J., Schwarz, K., Zloklikovits, S., & Plotz, T. (2016). Unglaublich Vielseitig! *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 24–32.
- Ludgen, D., & Waitschat, H. (2009). Funktionsweise des elektrischen Versorgungsnetzes. *Praxis Der Naturwissenschaften - Physik*, 58(5), 5–10.

- Lunetta, V. (2003). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. Retrieved May 14, 2016, from <http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>
- Lunetta, V., Hofstein, A., & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In *Handbook of research on science education2* (pp. 393–441).
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). *Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching*. Gess-Newsome, J. Lederman, N.G.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken*. Weinheim: Beltz.
- Mingirulli. (1989). Das Feld das reale Gebilde ohne Feldlinien. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik/Chemie*, 37(4), 134–137.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen.
- Muckenfuß, H. (2007). Vom Induktionsgesetz zum Transformator. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 102, 25–29.
- Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997a). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). Köln: Aulis verlag.
- Muckenfuß, H., & Walz, A. (1997b). *Neue Wege im Elektrikunterricht* (2nd ed.). Köln: Aulis Verlag.
- Müller, C., & Duit, R. (2004). Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg - Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 10, 147–161. Retrieved from ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2004/7.Mueller_Duit_147-162.pdf
- Müller, R. (2012a). Was ist Spannung? *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 61(5), 5–16.
- Müller, R. (2012b). Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potentiellen Energie. *Praxis Der Naturwissenschaften*, 61(5-16).
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2012). Towards a Learning Progression of Energy. *Journal of Research in Science Teaching*. Retrieved from

https://www.researchgate.net/profile/Hans_Fischer3/publication/258801556_Towards_a_learning_progression_of_energy/links/5432780c0cf225bddcc7a42b.pdf

Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff "Strahlung"? *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 17.

Neunteufel, C., Handler, T., Müllauer, C., Rotschnik, M., & Plotz, T. (2016). Röntgenstrahlung - Ein Werkzeug der medizinischen Diagnostik. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 18–23.

OECD. (2012). PISA 2012 Ergebnisse Österreich. Retrieved May 14, 2016, from <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/PISA-results-austria-DEU.pdf>

Plotz, T. (2016). Strahlung. *Praxis Der Naturwissenschaften Physik*, 65(2), 6–8.

Plotz, T., & Hopf, M. (n.d.). Two concepts of radiation. (*Eingereicht*).

Pocovi, M. (2007). The effects of a history-based instructional material on the students' understanding of field lines. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 107–132.

Pocovi, M., & Finley, F. (2002). Lines of Force: Faraday's and Student's Views. *Science and Education*, 11, 459–474.

Posner, G., Strike, K., & Hewson, P. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211–227.

Rachel, A. (2012). *Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des Magnetismus. Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*. Ludwig-Maximilian Universität München.

Rachel, A., Heran-Dörr, E., & Waltner, C. (2012). Das Eisen-Magnet-Modell im Unterricht. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 127, 10–15.

Reitingner, J., Fischer, B., & Novak, P. (2009). *Impuls Physik 3*. Wien: oebv.

Rincke, K., & Leisen, J. (2015). Sprache im Physikunterricht. In *Physikdidaktik* (3rd ed., pp. 636–654). Heidelberg: Springer-Verlag.

Rubitzko, T. (2014a). Elementarisierung der elektromagnetischen Induktion. *Naturwissenschaften Im Unterricht Physik*, 143, 14–17.

- Rubitzko, T. (2014b). Weltraumseile, Rockmusik und Induktionsherd. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 143, 36–38.
- Rückl, E. (1989). Zur Energieübertragung in elektromagnetischen Feldern am Beispiel des Transformators. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik*, 44, 40–41.
- Saglam, M., & Millar, R. (2005). Upper High School students' understanding of electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 28(5), 543–566.
- Sakschewski, M. T. (2013). *Bewertungskompetenz im Physikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments zum Themenfeld Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung*. Georg-August-Universität Göttingen. Retrieved from https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0023-9918-8/Dissertation_Mark_Sakschewski.pdf?sequence=4
- Schecker, H., Maisyenka, V., & Nawrath, D. (2011). Experimentelle Kompetenz diagnostizieren und fördern. In *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Oldenburg*. Retrieved from http://www.idn.uni-bremen.de/komdif/wp-content/uploads/2014/02/Poster_Potsdam_DN_HS_VM.pdf
- Schlichting, & Backhaus. (1980). Zum Feldbegriff im Unterricht. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik/Chemie*, 80(6), 187–189.
- Schwedes, H., & Schilling, P. (1983). Schülervorstellungen zum Wasserstromkreis. *Physica Didactica*, 10(3/4), 159–170.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M., & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 52(6), 799–821. Retrieved from http://www.pedocs.de/volltexte/2011/4489/pdf/ZfPaed_2006_Seidel_Prenzel_Rimmel_e_Blicke_Physikunterricht_D_A.pdf
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*. http://doi.org/10.1007/SpringerReference_17273
- Siegler, R., DeLoache, J., & Eisenberg, N. (2011). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter* (3rd ed.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

- Suchan, B., Wallner-Paschon, C., Bergmüller, S., & Schreiner, C. (2011). PIRL & TIMSS 2011. Retrieved May 14, 2016, from https://www.bifie.at/system/files/buch/pdf/ErsteErgebnisse_PIRLSTIMSS2011_web.pdf
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht. Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 10, 51–59.
- Theysen, H. (2005). Didaktische Rekonstruktion eines Physikpraktikums für Medizinstudierende. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 11, 57–72.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 18, 201–227. Retrieved from http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/18_Urbahn.pdf
- van Dijk, E. M., & Kattmann, U. (2006). A research model for the study of science and teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23, 885–897.
- von Rhöneck, C. (1986). Vorstellungen zum elektrischen Stromkreis. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik/Chemie*, 34(13), 10–14.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual change to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(12), 1213–1230.
- Widodo, A., & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 11, 131–146. Retrieved from ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2005/9.Widodo_Duit_131-146.pdf
- Wiesner, H. (1986). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. *Naturwissenschaften Im Unterricht - Physik/Chemie*, 34(13), 25–29.
- Wiesner, H. (1996). Verständnisse von Leistungskursschülern über Quantenphysik. *Physik in Der Schule*, 34, 95–99.
- Wiesner, H., Herdt, D., & Engelhardt, P. (1993). *Unterricht Physik. Experimente - Medien - Modelle*. Köln: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T., & Kneisel, S. (2011). Vergleich und Analyse der Sachstruktur von

Gymnasialschulbüchern im Anfangsunterricht Mechanik. In *Didaktik der Physik Frühjahrstagung*. Münster.

Wodzinski, R. (1996). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. Münster.

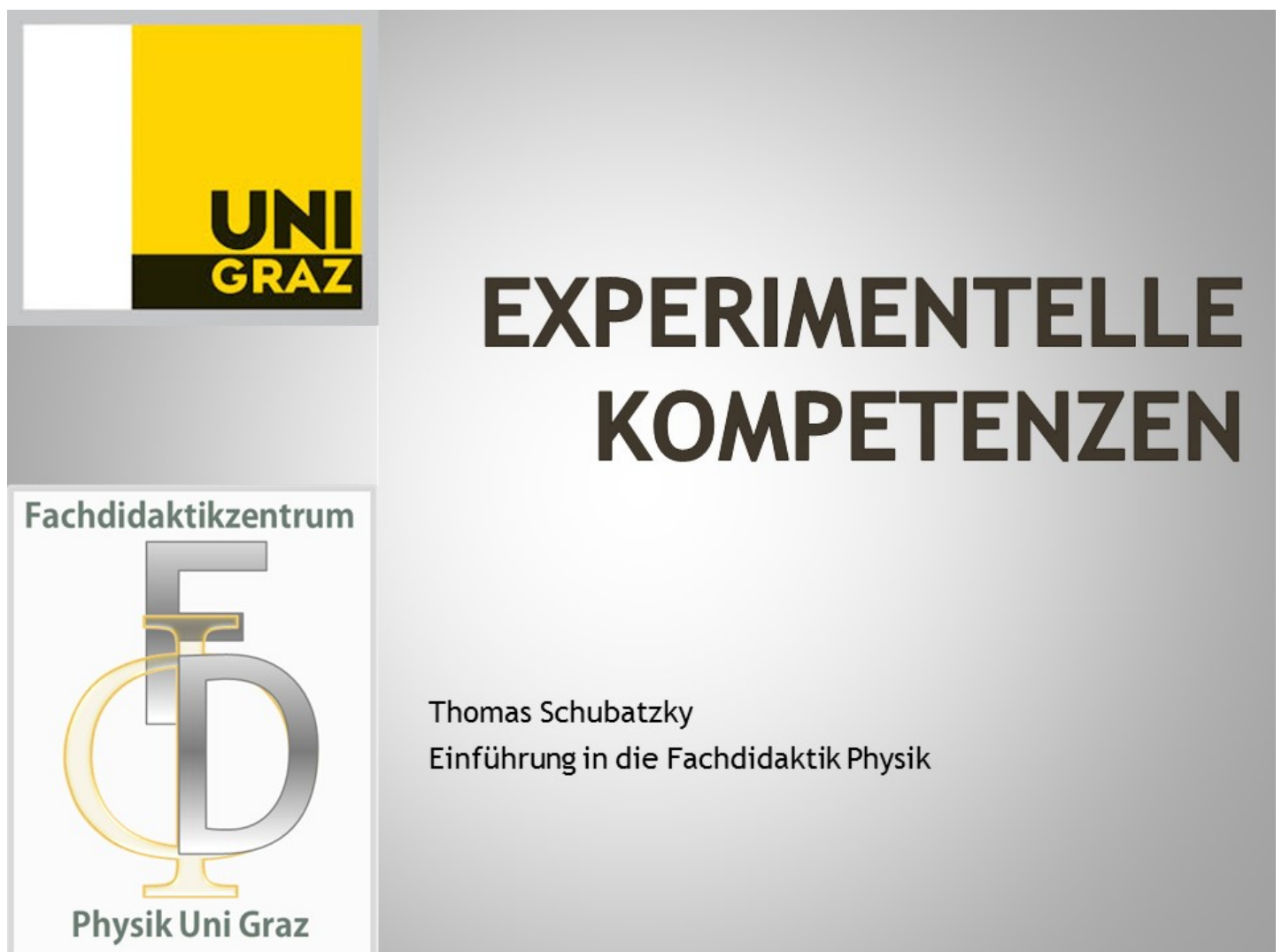
12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Teilbereiche des Professionswissens von Physiklehrkräften, frei modelliert nach van Dijk und Kattmann (2006).....	10
Abbildung 2: Komponenten des PCK für naturwissenschaftliche Fächer nach Magnusson et al. (1999).....	11
Abbildung 3: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann (2007).....	20
Abbildung 4: Vorgehensweise bei der didaktischen Rekonstruktion, frei modelliert nach Duit et al. (2012)	26
Abbildung 5: Das ERTE-Modell nach van Dijk und Kattmann (2006).....	27
Abbildung 6: Lokale Argumentation in einem Stromkreis, übernommen von Hopf et al. (2011)	38
Abbildung 7: Serienschaltung, übernommen aus Hopf et al. (2011).....	39
Abbildung 8: Ein Modell einer konstruktivistischen Lehr-Lern-Sequenz (Widodo & Duit, 2005)	53
Abbildung 9: Vorgehensweise und Einflussfaktoren bei der Bildung der fachdidaktischen Grundideen.....	58
Abbildung 10: Darstellung der Potentialdifferenz mittels einer Höhenanalogie. Aus Koller et al. (2008).....	70
Abbildung 11: Darstellung des Potentialunterschieds bei einer Reihenschaltung mit dem Stäbchenmodell, aus den Unterrichtsmaterialien von Koller (Internetquelle, siehe Literatur)	78
Abbildung 12: Fahrradkettenanalogie, aus Gleixner (1998)	79
Abbildung 13: Elementarmagnetenmodell, links im unmagnetisierten, rechts im magnetisierten Zustand, übernommen von Leifi Physik (Internetquelle, siehe Literatur)	91
Abbildung 14: alternatives Modell nach Hees (2008), Abbildung aus Rachel et al. (2012).....	92
Abbildung 15: Visualisierung des Eisen-Magnet-Modell nach Rachel (2012)	93

Abbildung 16: Der Sehprozess aufgeteilt in einen physikalischen und physiologischen Bereich, aus de Hosson und Kaminski (2007)	98
Abbildung 17: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 1c.....	133
Abbildung 18: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 1d	133
Abbildung 19: Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zu Frage 2	134

13. Anhang

12.1 Teil A

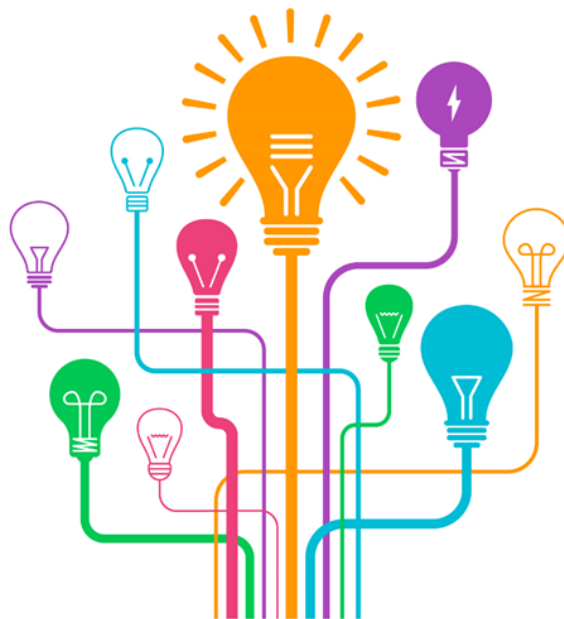


ÜBERBLICK, FORSCHUNGS-LAGE UND LEARNING OUTCOMES

- ◉ Grundsätzliches zu Schülerexperimenten (Forschungslage, Ziele,)
- ◉ Wie sieht die Praxis aus?
- ◉ Experimentelle Kompetenzen
- ◉ Ein Praxismodell zu experimentellen Kompetenzen
- ◉ Beispiele für Experimente
- ◉ Systematische Fehlersuche

Physikdidaktik I 07.04.2016

WELCHE ROLLE SPIELT DAS EXPERIMENT IM PHYSIKUNTERRICHT?



Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERIMENTE



Kircher (2001)

Physikdidaktik I 07.04.2016



ZIELSETZUNGEN EXPERIMENTE



Physikdidaktik I 07.04.2016



LERNWIRKSAMKEIT - RICHTIG ODER FALSCH?

Es gibt **keinen** Zusammenhang zwischen Lernerfolg und Einsatz von Experimenten

Häufiges Experimentieren fördert **weder** den Lernerfolg

noch Motivation und Interesse.

Die Vor- und Nachbereitung ist wichtig!

Experimentieren führt **nicht automatisch** zu besserem Verständnis physikalischer Inhalte.

Problemorientierte Experimente wirken dem Absinken von Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen entgegen.

Die Beobachtung eines lehrerzentrierten Experiments führt **nicht automatisch** zu einer Wissensentwicklung.

Physikdidaktik I 07.04.2016



Lesen sie ihr Kärtchen für sich!! durch, besprochen wird später.

Gabay et al.
(2013)

Physikdidaktik I 07.04.2016



GRUPPENARBEIT

- ◉ 3er Gruppen bilden => Rot, Grün, Blau
- ◉ Was ist die fachliche Erkenntnis aus diesem Experiment?
- ◉ Was war überhaupt das Erkenntnisinteresse?
Wie wurde untersucht?
Worauf lag der Augenmerk?
- ◉ Was bedeutet das fürs Lernen mit Experimenten im Physikunterricht?

Physikdidaktik I 07.04.2016

VORWISSEN IST WICHTIG!

Das (von SchülerIn zu SchülerIn unterschiedliche) Vorwissen bestimmt, was bei einem Experiment beobachtet wird.

Auch Lehrpersonen haben Vorstellungen zum Ausgang eines Experiments.

Lehrpersonen und Lernende sehen oft nicht das selbe Ergebnis!

Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERIMENTE IN DER SCHULE

Vorgehen nach Kochrezept

„Anweisungen haben Sie im Unterricht gemacht“

Demonstrieren und Verifizieren

(Kirschner 1992, Lunetta 2007)

Physikdidaktik I 07.04.2016

AUF DER SCHÜLERINNENSEITE....

Hauptziel ist es, den Anweisungen zu folgen und die richtige Antwort zu bekommen

“manipulating equipment but not manipulating ideas”

Verknüpfung zu Gelerntem fehlt

(Hofstein&Lunetta 2004)

Physikdidaktik I 07.04.2016

AUF DER LEHRPERSONENSEITE....

Nature of Science Aspekte werden vernachlässigt

“hands on” und kein “minds on”, obwohl anders artikuliert

reflexive Phasen fehlen oft

Lernziele müssen klar formuliert werden

SchülerInnen werden mit Details überfrachtet

(Lunetta et al. 2007)

Physikdidaktik I 07.04.2016

WAS SOLLEN SCHÜLERINNEN KÖNNEN?

SchülerInnen können eher...
das Ohm'sche Gesetz aufsagen

SchülerInnen können eher nicht...
mit einem Draht, einer Batterie und einem
Kabel ein Lämpchen zum Leuchten bringen.

Darum Kompetenzorientierung!

Physikdidaktik I 07.04.2016

FÜR EXPERIMENT WICHTIG: HANLDUNGSDIMENSION

- ◉ W: Fachwissen
- ◉ E: Experimentieren und Erkenntnisgewinnung
 - Fragen formulieren und Hypothesen aufstellen
 - Untersuchungen und Experimente planen, durchführen und protokollieren
 - Daten aufnehmen und analysieren
 - Daten durch Modelle abbilden und interpretieren
- ◉ S: Standpunkte begründen und aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten

Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERIMENTELLE KOMPETENZEN

Kompetenzmodelle lassen sich auch für enger umrissene Fähigkeitsbereiche formulieren.

Prinzip bleibt dabei das selbe.

Physikdidaktik I 07.04.2016

BRAINSTORMING - EXPERIMENTELLE KOMPETENZEN

- ◉ Welche experimentellen Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten sollen die Schülerinnen und Schüler besitzen oder erwerben?
- ◉ Was muss man können, damit man überhaupt experimentieren kann?

Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERIMENTELLE KOMPETENZEN



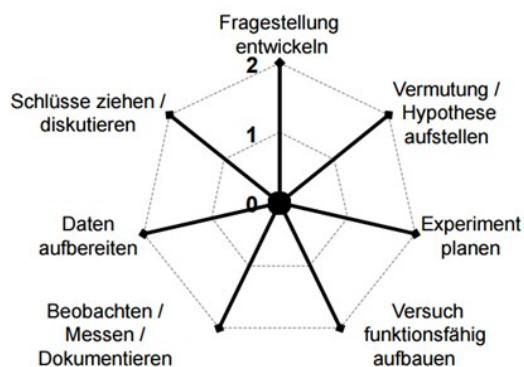
Physikdidaktik I 07.04.2016

H.Schecker. Uni Bremen. IDN

MODELL

Experimentelle Teilkompetenzen

bei der Planung 0: unwichtig 1: bedeutsam 2: besonders wichtig
bei der Diagnose 0: niedriges Niveau 1: mittleres Niveau 2: hohes Niveau



H. Schneider, Uni Bremen, IDN

Physikdidaktik I 07.04.2016

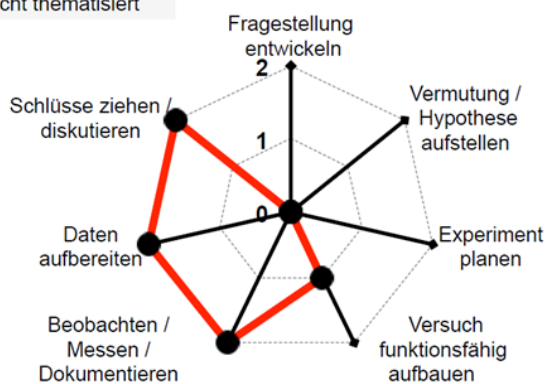


NETZDIAGRAMME - PLANUNG

Bedeutung im Lernarrangement
2: Schwerpunkt
1: bedeutsam
0: nicht thematisiert

Experimentelle Kompetenz

Planung



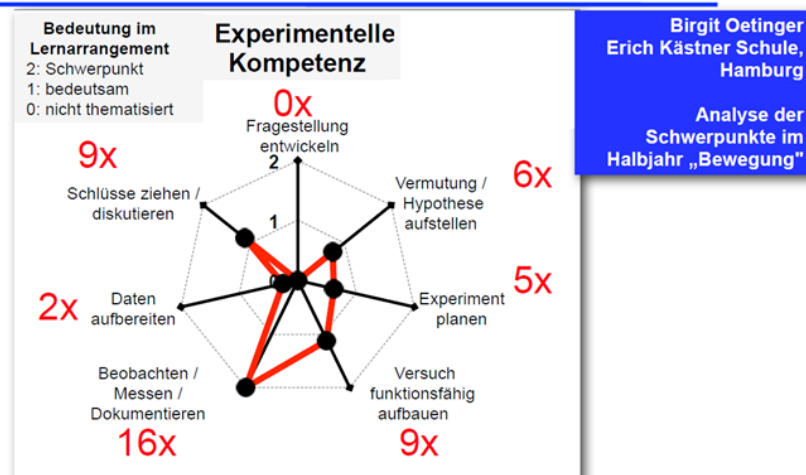
H. Schneider, Uni Bremen, IDN

Physikdidaktik I 07.04.2016



NETZDIAGRAMME - PLANUNG

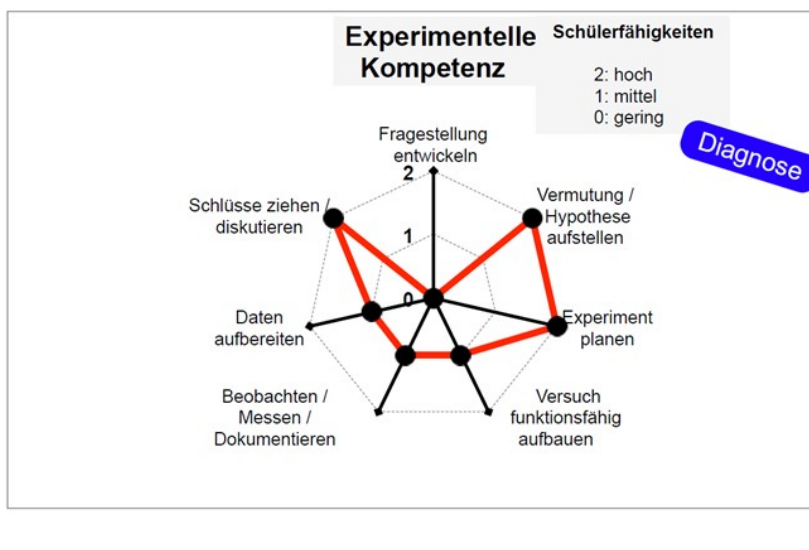
Unterrichtsanalyse, Halbjahr „Bewegung“



Physikdidaktik I 07.04.2016



NETZDIAGRAMME - DIAGNOSE



Physikdidaktik I 07.04.2016



NETZDIAGRAMME - DIAGNOSE

Stufen der Experimentierfähigkeit

Diagnose

Vermutung aufstellen / Hypothese bilden	2	Hypothesen mit elaborierter sachlicher Begründung (ohne Notwendigkeit fachlicher Richtigkeit)
	1	Vermutung mit unvollständiger Begründung oder ad-hoc-Annahmen
	0	keine / unbegründete Vermutung oder Vermutung mit unzusammenhängender Begründung

H.Schecker, Uni Bremen, IDN

<http://www.idn.uni-bremen.de/komdif/>

Physikdidaktik I 07.04.2016

NETZDIAGRAMME - DIAGNOSE

Experimentieren – Erläuterungen für Schüler

Aufgaben beim Experimentieren	Erläuterung	Beispiel
Fragestellung entwickeln	Du sollst zu einem Thema eigene Fragen überlegen, die du mithilfe eines Experiments untersuchen kannst.	Thema Wasser: „Läuft ein volles Trinkglas über, wenn die Eiswürfel geschmolzen sind?“
Vermutung / Hypothese bilden	Hier sollst du Erwartungen formulieren, wie das Experiment wohl ausgehen wird. Wenn du deine Erwartung gut begründen kannst, spricht man von einer „Hypothese“.	Zu der Frage: „Schwimmt ein Gummistopfen besser in Salzwasser oder in Süßwasser?“ kannst du z. B. vermuten: „Ein Gummistopfen schwimmt eher in Salzwasser“, Mit der zusätzlichen Begründung „weil die Dichte von Salzwasser höher ist als die von Süßwasser“ wird daraus eine Hypothese.

Physikdidaktik I 07.04.2016

H. Schecker, Uni Bremen, IDN

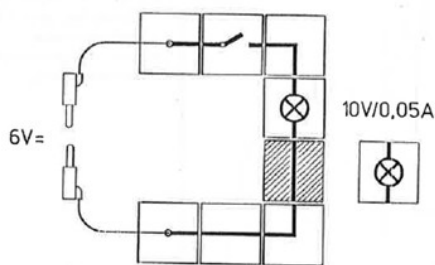
ZWEI BEISPIELE ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE

- ◉ Beispiel 1: Reihenschaltung von Glühlampen
- ◉ Beispiel 2: Stromstärke in der Reihenschaltung

Physikdidaktik I 07.04.2016

BEISPIEL EINS

REIHENSCHALTUNG VON GLÜHLAMPEN



Material:

Schaltplatte
STB Leitungen, Satz
1 STB Schalter EIN-AUS
2 STB Lampenfassung E10
2 Glühlampen E10
10V/0,05A
2 Verbindungsleitungen
Stromversorgung

Zwei Glühlämpchen kann man auf zwei Arten in einen Stromkreis schalten. Wir untersuchen in diesem Versuch die Reihenschaltung von Glühlämpchen.

Schaltung: Aufbau gemäß der Abbildung. Zunächst wird nur ein Glühlämpchen eingesteckt. An die Stelle des schraffiert gezeichneten STB Leitung gerade kommt dann das zweite Glühlämpchen. Wir legen 6 Volt Gleichspannung an.

NTL Schülerexperimente

Physikdidaktik I 07.04.2016

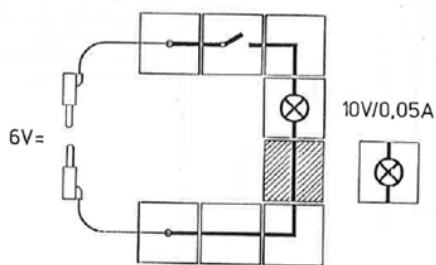
BEWERTEN MIT WEBDIAGRAMM

- ◉ Welche Kompetenzen werden abgedeckt?
- ◉ Zu zweit diskutieren
- ◉ Im Plenum

Physikdidaktik I 07.04.2016

BEISPIEL EINS

REIHENSCHALTUNG VON GLÜHLAMPEN



Material:

Schaltplatte
 STB Leitungen, Satz
 1 STB Schalter EIN-AUS
 2 STB Lampenfassung E10
 2 Glühlampen E10
 10V/0,05A
 2 Verbindungsleitungen
 Stromversorgung

Was wird untersucht?
 Was ist das Ergebnis?

Zwei Glühlämpchen kann man auf zwei Arten in einen Stromkreis schalten. Wir untersuchen in diesem Versuch die Reihenschaltung von Glühlämpchen.

Schaltung: Aufbau gemäß der Abbildung. Zunächst wird nur ein Glühlämpchen eingesteckt. An die Stelle des schraffiert gezeichneten STB Leitung gerade kommt dann das zweite Glühlämpchen. Wir legen 6 Volt Gleichspannung an.

NTL Schülerexperimente

Physikdidaktik I 07.04.2016

Beobachtungsergebnis
bereits vorgegeben

SuS-Beteiligung beschränkt
sich auf simple
Aufgabenbereiche

Versuch: Wir schließen den Schalter und merken uns die Helligkeit des Glühlämpchens. Wir öffnen den Schalter und ersetzen den schraffierten STB-Leitung gerade durch das zweite Glühlämpchen. Nach Schließen des Schalters erkennen wir, daß die beiden Glühlämpchen jetzt viel schwächer leuchten als zuvor das eine Glühlämpchen allein. Durch Erhöhen der angelegten Spannung auf 12 Volt können wir wieder ungefähr die gleiche Helligkeit wie vorher einstellen.
Was passiert, wenn ein Glühlämpchen aus der Fassung geschraubt wird?

Erkenntnis: Bei einer Reihenschaltung von zwei Glühlampen benötigt man die doppelte Spannung. Wenn eine Glühlampe entfernt wird, ist der Stromkreis unterbrochen.

Hinweis: Bei der Beleuchtung einer Wohnung wird der Stromkreis bei Ausfall einer Glühlampe nicht unterbrochen. Was bedeutet das?

Auch die Gesamterkenntnis ist
vorgegeben, Aufgabenstellung deckt
sich nicht mit Erkenntnis

„Hinweis“

NTL Schülerexperimente

Physikdidaktik I 07.04.2016



BEISPIEL ZWEI

Elektrische Stromstärke

ZIELE DER HEUTIGEN STUNDE:

Fachinhaltliches Ziel:

Regel zur Stromstärke in der Reihenschaltung kennenlernen.

Methodische Ziele:

Reihenschaltung aufbauen, Bedienung des Stromstärkemessgeräts, Messdaten generieren, dokumentieren und interpretieren.

Aufgabenstellung klar
formuliert

EURE AUFGABE

Überprüft die folgende Vermutung eurer Parallelklasse mit einem geeigneten Versuch:

„Bei der Reihenschaltung von Lampen ist die Stromstärke überall im Stromkreis gleich.
Es gilt: $I_g = I_1 = I_2 = \dots$ “

Material

2 Lampen, Multimeter, Schalter, Netzgerät, Kabel

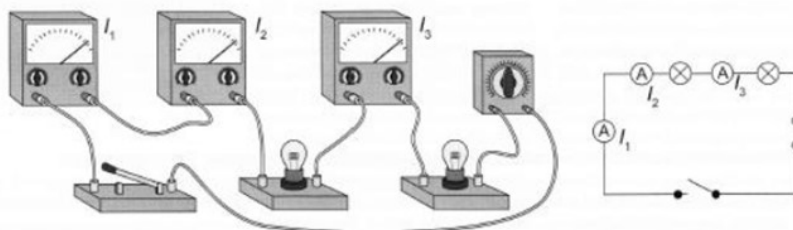
(Schreiber & Nawrath (2014), S. 16f)

Physikdidaktik I 07.04.2016



Durchführung

- Baut den Stromkreis so auf, wie er in den Abbildungen zu sehen ist.
- Verändert systematisch die Spannung (Einstellung am Netzgerät).
- Notiert eure Messdaten in der Tabelle. **Hilfeskarte: Bedienung Multimeter beachten!**

**Messwerte**

Spannung	Stromstärke I_1	Stromstärke I_2	Stromstärke I_3

Antwort

Trifft die Vermutung zu? Begründet eure Antwort.

(Schreiber & Nawrath (2014), S. 16f)

Physikdidaktik I 07.04.2016



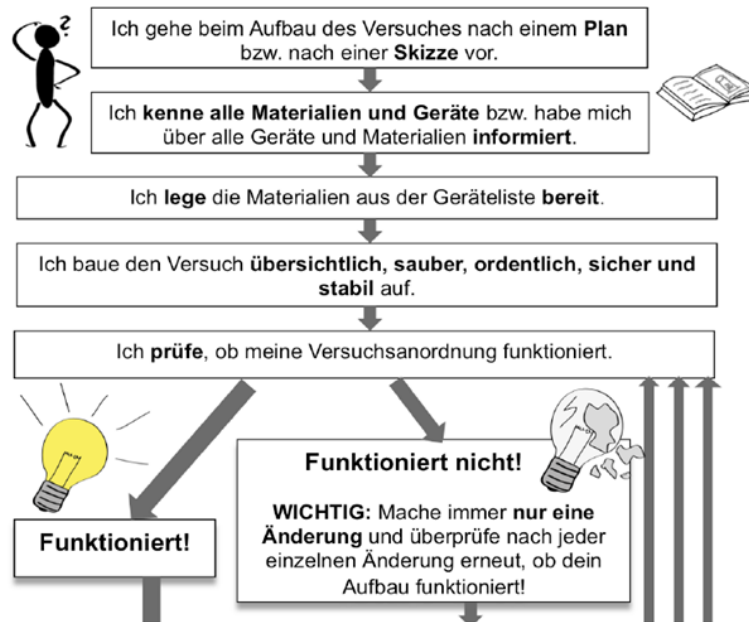
SYSTEMATISCHE FEHLERKONTROLLE UND SYSTEMATISCHE VARIABLENKONTROLLE

Wichtige Aspekte, die leider oft ausgespart werden

Physikdidaktik I 07.04.2016



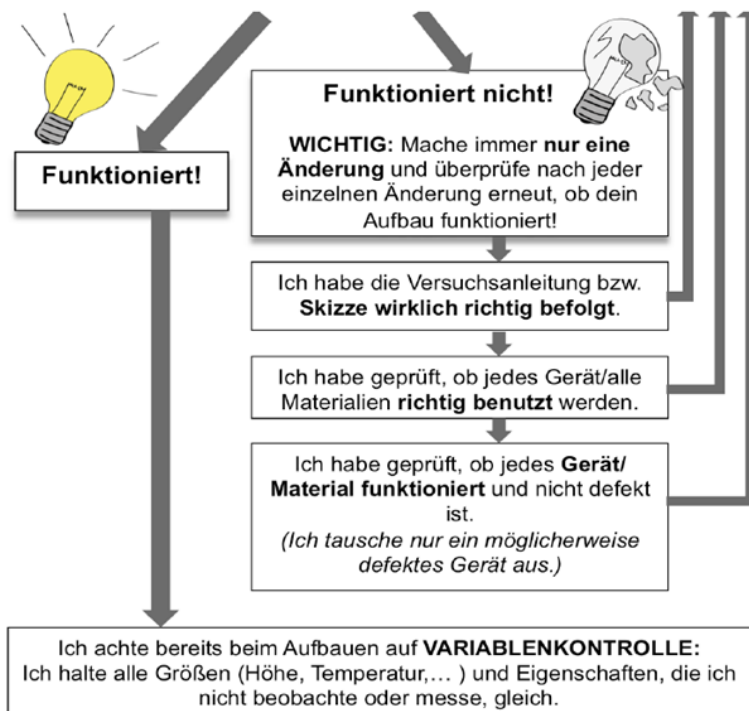
Versuch aufbauen – Checkliste



H.Schecker, Uni Bremen, IDN

Physikdidaktik I 07.04.2016

Versuch aufbauen – Checkliste



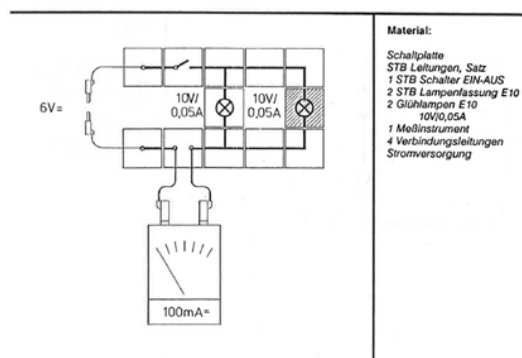
H.Schecker, Uni Bremen, IDN

Physikdidaktik I 07.04.2016

MODIFIZIERUNG EINES EXPERIMENTS

Experiment

PARALLELSCHALTUNG VON GLÜHLAMPEN



Parallelschaltungen bewirken eine Verzweigung des elektrischen Stromes. Wir wollen die Eigenschaften einer Parallelschaltung von zwei Glühlampen untersuchen.

Ziel: Aufgabenstellung entwickeln, die den jeweiligen Teilfacetten gerecht werden!

NTL Schülerexperimente

Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERIMENT MODIFIZIEREN-EINTEILUNG

1. Hypothesen bilden + Erwartungen formulieren
2. Versuchsplan entwerfen + Geräte zusammenstellen
3. Daten interpretieren + Ergebnis auf Fragestellung beziehen
4. Fehlerquellen + Umgang mit Fehlern

Physikdidaktik I 07.04.2016

EXPERTENRUNDE

Bilden Sie Gruppen zu je 3 Personen (dabei müssen drei unterschiedliche Aufgabenbereiche vertreten sein)

Besprechen Sie die unterschiedlichen Herangehensweisen und formulieren sie eine gemeinsame Take-Home Message!

Physikdidaktik I 07.04.2016

CONCLUSIO

- ◉ Experimente spielen eine tragende Rolle in naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozessen
- ◉ Häufiges Experimentieren bedingt nicht automatisch guten Physikunterricht
- ◉ Durch kleine Variationen können leicht unterschiedliche Kompetenzbereiche angesprochen werden
- ◉ Die Experimente an sich müssen dabei nicht jedesmal neu erfunden werden!
- ◉ Die Einbettung in den Unterricht ist wichtig!
- ◉ Das Experiment nimmt eine Doppelrolle ein: Physik lernen, aber auch über Physik lernen
- ◉ Systematische Fehler- und Variablenkontrolle ist wichtig!

Physikdidaktik I 07.04.2016

FEEDBACK

Fragen sind keine Leistungsüberprüfung

Vielen Dank fürs Mitarbeiten!



12.2 Teil B

Feedbackbogen zur Einführung in die Fachdidaktik Physik (Einheit am 17.03.2016)

1. Wie stehen Sie zu folgenden Aussagen?

Aussage	Stimme zu	Stimme nicht zu	Noch nicht überlegt
Die Vor- und Nachbereitung zu einem Experiment spielt eine wesentliche Rolle.			
Der Vorteil am Experimentieren ist, dass jede Person die gleiche Beobachtung macht.			
Fertigkeiten im Bereich „Versuche funktionsfähig aufbauen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet, wenn experimentiert wird.			
Fertigkeiten im Bereich „Versuche planen“ werden im Physikunterricht sozusagen automatisch mitunterrichtet, wenn experimentiert wird.			
Fehlerkontrolle und Fehleranalyse sollte beim Physikunterricht in der Sekundarstufe I eher noch nicht thematisiert werden, um die Schülerinnen und Schüler nicht zu verwirren.			

2. Nennen Sie 7 Facetten experimenteller Kompetenzen

	Experimentelle Teilfacette		Experimentelle Teilfacette

2b) Ordnen Sie diese experimentellen Facetten für die Durchführung von Schülerversuchen nach ihrer Wichtigkeit (1=am wichtigsten, 6= am unwichtigsten). Schreiben Sie die entsprechende Ziffer VOR die genannte Teilfacette ins graue Kästchen.

3. Haben Sie Ihre Überlegungen zum Einsatz von Experimenten im Physikunterricht durch die heutige Einheit geändert?

☐	☐	☐	☐
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Gleich geblieben

sehr verändert

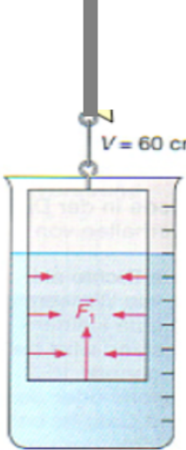
3b) Falls sich Ihre Einstellung verändert hat, beschreiben Sie kurz was sich verändert hat!

4. Welches neue Wissen über experimentelle Kompetenz haben Sie heute erworben?

5. Feedback: Wenn Sie im nächsten Semester diese Einheit gestalten sollten, was würden Sie anders machen?

12.3 Teil C

Finden Sie morphologische und syntaktische Besonderheiten der Fachsprache auf dieser Schulbuchseite.



Die Auftriebskraft
Ein Stein lässt sich im Wasser leichter als in der Luft tragen. Ganz allgemein beobachtet man:
Taucht ein Körper in eine Flüssigkeit ein, so wird seine Gewichtskraft scheinbar kleiner. Diese Erscheinung nennt man **Auftrieb**. Der Auftrieb entsteht durch den Schweredruck.

Einge- tauchtes Volumen	Auftriebs- kraft in Wasser	Auftriebs- kraft in Spiritus
10 cm³	0,1 N	0,07 N
20 cm³	0,2 N	0,14 N
30 cm³	0,3 N	0,21 N
40 cm³	0,4 N	0,28 N
50 cm³	0,5 N	0,35 N
60 cm³	0,6 N	0,42 N

Taucht z.B. ein Quader teilweise in eine Flüssigkeit ein (Abb. > 5), so ruft der Schweredruck p an der Unterseite des Quaders eine Kraft $F = p \cdot A$ hervor. Die Kraft ist nach oben, gegen die Gewichtskraft gerichtet. Sie heißt **Auftriebskraft** F_A . Der Kraftmesser zeigt eine um den Betrag der Auftriebskraft verringerte Gewichtskraft an. Ist der Quader ganz eingetaucht, so verändert sich die Auftriebskraft nicht mehr.

Die vom Schweredruck auf die Seitenflächen des Quaders ausgeübten Kräfte heben sich paarweise auf und beeinflussen deshalb die Kraftanzeige nicht. Durch den Schweredruck erfährt jeder eingetauchte Körper eine nach oben wirkende Auftriebskraft. Sie verringert scheinbar die Gewichtskraft.

5 Zum Entstehen des Auftriebs und Messungen zum Auftrieb

unpersönliche Ausdrucksweise

Verkürzte Nebensatzkonstruktion

fachspezifische Abkürzungen

Die Auftriebskraft

Ein Stein lässt sich im Wasser leichter als in der Luft tragen. **Ganz allgemein beobachtet man:** Taucht ein Körper in eine Flüssigkeit ein, so wird seine Gewichtskraft scheinbar kleiner. Diese Erscheinung nennt man **Auftrieb**. Der Auftrieb entsteht durch den Schweredruck.

Einge- tauchtes Volumen	Auftriebs- kraft in Wasser	Auftriebs- kraft in Spiritus
10 cm³	0,1 N	0,07 N
20 cm³	0,2 N	0,14 N
30 cm³	0,3 N	0,21 N
40 cm³	0,4 N	0,28 N
50 cm³	0,5 N	0,35 N
60 cm³	0,6 N	0,42 N

Taucht z. B. ein Quader teilweise in eine Flüssigkeit ein (Abb. > 5), so ruft der Schweredruck p an der Unterseite des Quaders eine Kraft $F = p \cdot A$ hervor. Die Kraft ist nach oben, gegen die Gewichtskraft gerichtet. Sie heißt **Auftriebskraft** F_A . Der Kraftmesser zeigt eine um den Betrag der Auftriebskraft verringerte Gewichtskraft an. Ist der Quader ganz eingetaucht, so verändert sich die Auftriebskraft nicht mehr.

Die vom Schweredruck auf die Seitenflächen des Quaders ausgeübten Kräfte heben sich paarweise auf und beeinflussen deshalb die Kraftanzeige nicht. Durch den Schweredruck erfährt jeder eingetauchte Körper eine nach oben wirkende Auftriebskraft. Sie verringert scheinbar die Gewichtskraft.

Fachbegriffe

Komplexe Attribute

Komposita

Nominalisierungen

erweiterte Nominalphrase

Adjektive auf -bar

komplexe Attribute an Stelle von Attributsätzen

5 Zum Entstehen des Auftriebs und Messungen zum Auftrieb

Gilt das für alle Körper?
Warum z.B. ein Quader?

Wie wird aus einem
Druck eine Kraft
gemacht?

Was passiert
bei ganzem
Eintauchen?

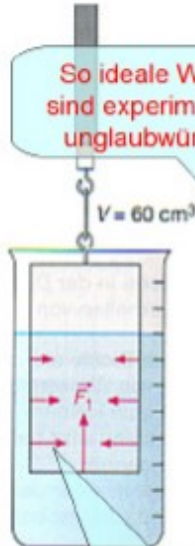
Die Auftriebskraft

Ein Stein läßt sich im Wasser leichter als in der Luft tragen. Ganz allgemein beobachtet man:

So ideale Werte
sind experimentell
unglaublich.

Ein Körper in eine Flüssigkeit
eingetaucht, so wird seine Gewichtskraft
scheinbar kleiner. Diese Erscheinung
nennt man Auftrieb. Der Auftrieb
steht durch den Schweredruck:

Im Text kommt Spiritus
nicht vor.



Einge- tauchtes Volumen	Auftriebs- kraft in Wasser	Auftriebs- kraft in Spiritus
10 cm ³	0,1 N	0,07 N
20 cm ³	0,2 N	0,14 N
30 cm ³	0,3 N	0,21 N
40 cm ³	0,4 N	0,28 N
50 cm ³	0,5 N	0,35 N
60 cm ³	0,6 N	0,42 N

Taucht z. B. ein Quader teilweise in eine
Flüssigkeit ein (Abb. ► 5), so ruft der
Schweredruck p an der Unterseite des
Quaders eine Kraft $F = p \cdot A$ hervor.
Die Kraft ist nach oben, gegen die Ge-
wichtskraft gerichtet. Sie heißt Auf-
triebskraft F_A . Der Kraftmesser zeigt ei-
ne um den Betrag der Auftriebskraft
verringerte Gewichtskraft an. Ist der
Quader ganz eingetaucht, so verän-
dert sich die Auftriebskraft nicht mehr.

Gleichgewichtskräfte?

Die vom Schweredruck auf die Seiten-
flächen des Quaders ausgeübten Kräfte
heben sich paarweise auf und beein-
flussen deshalb die Kraftanzeige nicht.
Durch den Schweredruck erfährt jeder
eingetauchte Körper eine nach oben
wirkende Auftriebskraft. Sie verringert
scheinbar die Gewichtskraft.

5 Zum Entstehen des Auftriebs und Messungen zum Auftrieb

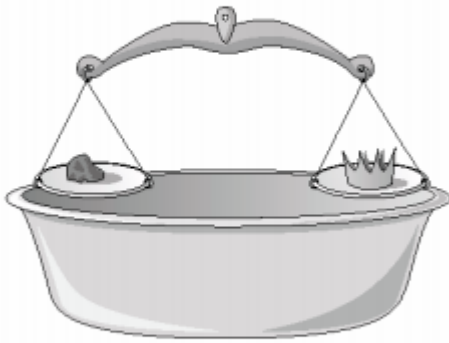
Was sind diese Pfeile?
Kräfte haben eine
Richtung, der Druck nicht.

Was wird scheinbar und was
real verringert?



Auftrieb

Heureka! – Archimedes in der Badewanne



(Der folgende Dialog zwischen König Hieron II. von Syrakus und Archimedes ist erfunden.)

König Hieron: Mein lieber Archimedes. Nun herrsche ich schon seit fast 50 Jahren über unser schönes Sizilien. Erinnerst Du dich noch an die Geschichte, als wir den Goldschmied erwischten? Na ja, das hat ihn sein Leben gekostet. Verdient, nicht wahr?

Archimedes: Ja, ja, ich erinnere mich genau, als wäre es gestern gewesen. Ihr hattet Euch eine neue Krone anfertigen lassen. Wie üblich bekam der Goldschmied das Stück Gold und lieferte eine fertige Krone ab. Eine schöne Krone, das muß ich schon zugeben. Aber man ist misstrauisch. Es ist ja bekannt, dass die Goldschmiede von dem Gold immer etwas stehlen und auf dem Schwarzmarkt verkaufen. Aber der war besonders schlau. Die Goldkrone wog ganz genau so viel, wie Sie ihm als Goldklumpen gaben. Das machte ihn sicher.

König Hieron: ... zu sicher, denn er hat nicht mit deiner List gerechnet. Ich gab dir damals den Auftrag, den Kerl zu überführen. Du hast nachgedacht und nachgedacht, nichts fiel dir ein. Du warst sehr verärgert. Und dann plötz-

lich, in der Badewanne fiel es dir ein. Fast nackt kamst du zum Palast gelaufen und riefst: „Heureka, Heureka!“ Die ganze Stadt lief zusammen, zu lustig. Ich denke so gerne daran, mein lieber Archimedes. Wie kamst du bloß auf diese Idee? Du hast es ja auch in deinem Buch „Über schwimmende Körper“ beschrieben, aber ich höre es lieber von dir selbst.

Archimedes: Das war so: Während ich in der Badewanne saß, stellte ich mir das Stück Seife immer wieder als Goldklumpen vor. Ich brach ein Stück davon ab. Ich dachte es mir als das, was der Goldschmied Ihnen stahl. Damit das Gewicht der Krone stimmte, musste er das abgebrochene Stück durch ein anderes Metall ersetzen.

König Hieron: ...ja, aber wieso sieht man das nicht?

Archimedes: Das ist leicht zu verstehen. Das Gold wird mit dem Metall eingeschmolzen, die beiden Metalle vermischen sich so, dass man das nicht sieht.

König Hieron: Und wie hast du ihm den Betrug nachgewiesen?

Archimedes: Ich habe mir den Goldklumpen durch das minderwertige Metall ersetzt vorgestellt. Aber Gold ist das schwerste Metall, das wir kennen, das heißt: Gold hat bei gleichem Gewicht ein kleineres Volumen als jedes andere Metall. Also nimmt das Ersatzmetall ein größeres Volumen ein als das gestohlene Gold. Wenn ich nun beides unter Wasser tauche, dann ist das Ersatzmetall unter Wasser leichter als das Gold. Sie haben doch bestimmt schon mal beim Baden festgestellt, dass das Wasser beim Tragen hilft: die Beine und Arme sind unter Wasser leichter als in der Luft, die Seife und alles ist in Wasser leichter. Das Wasser hilft beim Tragen. Das nenne ich „Auftrieb“. Je mehr Wasser von dem eingetauchten Gegenstand verdrängt wird, umso

größer ist der Auftrieb, also die Hilfe des Wassers beim Tragen. Das ist ein Naturgesetz und ich hab es in meinem Buch aufgeschrieben.

König Hieron: Ach so, ich verstehe. Das Ersatzmetall verdrängt mehr Wasser als der gestohlene Goldklumpen, weil Gold die größte Dichte hat.

Archimedes: O, Ihre Majestät beherrschen die Fachausdrücke: Dichte. Gut, gut!

König Hieron: Ja, wenn man ständig mit dir zu tun hat, dann lernt man doch eine Menge. Aber lass mich verstehen, wie der Kerl erwischt wurde. Weil das Ersatzmetall mehr Wasser verdrängt als Gold, hat das Ersatzmetall einen größeren Auftrieb. Deshalb hat das Ersatzmetall unter Wasser ein kleineres Gewicht als der gestohlene Goldklumpen. Dann müsste also beides, an eine Balkenwaage gehalten, in der Luft gleich schwer sein und, wenn es in die Badewanne eingetaucht wird, müsste sich die Waagschale mit der Krone heben. Genau das haben wir dann gemacht. Du erinnerst Dich?

Archimedes: Sehr gut! Majestät hatten ihn in den Festsaal gebeten. Dort hatten Sie eine große Badewanne mit Wasser aufstellen lassen. Auf der rechten Waagschale lag ein Goldklumpen. Er war genau so schwer wie der, den Sie ihm damals gaben. Der Goldschmied kam herein. Sie fragten ihn, ob er alles Gold in der Krone verarbeitet hätte. Er sagte: „Ja, Eure Majestät, wie könnte ich Sie betrügen. Ich schwöre es bei Zeus.“ Dann nahm Ihr die Krone vom Kopf, legte Sie auf die linke Waagschale und sie kam ins Gleichgewicht. „Seht Ihr, Eure Majestät, der Beweis. Ich habe keine Schuld“, rief der Goldschmied.

König Hieron: Und dann kamst du, senkstest die Waage langsam in das Wasser, und sie kam aus dem Gleichgewicht. Das Gesicht des Goldschmieds werde ich nie vergessen. Er hatte es physikalisch nicht verstanden, aber er hatte verstanden, dass wir ihn überführt haben. Er kennt deine List, deinen genialen Verstand. Trotzdem kostete es ihn das Leben. Lange ist es her. Schöne Zeiten! Wir haben schwere Zeiten vor uns. Mich wird man vergessen, aber von dir wird man auch noch in 2000 Jahren reden, von dem großen Archimedes von Syrakus.

Archimedes (287 - 212 v. Chr.):
griechischer Mathematiker, Denker, Erfinder

Hieron II. (275 - 215 v. Chr.):
König von Sizilien in der Hauptstadt Syrakus

Hannibal (246 - 182 v. Chr.):
General in Kartago (Nordafrika).
Er ging mit einer Armee mit Elefanten über die Alpen.

Goldklumpen: Ein großes Stück Gold

List: eine schlaue Idee

Heureka: griechisch für: Ich hab es gefunden!

minderwertig: billig, nicht viel wert

Auftrieb: der scheinbare Gewichtsverlust in einer Flüssigkeit

Dichte: Dichte = Masse/Volumen

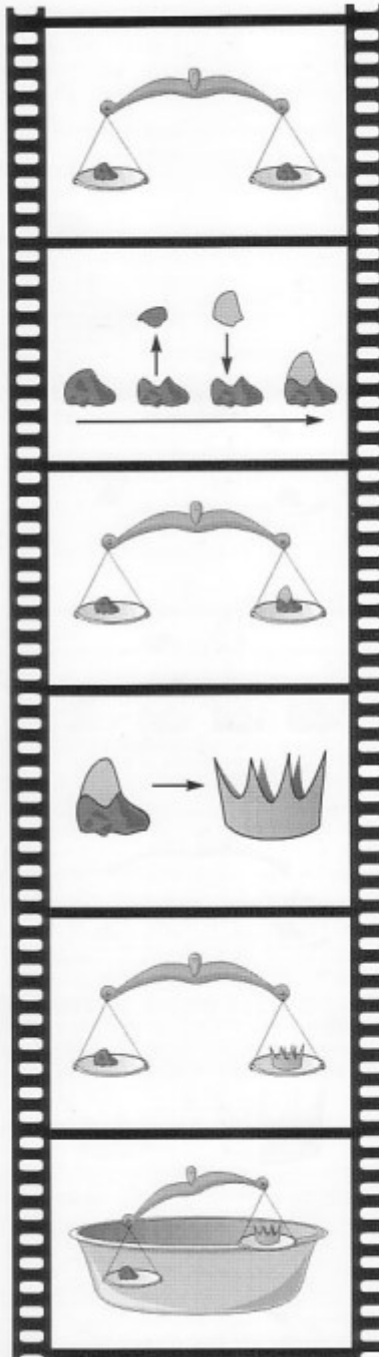
Balkenwaage: siehe Bild

Waagschale: Teller an der Balkenwaage

Majestät: So sagt man zu einem König

Zeus: griechischer Gott

Ein Experiment darstellen und beschreiben



Der König ... 

Der Goldschmied ...

Die Mischung (Legierung) aus

Der Goldschmied ...

Die Krone ...

W