



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zum Thema
Photovoltaik für die AHS Unterstufe“

verfasst von / submitted by

Susanne König

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 412 344

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Physik UF Englisch

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Prof.ⁱⁿ Mag.^a Dr.ⁱⁿ Ilse Bartosch

Danksagung

„Was, du studierst Physik?!“ – Seit dem Moment, in dem ich diesen Satz zum ersten Mal gehört habe bis hin zum heutigen Tag, an dem ich die letzten Seiten meiner Diplomarbeit verfasse, sind nun beinahe sechs Jahre vergangen. Ich möchte allen Personen, die mich in dieser Zeit unterstützt haben, meinen Dank ausdrücken – für die Lernzirkel zu Hause oder in der Bibliothek, für das gegenseitige Erklären und Ermutigen oder einfach nur für die gemeinsamen Lernpausen. Überdies gilt es nun einige Personen zu erwähnen, die einen besonderen Beitrag zum Erreichen dieses Ziels geleistet haben.

Als erstes möchte ich Prof.ⁱⁿ Mag.^a Dr.ⁱⁿ Ilse Bartosch für ihre sehr persönliche und intensive Betreuung bedanken. Während des gesamten letzten Jahres blieb keines meiner zahlreichen Mails unbeantwortet und jeder meiner Fragen begegnete sie immer mit Geduld und Interesse. Mein Dank gilt auch meinem Betreuer Prof. Dr. Martin Hopf, der im Diplomand_innenseminar immer ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte und mir mit konstruktiven Rückmeldungen und zahlreichen Anregungen weiterhalf.

Bei der Entwicklung der Photovoltaik-Materialien wurde ich tatkräftig von Frau Mag.^a Roswitha Avalos unterstützt. Unsere Skype-Gespräche und gemeinsamen Brainstormings gaben mir die Orientierung, die ich brauchte, um meine ersten Schritte in der Gestaltung von Unterrichtsmaterialien zu machen. Auch Ass.-Prof. Dr. Viktor Schlosser stand mir in dieser Zeit mit Fachwissen, Literaturvorschlägen und zahlreichen Tipps zur Seite.

Mein Dank gebührt auch Herrn Mag. Günter Maresch, der meinem Vorhaben mit Interesse und Wohlwollen begegnet ist und mir ermöglicht hat, meine Testungen am Erich Fried Realgymnasium durchzuführen. Auch Frau Mag.^a Andrea Schimon und Frau Mag.^a Sigrid Kolb haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen, indem sie meine Materialien aufgeschlossen in ihren Unterricht integrierten und mit mir gemeinsam nach Möglichkeiten suchten, diese zu optimieren.

Auch Mag. Geza Papp möchte ich meinen Dank aussprechen, denn ohne ihn hätte ich wahrscheinlich niemals die Geräte, geschweige denn die praktische Vorbereitung erhalten, die für das Experimentieren in der Schule notwendig waren. Er hatte für jedes Problem immer eine Lösung parat und versorgte mich mit Taschen voller Experimentiermaterial.

Meinen Studienkolleg_innen Louisa, Rafaela, Claudia, Julia, Barbara, Alex, Markus und Leander bin ich sehr dankbar dafür, dass sich sie die Zeit genommen haben, um mich bei meinen Beobachtungen und die Schüler_innen beim Experimentieren zu unterstützen, mir Rückmeldungen zu den Unterrichtsmaterialien zu geben und mir Mut zu machen, dass schon alles glatt laufen wird. Danke auch an meine Korrekturleser_innen für ihren Blick fürs Detail und ihre Geduld.

Bei meinen Eltern bedanke ich mich dafür, dass sie mir mein Studium in Wien ermöglicht haben und in den letzten sechs Jahren Zeit nie aufhörten, an mich zu glauben. Meiner Omi möchte ich ebenfalls meinen Dank für ihre Unterstützung aussprechen. Auch meine beiden Schwestern haben mir immer

wieder unter die Arme gegriffen, indem sie als Fokusgruppe und Testpersonen für meine Unterrichtsmaterialien fungierten.

Mein letztes Dankeschön geht an meinen Freund Raphael, der mit mir alle Höhen und Tiefen des Studiums gemeistert hat und dabei Praktikumpartner, Korrekturleser und Versuchskaninchen für jedes Microteaching war.

Wien, Mai 2018

Abstract

Obwohl die Photovoltaik als Option zur Energieautarkie eine herausragende Rolle in der erneuerbaren Energiebereitstellung spielt, besitzt sie bisher nur eine geringe Relevanz in den österreichischen AHS-Lehrplänen. Im Rahmen eines Projektpraktikums an der Fakultät für Physik wurden Lernumgebungen entwickelt, die dieses zentrale Thema aufgreifen und den Lernenden erste Einblicke in die Grundlagen der Photovoltaik sowie deren Potential für eine verlässliche und nachhaltige Energieversorgung ermöglichen. Gleichzeitig soll dabei ein Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (NdN) erfolgen, indem die Schüler_innen forschungsähnliche Untersuchungen durchführen und diese mit realen naturwissenschaftlichen Forschungsprozessen vergleichen. Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Teil der Lernumgebung für die AHS Unterstufe nach dem Prinzip des Design-Based Research Ansatzes in zwei Klassen der achten Schulstufe auszutesten und anhand dessen zu optimieren. Außerdem soll ermittelt werden, inwiefern die durchgeführte Lernumgebung zu einer Veränderung von Lernendenvorstellungen über naturwissenschaftliche Forschung führt. Für die Datensammlung wurden dabei Unterrichtsbeobachtungen, Audio- und Videoaufnahmen, Rückmeldungen der Teilnehmer_innen sowie Fragebögen zur Ermittlung von Präkonzepten eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Materialien nur bedingt einen Lernprozess im Bereich der NdN ermöglichen und daher eine Optimierung der entsprechenden Aktivitäten notwendig ist. Überarbeitungsbedarf besteht außerdem im Bereich der sprachlichen und inhaltlichen Passung der Arbeitsmaterialien an das Niveau der Zielgruppe ebenso wie hinsichtlich der gestuften Lernhilfen, die in ihrer momentanen Form den Lern- und Arbeitsprozess der Schüler_innen nicht immer gezielt unterstützen.

Despite its prominent role in renewable energy supply, photovoltaics occupies only a marginal space in the Austrian AHS curriculum. During a project-based practical course at the faculty of Physics, teaching materials have been developed in order to address this important topic and to provide an insight into the fundamentals of photovoltaics as well as its potential in reliable and sustainable energy provision. At the same time, the teaching materials should enable students to learn about the Nature of Science (NoS) as they carry out a research-based investigation and compare it to authentic scientific research. The aim of this diploma thesis is to evaluate a part of the developed teaching materials for the lower secondary level by using them in two eight-year classes and optimizing them according to the Design-Based Research approach. Furthermore, the thesis aims to determine the extent to which the materials promote a development in students' conceptions about scientific research. Class observation, audio and video recording, participant feedback and questionnaires for determining students' conceptions have been used to collect data. The results show that the teaching materials are only partly successful in promoting learning about the NoS and that the respective tasks require optimization. Further revision is also necessary with regard to the linguistic appropriateness of the materials as well as the complexity of their content. Another area of improvement concerns the developed teaching aids, as their current form cannot ensure systematic support of the students' learning process.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	10
2. Didaktische Konzepte und Methoden.....	13
2.1. Forschendes Lernen.....	13
2.1.1. Grundaspekte des forschenden Lernens	13
2.1.2. Gestaltungsformen des forschenden Lernens	14
2.2. Die Natur der Naturwissenschaften.....	16
2.2.1. Die Grundaspekte der NdN	16
2.2.2. NdN-Lernen im Physikunterricht	19
2.3. Das 5E-Modell	21
3. Didaktische Rekonstruktion	25
3.1. Das Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion	25
3.2. Fachliche Klärung der relevanten Inhalte.....	28
3.2.1. Physikalische Grundlagen	28
3.2.2. Elementarisierung der fachwissenschaftlichen Sachstrukturen	37
3.3. Schülervorstellungen	41
3.3.1. Charakterisieren von Schülervorstellungen.....	42
3.3.2. Von der Schülervorstellung zum physikalischen Konzept	43
3.3.3. Schülervorstellungen zur Photovoltaik.....	45
3.3.4. Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften.....	48
3.4. Didaktische Strukturierung der Experimentierphase.....	51
3.4.1. Bezug zum NAWI-Kompetenzmodell und Lernziele	51
3.4.2. Bezug zum Physik-Lehrplan der AHS Unterstufe.....	52
3.4.3. Bezug zur Alltagswelt der Lernenden	53
4. Eingesetzte Methodenwerkzeuge	55
4.1. Think-Pair-Share.....	55
4.2. Gestufte Lernhilfen	56
4.3. Aushandeln	57
4.4. Concept Cartoons.....	57
5. Die entwickelte Lernumgebung: „Eine sonnige Zukunft?“	59
5.1. Arbeit im Projektpraktikum und Weiterentwicklung der Materialien.....	59
5.2. Beschreibung der auszutestenden Experimentiersequenz	62
5.3. Begründung der Experimentierphase als Fokus der Testung	67
5.3.1. Forschendes Lernen mit gestuften Hilfen	67
5.3.2. Lernen über naturwissenschaftliche Forschung	68
6. Forschungsmethoden	70
6.1. Design-Based Research.....	70

6.1.1. Praktische Anwendung des Design-Based Research Ansatzes	71
6.1.2. Ablauf der Testungen	72
6.2. Methoden für die Datensammlung	74
6.2.1. Unterrichtsbeobachtung inklusive Audio- und Videoaufnahmen	75
6.2.2. Rückmeldung von Lehrkräften und Lernenden	76
6.2.3. Fragebogen zu Schülervorstellungen von Forschung	76
6.3. Methoden der Datenanalyse	82
6.3.1. Key Incident Analyse	82
6.3.2. Qualitative Inhaltsanalyse	83
7. Auswertung der Unterrichtsbeobachtungen und des Feedbacks	84
7.1. Key Incident Analyse der Beobachtungen und Aufnahmen	84
7.1.1. Unbekanntheit des Photovoltaikbegriffs	84
7.1.2. Verständnisprobleme beim Filmstreifen	85
7.1.3. Schwierigkeiten mit dem Infoblatt 2	87
7.1.4. Probleme beim Aufstellen einer Forschungsfrage	88
7.1.5. Hinweise ident zu den Fragestellungen auf dem Arbeitsblatt	91
7.1.6. Probleme mit den Lösungstexten der Lernhilfen	92
7.1.7. Verwirrung bei der Nummerierung der Hilfekarten	92
7.1.8. Schwierigkeiten mit dem Parameterbegriff	94
7.1.9. Annahme: Eine Solarzelle liefert 0,5 Volt	94
7.1.10. Schwierigkeiten bei der Auseinandersetzung mit dem Messgerät	96
7.1.11. Unsicherheit bezüglich Schaltskizze, Tabelle und Koordinatensystem	99
7.1.12. Verwirrung durch Beispielwerte in den Hilfekarten	100
7.1.13. Negative Erfahrungen mit Solarzellen	101
7.1.14. Verwirrung beim Concept Cartoon	101
7.2. Rückmeldungen der Teilnehmer_innen	102
7.2.1. Feedback der Lehrerinnen	102
7.2.2. Feedback der Lernenden	104
7.3. Dateninterpretation und Optimierungsvorschläge auf Basis der Beobachtungen und Aufnahmen	105
7.3.1. Sprachliche/inhaltliche Passung und Optimierung	106
7.3.2. Optimierung der gestuften Lernhilfen	110
7.3.3. Optimierungsvorschläge, die über die Diplomarbeit hinausgehen	111
8. Auswertung der Fragebögen zur NdN	114
8.1. Qualitative Inhaltsanalyse der Antworten	114
8.1.1. Item 1: Arbeitsweisen in der Forschung	114
8.1.2. Item 2: Naturwissenschaftliche Experimente	121

8.1.3.	Item 3: Experimente in der naturwissenschaftlichen Wissensgenese.....	123
8.1.4.	Item 4: Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschung	126
8.1.5.	Item 5a: Unterscheidung zwischen Beobachtung und Experiment	128
8.1.6.	Item 5b: Definition von Naturwissenschaftlichkeit	131
8.1.7.	Item 6: Kreativität in der Forschung.....	133
8.2.	Dateninterpretation und Optimierungsvorschläge auf Basis der Fragebögen	136
8.2.1.	Optimierung der NdN-Aktivitäten.....	136
8.2.2.	Bezug zu den Schülervorstellungen in der Literatur	140
8.2.3.	NdN-Lernen mit Hilfe der ausgetesteten Materialien.....	143
9.	Zusammenfassung und Fazit.....	148
10.	Einschränkungen der Diplomarbeit und Ausblick	151
11.	Literaturverzeichnis	154
12.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	160
13.	Anhang	161
13.1.	Fragebogen	161
13.2.	Kodierleitfaden für Item 1	165
13.2.1.	Kodierleitfaden für die 4B Klasse	165
13.2.2.	Kodierleitfaden für die 4A Klasse	167
13.3.	Optimierte Unterrichtsmaterialien.....	170

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und den damit verbundenen Auswirkungen sowie den äußerst beunruhigenden Prognosen über deren weiteren Verlauf stellt die großflächige Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung mittels erneuerbarer Ressourcen eine der wichtigsten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Zusätzlich geht der begrenzte Vorrat an fossilen Brennstoffen, welcher den Großteil des weltweit steigenden Energiebedarfs abdeckt, langsam zuneige. Die Erschließung dieser Energieträger wird immer aufwändiger und teurer. Daher ist es notwendig, nach nachhaltigen Alternativen für die Bereitstellung jener elektrischen Energie zu suchen, die in beinahe allen Bereichen unseres Alltags eine unentbehrlich gewordene Dienstleistung darstellt. Die Photovoltaik (PV) stellt dabei eine aussichtsreiche Option dar, da sie die praktisch unerschöpfliche Menge an Sonnenlicht nutzt, die täglich auf die Erde trifft, und einen Teil dieser Energie in Form von Elektrizität für den Menschen verwertbar macht. Ein emissionsfreier, lautloser Betrieb, Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit sowie Verlässlichkeit und Beständigkeit bilden nur ein paar der zahlreichen Vorteile der PV-Technologie. Gleichzeitig werden laufend neue Möglichkeiten entwickelt, um die Effizienz von Solarzellen zu steigern und somit die Gesamtkosten von Photovoltaikanlagen zu senken, beispielsweise durch den Einsatz von Farbstoffzellen aus Perowskit-Verbindungen oder die Kombination mehrerer Zellen zu Tandems. Der Einsatzbereich der Photovoltaik hat sich seit ihren Ursprüngen in der Raumfahrt der Sechziger Jahre deutlich vergrößert, weshalb Solarzellen heute in verschiedensten Anwendungsbereichen eingesetzt werden, die von Kleingeräten wie Taschenrechnern oder Powerbanks über freistehende und fassadenintegrierte Photovoltaik-Anlagen bis hin zu Fahrzeugen, Straßen und ganzen Solarparks reichen.

Trotz dieser steigenden Präsenz im Alltag und der zunehmenden Bedeutung der Photovoltaik in der erneuerbaren Energieversorgung scheint die PV-Technologie nur begrenzt Einzug in den Lehrstoff und die Unterrichtspraxis der österreichischen Allgemeinbildenden Höheren Schulen (AHS) zu finden. Dabei erscheint es vor dem Hintergrund der beschriebenen Herausforderungen der Energiebereitstellung als besonders wichtig, dass den Lernenden bereits in der Unterstufe im Rahmen des Physikunterrichts eine Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten der erneuerbaren Energiegewinnung und insbesondere mit der Photovoltaik als vielversprechende Alternative der Bereitstellung elektrischer Energie ermöglicht wird. So können in der Oberstufe aufbauend auf diesem bestehenden Grundwissen komplexere Themen in Bezug auf die Thematik der Energieversorgung und -nutzung behandelt werden. Weiters entwickeln die Lernenden dadurch bereits früh einen verantwortungsvollen Umgang mit Energieressourcen und erhalten durch kontinuierliche Anwendung und Festigung dieser Erfahrungen im Laufe ihrer Schulzeit die Möglichkeit, als mündige Bürger_innen an Fragen der Energieversorgung teilhaben zu können. Im Sinne des „allgemeinbildenden Anspruch[s] schulischen Unterrichts“ (Heering & Schecker, 2011, S. 16) ist für diese kritische Auseinandersetzung auch die Entwicklung einer „*Scientific Literacy*“ beziehungsweise einer „naturwissenschaftliche[n] Grundbildung“ (Heering &

Schecker, 2011, S. 16) notwendig. Das heißt, dass die Schüler_innen mit den Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaft und den dabei stattfindenden Forschungsprozessen vertraut gemacht werden, indem diese Aspekte im Physikunterricht sowohl implizit in der Durchführung forschungsähnlicher Untersuchungen als auch mittels expliziter Reflexion adressiert werden.

Im Zuge des Projektpraktikums *SOLARbrunn - mit der Sonne in die Zukunft: Erstellen und Erproben von Aufgaben auf Basis der Ergebnisse des Projekts SOLARbrunn* im Sommersemester 2017 wurden Unterrichtsmaterialien erstellt, die eine Auseinandersetzung mit diesen Themenbereichen in der Ober- und Unterstufe ermöglichen sollen und dabei den Anspruch stellen, neben der Vermittlung von Fachwissen hinsichtlich der Photovoltaik ebenfalls ein Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (NdN) zu ermöglichen. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, eine ausgewählte Sequenz der entwickelten Lernumgebung für die AHS Unterstufe in zwei Klassen der achten Schulstufe auszutesten und die Unterrichtsmaterialien auf Basis der Ergebnisse zu optimieren, wobei entlang des Design-Based-Research Ansatzes gearbeitet wird. Für die Erprobung wird die Experimentierphase ausgewählt, im Zuge derer die Lernenden nach der Methode des forschend-entdeckenden Unterrichts entlang der Eigenschaften realer physikalischer Forschung weitgehend selbstständig ein Experiment zur Untersuchung bestimmter Eigenschaften einer Solarzelle planen, durchführen und nachbereiten und dabei ihren eigenen Forschungsprozess reflektieren. Innerhalb dieses Evaluations- und Überarbeitungsprozesses liegt der Fokus auf der sprachlichen und inhaltlichen Passung der Materialien im Hinblick auf die Zielgruppe, den gestuften Lernhilfen und den NdN-Aktivitäten. Zusätzlich zur Optimierung der Lernumgebung hinsichtlich dieser drei Aspekte werden mit Hilfe der Testung Lernendenvorstellungen zur NdN erhoben und deren Veränderung im Laufe der Unterrichtssequenz untersucht. Für die Datensammlung werden Unterrichtsbeobachtungen, Audio- und Videoaufnahmen, Fragebögen und persönliche sowie schriftliche Rückmeldungen der teilnehmenden Schüler_innen und Lehrkräfte eingesetzt.

In Kapitel 2 werden die didaktischen Konzepte vorgestellt, welche der entwickelten Lernumgebung zugrunde liegen. Diese umfassen die Unterrichtskonzeption des forschenden Lernens, die Natur der Naturwissenschaften oder ‚Nature of Science‘ und das 5E-Modell zur Unterrichtsstrukturierung. Kapitel 3 widmet sich der Didaktischen Rekonstruktion, wobei auf die theoretischen Grundlagen dieses Ansatzes eingegangen wird und eine entsprechende Bearbeitung jener Inhalte erfolgt, die mit Hilfe der Lernumgebung vermittelt werden sollen. Kapitel 4 dient der Beschreibung der Methodenwerkzeuge, die im Zuge der Experimentiersequenz eingesetzt werden. Diese umfassen die ‚Think-Pair-Share‘ Methode, den Einsatz gestufter Lernhilfen und das Arbeiten anhand von Aushandlungsprozessen und Concept-Cartoons. In Kapitel 5 wird die entwickelte Lernumgebung vorgestellt, wobei zunächst auf die Erstellung und erste Optimierung der Materialien im Rahmen des Projektpraktikums eingegangen wird, während anschließend eine Übersicht über die Struktur der Lernumgebung geboten wird. Weiters erfolgt eine Beschreibung der auszutestenden Unterrichtssequenz und eine Begründung für die Wahl der Experimentierphase als Gegenstand der Testung. Kapitel 6 bietet einen Überblick über die

Forschungsfragen, welche im Rahmen der Untersuchung beantwortet werden sollen, und die Grundzüge des Design-Based Research Ansatzes, welcher der Evaluation und Optimierung der Unterrichtsmaterialien zugrunde liegt. Die verwendeten Methoden der Datensammlung und -analyse werden ebenfalls kurz erläutert. Die Auswertung der Unterrichtsbeobachtung und der Ableitung entsprechender Optimierungsvorschläge erfolgt in Kapitel 7, während Kapitel 8 die Auswertung der Fragebögen umfasst. Dabei werden zunächst weitere Verbesserungspotentiale der NdN-Aktivitäten diskutiert und anschließend die Veränderungen der Vorstellungen zur NdN im Rahmen der Testung beschrieben. Kapitel 9 bietet eine zusammenfassende Rückschau auf die Ergebnisse der Testung im Hinblick auf die gestellten Forschungsfragen. Zum Abschluss werden die Einschränkungen der Diplomarbeit erläutert sowie ein Ausblick auf mögliche Implikationen für die Unterrichtspraxis sowie weitere Schritte im Forschungsprozess gegeben.

2. Didaktische Konzepte und Methoden

Bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien wurden mehrere didaktische Grundsätze berücksichtigt, die im Rahmen dieses Kapitels vorgestellt werden sollen. Zunächst erfolgt eine Einführung in die Methode des forschenden Lernens, welche wiederum eng mit einem weiteren Aspekt, der Natur der Naturwissenschaften (NdN), verknüpft ist. Ein weiteres Element der didaktischen Gestaltung bildet das 5E-Modell für die Strukturierung des Unterrichts. Ein weiteres Element der didaktischen Gestaltung bildet das Konzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE), welches im Zuge der Diplomarbeit jedoch nicht ausführlich thematisiert wird, da es für die auszutestende Unterrichtssequenz von untergeordneter Bedeutung ist.

2.1. Forschendes Lernen

Henke (2016, S. 126-127) formuliert den Begriff des forschenden oder forschend-entdeckenden Lernens, auf Englisch ‚inquiry-based learning‘, folgendermaßen:

„Im forschend angelegten Physikunterricht planen Lernende eigenständig forschungsähnlich angelegte Untersuchungen, führen sie durch und werten sie aus, um empirisch begründete Aussagen zu physikalischen Sachverhalten zu treffen“.

Der Forschungsprozess der Schüler_innen wird dabei mittels eines „didaktisch abstrahierten ‚Drehbuchs‘“ (Henke, 2016, S. 127, beziehend auf Abrams et al., 2008) so strukturiert, dass er die Gestalt authentischer naturwissenschaftlicher Forschung annimmt. Im Sprachgebrauch wird forschendes Lernen jedoch fälschlicherweise oftmals als Sammelbegriff für verschiedene innovative Unterrichtsmethoden eingesetzt, die nicht unbedingt der oben genannten Definition entsprechen, wie zum Beispiel problembasiertes Lernen, „hands-on learning“ oder „learning by doing“ (Capps et al., 2012, S. 293).

2.1.1. Grundaspekte des forschenden Lernens

Forschendes Lernen eignet sich nicht nur dazu, die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden in der Vorbereitung, Durchführung und Reflexion eines Forschungsprozesses zu schulen, sondern bietet auch die Möglichkeit für tiefergreifendes Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (siehe Kapitel 2.2.) (vgl. Henke, 2016, S. 127). Beide dieser Dimensionen können zu dem Ziel beitragen, Lernende durch die Konfrontation mit Aspekten realer naturwissenschaftlicher Forschung diejenigen Kompetenzen mitzugeben, die sie für die Gestaltung eigenständiger Untersuchungen benötigen (vgl. Germann, Haskins & Aulis, 1996, zitiert nach Sadeh & Zion, 2009, S. 1138).

Die dabei zu entwickelnden „fachmethodische[n] Fertigkeiten“ (Henke, 2016, S. 127) beinhalten nach Capps und Crawford (2013, S. 499) unter anderem die Fähigkeiten, eigene Forschungsfragen aufzustellen, zur Beantwortung dieser Fragestellungen ein geeignetes Untersuchungsdesign zu entwickeln, dieses im konkreten Experiment umzusetzen, entsprechende Messdaten zu erhalten und

anhand von Datenanalyse- und Interpretationsprozessen geeignete Schlussfolgerungen zu ziehen und Erklärungen zu formulieren. Furtak, Seidl, Iverson und Briggs (2012, S. 301) nennen als weiteren Bestandteil forschenden Lernens die Fähigkeit, die formulierten Erklärungen für untersuchte Phänomene im Klassenverband zu erläutern und zu diskutieren. Diese Eigenschaften spiegeln sich auch in den vom National Research Council (NRC) formulierten Grundaspekten forschenden Unterrichts wider, wobei sich hier überdies der Aspekt „[l]earners evaluate their explanations in light of alternative explanations, particularly those reflecting scientific understanding“ (NRC, 2000, S. 25, zitiert nach Minner et al., 2010, S. 476) findet, der zum einen das Aufkommen unterschiedlicher Lösungsansätze thematisiert und zum anderen den kritischen Vergleich derselben betont.

Forschend-entdeckender Unterricht beschränkt sich jedoch nicht auf die Planung und Durchführung von Versuchen sowie die Diskussion der Ergebnisse, sondern kann überdies auch Phasen der Recherche und Informationsbeschaffung beinhalten und somit ebenfalls entsprechende Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb dieses Arbeitsbereiches fördern (vgl. Lewis, 2006, S. 257). Minner, Levy und Century (2010, S. 479) fügen außerdem noch die Dimension der Motivation hinzu, nach der forschendes Lernen auch positive affektive Reaktionen wie Neugierde, Interesse, Enthusiasmus, Ehrgeiz oder Stolz auf Seiten der Lernenden hervorrufen und fördern kann.

2.1.2. Gestaltungsformen des forschenden Lernens

Obwohl aus den oben genannten Beschreibungen eine weitgehend scharf umrissene Vorstellung der wesentlichen Merkmale forschenden Lernens hervorgeht, scheint es angesichts der konkreten Gestaltung forschend-entdeckenden Unterrichts keinen Konsens unter Expert_innen zu geben (vgl. Furtak et al., 2012, S. 301). Nach Minner, Levy und Century (2010, S. 476) bestehen die größten Uneinigkeiten in diesem Diskurs hauptsächlich in Bezug auf das Lehrerhandeln und das Ausmaß, in dem die Lehrperson im Forschungsprozess ihrer Schüler_innen intervenieren soll.

Im Hinblick auf diese Aspekte lässt sich forschendes Lernen grob auf einer Skala von vorstrukturiertem, stark gelenktem Forschen (structured inquiry) über angeleitetes Forschen (guided inquiry) bis hin zu offenem Forschen (open inquiry) einteilen (vgl. Minner et al., 2010, S. 476; Sadeh & Zion, 2009, S. 1138; Furtak et al., 2012, S. 305). Sadeh und Zion (2009, S. 1137) beschreiben das ‚guided inquiry‘-Ende der Skala als durch vorgegebene Fragestellungen motiviert und mit Hilfe von vorgegebenen Schritten und entsprechenden Instruktionen vorstrukturiert. Das Resultat des Experimentierprozesses ist dabei bereits zu Beginn der Untersuchung festgelegt, die Schüler_innen „ent-decken“ [sic] (Höttecke & Rieß, 2015, S. 33) lediglich etwas Gegebenes nach. Am anderen Ende des Kontinuums steht das offene Forschen, nach dem die Lernenden sowohl ihre Forschungsfrage selbst formulieren als auch geeignete Prozeduren zur Datenerfassung und -interpretation entwickeln, um eigenständig Lösungsansätze für die von ihnen identifizierte Problemstellung zu finden. Die Lehrperson fungiert dabei lediglich als Berater_in und Unterstützer_in im Zuge der einzelnen Phasen des Experimentierprozesses (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1137-1138). Zwischen diesen beiden Extremen befindet sich das angeleitete Forschen.

Nach diesem Zugang werden die zu untersuchenden Forschungsfragen zwar durch die Lehrkraft vorgegeben, jedoch müssen die Lernenden selbst entscheiden, auf welche Art und mit welchen Mitteln diese beantwortet werden können. Das Forschungsdesign ist dadurch wie beim offenen Forschen durch die Schüler_innen selbst bestimmt und erlaubt somit ebenfalls ein gewisses Maß an Freiheit und Ergebnisoffenheit (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1137-1138). Sadeh und Zion (2009, S. 1138) formulieren abseits dieser groben Einteilung eine vierte Variante des forschend-entdeckenden Unterrichts, die sie „[c]oupled inquiry“ nennen und welche sich zwischen ‚open inquiry‘ und ‚guided inquiry‘ befindet, da sie den Schüler_innen eine Wahl zwischen mehreren vorgegebenen Forschungsfragen bietet.

Diese Einteilung zeigt, wie unterschiedlich forschend-entdeckender Unterricht gestaltet werden kann, wenn verschiedene Grade der Strukturierung sowie der Intervention durch die Lehrkraft berücksichtigt werden. Welche dieser Arbeitsformen für die Umsetzung im Schulkontext die angemessenste Alternative darstellt, ist unter Pädagog_innen und anderen Expert_innen jedoch ungeklärt (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1139). Die oben genannten Varianten bieten lediglich unterschiedlich hohe Potentiale, um authentische naturwissenschaftliche Forschung zu simulieren. Henke (2016, S. 127) beschreibt in diesem Zusammenhang sogenannte „verifikationsorientierte Untersuchungen“, wie sie beim strukturierten Forschen durchgeführt werden, als Experimentieren nach „Kochbuch“, und auch Sadeh und Zion (2009, S. 1138) sehen diese stark vorstrukturierten Arbeitsweisen als „working by a recipe“. Im Gegensatz dazu gilt offenes Forschen als „kreativ und evidenzbasiert“ (Henke, 2016, S. 127), da den Schüler_innen Entscheidungsfreiheit in allen Stufen des Experimentierprozesses geboten wird (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1138). Dadurch wird nach Sadeh & Zion (2009, S. 1138) analytisches und problemlösendes Denkvermögen gefördert und geschult, weshalb dieser Prozess sehr stark dem Vorgehen in realen naturwissenschaftlichen Forschungsprozessen ähnelt (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1138). Die dazwischenliegende guided-inquiry-Methode bietet zwar weniger Freiheit und Authentizität als der open-inquiry-Zugang, jedoch sehen Germann, Haskins und Auls (1996, zitiert nach Sadeh & Zion, 2009, S. 1138) einen klaren Vorteil des angeleiteten Experimentierens in dessen semi-strukturiertem Aufbau: „[...] guided inquiry can be used to help students make the transition from a structured inquiry level to an open inquiry level“. Somit bietet angeleitetes Forschen eine Zwischenstufe, die zwar Strukturierungshilfen im Untersuchungsprozess bietet, sich jedoch von den stark fremdgesteuerten, forschungsfernen Vorgehensweisen des strukturierten Forschens unterscheidet.

Minner, Levy und Century (2010, S. 476) warnen jedoch davor, Unterricht schlichtweg anhand dieser Kategorien einen sprichwörtlichen Stempel aufzudrücken, da sowohl unter Wissenschaftler_innen als auch unter Lehrpersonen unterschiedliche Definitionen für die einzelnen Bezeichnungen verwendet werden. Die Aussagekraft solcher Zuschreibungen sind aufgrund divergierender Bedeutungsnuancen also stark begrenzt. Alternativ schlagen die Autor_innen eine Orientierung am Schüler_innenhandeln vor, um zu einer objektiveren Beschreibung verschiedener Unterrichtsformen des forschenden Lernens zu gelangen, anhand dessen sie fünf Stufen der Beteiligung von Lernenden formulieren: (1) „Students

manipulate materials“, (2) „students watch scientific phenomena“, (3) „students watch a demonstration of scientific phenomena“, (4) „students watch a demonstration that is NOT of scientific phenomena“, (5) „students use secondary sources (e.g. reading material, the Internet, discussion, lecture, others‘ data)“ (Minner et al., 2010, S. 479). Diese Einteilung erlaubt jedoch keine Unterscheidung der experimentellen Handlungsebenen, die unter Punkt (1) möglich sind und beinhaltet darüber hinaus Arbeitsformen, die nach den in Abschnitt 2.1.1. genannten Kriterien nicht der Unterrichtsmethode des forschenden Lernens zugeschrieben werden können. Aus diesem Grund soll im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit das Klassifizierungsschema von Sadeh und Zion (2009, S. 1137-1138) übernommen werden, wobei die oben genannten Beschränkungen einer solchen Einteilung anerkannt werden.

2.2. Die Natur der Naturwissenschaften

Die Natur der Naturwissenschaften (abgekürzt NdN), auf Englisch ‚Nature of Science‘ (NoS) kann allgemein definiert werden als die Wissenschaftstheorie, die naturwissenschaftlichem Wissen zugrunde liegt, sowie die Glaubens- und Wertansätze, die diesen Wissenskorporus beeinflussen (vgl. Abd-El-Khalik & Lederman, 2000, S. 666). Schwartz, Lederman und Crawford (2004, S. 611) wählen eine ähnliche Begriffsbeschreibung: „‚NOS‘ refers to the values and underlying assumptions that are intrinsic to scientific knowledge, including the influences and limitations that result from science as a human endeavor“.

2.2.1. Die Grundaspekte der NdN

Nach dem Modell von McComas und Olsen (1998, zitiert nach Ertl, 2010, S. 5-6) umfasst die NdN die vier unterschiedlichen Teilbereiche „Philosophy of Science“ oder „Wissenschaftstheorie“, „History of Science“ oder „Wissenschaftsgeschichte“, „Sociology of Science“ oder „Wissenschaftssoziologie“ und „Psychology of Science“ oder „Wissenschaftspsychologie“, während Durschl und Osborne (2002, S. 48) lediglich die ersten drei Bereiche nennen. Die philosophische Dimension schenkt nach Ertl (2010, S. 6) besonders dem „epistemologischen Wert des (natur)wissenschaftlichen Wissens und dem Status und der Rechtfertigung von (natur)wissenschaftlicher Erkenntnis“ Aufmerksamkeit und hängt damit eng mit der Wissenschaftsgeschichte zusammen, welche den Fokus auf den kulturell-historischen Hintergrund der Wissensgenese in der Naturwissenschaft legt. Die dritte Dimension der NdN bildet die Wissenschaftssoziologie, die sich hauptsächlich mit soziokulturellen Aspekten wie der sozialen Struktur der Scientific Community sowie der charakteristischen Fachkultur, die sie prägt, beschäftigt (vgl. Ertl, 2010, S. 6). Zu guter Letzt widmet sich die Wissenschaftspsychologie den geistigen und seelischen Faktoren, die in der naturwissenschaftlichen Praxis involviert sind (vgl. Ertl, 2010, S. 6). Ertl (2010, S. 6) nennt in diesem Zusammenhang die „Persönlichkeiten der Wissenschaftler [sic] [...], [ihre] Motivationen überhaupt Forschung zu betreiben, welche Ansprüche sie an ihre Tätigkeit haben, welche persönliche[n] oder allgemeine[n] Ziele sie verfolgen [und] wie sie mit Erfolg/Misserfolg umgehen“.

McComas und Olsens (1998) Modell zeigt, dass die Eigenschaften, die das „Wesen“ (Ertl, 2010, S. 5) der Naturwissenschaften ausmachen, für verschiedene Wissenschaftsbereiche von Interesse sind und daher aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet werden kann. Aus diesem Grund ist es nicht überraschend, dass kein allgemeiner Konsens darüber besteht, was nun genau das Wesen der Naturwissenschaft ausmacht (vgl. Ertl, 2010, S. 5; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 666; Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045). Abd-El-Khalick (2012, S. 1045) zeigt außerdem auf, dass alle Vorstellungen von der NdN lediglich vorläufig sind und sich gemeinsam mit der Veränderung der Naturwissenschaften und ihrer Auffassungen ebenfalls weiterentwickeln können. Ungeachtet dieser Heterogenität, die den Begriff umgibt, können jedoch einige zentrale Grundaspekte der NdN formuliert werden, über welche ein weitgehender Konsens in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen herrscht (vgl. Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045; Ertl, 2013, S. 17). Diese allgemein anerkannten Eigenschaften der NdN umfassen dabei je nach Autor_in unterschiedliche Gesichtspunkte, doch die verschiedenen Versionen beinhalten alle dieselben Kernaussagen (vgl. Kampourakis, 2016, S. 670).

Zunächst scheint allgemein akzeptiert zu sein, dass naturwissenschaftliches Wissen lediglich als „vorläufig“ angesehen werden kann, da es stetigen Veränderungen unterliegt (Ertl, 2013, S. 17). Der Wissenskörper der Naturwissenschaften ist daher nicht als statisch oder absolut zu bezeichnen, sondern ist vielmehr dynamisch und abhängig von neuen Informationen und Erkenntnissen, die über bereits bestehendes Wissen hinausgehen oder dieses hinterfragen (vgl. Oliveira et al., 2012, S. 658). Ertl (2013, S. 17) betont jedoch, dass diese Veränderlichkeit nicht mit Unzuverlässigkeit gleichzusetzen ist, da derartige vorübergehende Erkenntnisse nichtsdestotrotz einen legitimen Anwendungsbereich in unserer alltäglichen Lebenswelt besitzen.

Eine zweite Eigenschaft der NdN bildet die herausragende Rolle des empirischen Wissens, das durch „[direkte] oder [indirekte] Beobachtungen einer natürlichen Welt“ erlangt wird (Ertl, 2013, S. 17). Dieser Zugang bildet eine Grundvoraussetzung naturwissenschaftlicher Wissensansprüche, die erst durch direkte oder indirekte empirische Nachweise ihre Gültigkeit erlangen (vgl. Driver et al., 2000, S. 289). Driver, Newton und Osborne (2000, S. 289) merken in diesem Zusammenhang jedoch an, dass dies nicht mit der Annahme gleichzusetzen ist, empirische Forschung müsse nach einem bestimmten Schema ablaufen, das sie als „the ‚scientific method‘“ bezeichnen. Das heißt, dass Empirie zwar eine zentrale Rolle in der naturwissenschaftlichen Wissensgenese spielt, jedoch keinem strikten, universalen Ablauf folgt. In der Forschung können abhängig vom zu untersuchenden Phänomen und der damit verbundenen Fragestellung unterschiedliche Zugänge gewählt werden, von denen das Experiment nur einen darstellt. Eine andere Möglichkeit bietet beispielsweise die Beobachtung eines Vorgangs, ohne dabei Kontrolle auf die das Phänomen beeinflussenden Variablen oder Rahmenbedingungen auszuüben (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Die zentrale Stellung empirischen Wissens bedeutet nach Ertl (2013, S. 18) daher vielmehr, dass die Naturwissenschaft keine „metaphysischen“ Wissensansprüche stellt. Naturwissenschaftliches Wissen muss demnach mit der entsprechenden empirischen Beweislage übereinstimmen, um anerkannt zu werden (vgl. Illinois Institute of Technology, 2017).

Den dritten Aspekt der NdN, der hier beschrieben werden soll, bildet die Tatsache, dass naturwissenschaftliches Wissen nicht vollständig objektiv, sondern vielmehr aufgrund der professionellen Standpunkte sowie des persönlichen und beruflichen Werdegangs der jeweiligen Naturwissenschaftler_innen „theoriegeladen“ (Ertl, 2013, S. 18) ist. Ertl erläutert dazu, dass unterschiedliche Faktoren wie „Motivationen, Emotionen, Kognitionen und Kompetenzen“ eine nicht zu vernachlässigende Rolle im Forschungsprozess spielen. Galili (2015, S. 1310) warnt jedoch vor vereinfachten Aussagen wie „[s]cientific knowledge is *subjective*“ (Hervorh. im Original), da derartige persönliche und theoriegeleitete Elemente im Zuge einer gemeinsamen Aufarbeitung der Ergebnisse in der Scientific Community generell weitgehend aus dem naturwissenschaftlichen Wissen ausgeklammert werden. Ertl (2013, S. 18) betont, dass eine gegenseitige Kontrolle zwischen Wissenschaftler_innen notwendig ist, um den Einfluss dieser Faktoren zu erkennen und auf ein Minimum zu senken, wodurch eine weitgehende Objektivität des Wissens durch „Rekonstruktionsprozesse“ geschaffen werden soll (Ertl 2013, S. 18). Die Heterogenität im Hinblick auf den persönlichen und professionellen Hintergrund unterschiedlicher Naturwissenschaftler_innen kann nämlich dazu führen, dass dieselben Messdaten auf verschiedene Weise interpretiert werden und somit andere Lösungsansätze und Erklärungen gefunden werden (vgl. Niaz, 2009, S. 23, zitiert nach Kampourakis, 2016, S. 670). Eng mit dieser Individualität verbunden ist auch die Tatsache, dass die naturwissenschaftliche Wissensgenese auch Kreativität und Vorstellungskraft auf Seiten der Wissenschaftler_innen verlangt (vgl. Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045). Besonders im Zuge der Erklärungsfindung und der Entwicklung von Modellen wird ein gewisses Maß an Fantasie und Ideenreichtum benötigt, da diese nicht exakt der Realität entsprechen, sondern durch Analogiekonzepte entstehen (vgl. Illinois Institute of Technology, 2017).

Eine vierte Eigenschaft der NdN, über die ein weitgehender Konsens herrscht, ist die Tatsache, dass, wie Ertl (2013, S. 18) es beschreibt, „naturwissenschaftliches Wissen [...] von Menschen in sozialen Aushandlungsprozessen erschaffen [wird] und [...] in einen größeren Rahmen einer menschlichen Gesellschaft und deren Kultur eingebettet [ist]“. In der Wissenschaftsgemeinde spielen Zusammenarbeit, Besprechungen und auch Debatten zwischen Fachkolleg_innen eine große Rolle, weshalb die Prozesse der naturwissenschaftlichen Wissensgenese nicht unabhängig vom jeweiligen soziokulturellen Kontext angesehen werden dürfen, in dem sie stattfinden (vgl. Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045). Wissenschaftler_innen arbeiten nicht nur im Team, sondern sind auch auf Förderungen und finanzielle Unterstützung angewiesen, denn „[v]on gesellschaftlichen, politischen oder wirtschaftlichen Interessen unabhängige Forschungseinrichtungen gibt es wenige, finanziell völlig unabhängige Forscher noch weniger“ (Ertl, 2013, S. 19).

Der letzte Aspekt, auf den hier eingegangen werden soll, ist die Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung sowie zwischen naturwissenschaftlichen Gesetzen und Theorien (vgl. Ertl, 2013, S. 19; Ledermann, 2007, S. 833-835, zitiert nach Kampourakis, 2016, S. 670). Schwartz, Lederman und Crawford (2004, S. 613) betonen, dass sowohl Beobachtungen als auch die daraus hervorgehenden Schlussfolgerungen das Fundament naturwissenschaftlichen Wissens bilden. Demnach bestehen

Beobachtungen in einer „direkten“ Wahrnehmung der Umwelt, während Schlussfolgerungen indirekte „Interpretationen“ dieser Beobachtungen darstellen und daher nicht direkt durch Interaktion mit der Umwelt zustande kommen (Schwartz et al., 2004, S. 613; Oliveira et al., 2012, S. 658). Im Hinblick auf das Zusammenspiel zwischen Gesetz und Theorie bemerkt Ertl (2013, S. 19), dass oftmals eine stark vereinfachte Modellvorstellung des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses vorherrscht, nach dem „[b]ei hohem Bewährungsgrad [...] aus der Theorie dann naturwissenschaftliche Gesetze [werden]“. Auch Schwartz, Lederman und Crawford (2014, S. 613) greifen diese Fehlvorstellung auf, indem sie betonen, dass es sich bei Theorien und Gesetzen um grundlegend unterschiedliche Arten von Wissen handelt, weshalb sich keines der beiden aus dem anderen entwickeln kann: „Theories and laws are different kinds of scientific knowledge. Laws describe relationships, observed or perceived, of phenomena in nature. Theories are inferred explanations for natural phenomena and mechanisms for relationships among natural phenomena“.

2.2.2. NdN-Lernen im Physikunterricht

Im Hinblick auf das Unterrichtsfach Physik bedeutet das, dass die Darstellung von „*Physik als Wissenskorporus*“ für die Entwicklung „realitätsangemessene[r], kritisch-rationale[r] und sinnstiftende[r] Vorstellungen zur Methodik, Epistemologie und soziokulturellen Einbettung von Physik“ auf Seiten der Lernenden nicht ausreicht, sondern dass es notwendig ist, im Unterricht auch die Dimension der „*Physik als Forschungsdisziplin*“ zu adressieren (Hervorh. im Original) (Henke 2016: 124). In den *National Science Education Standards* (NRC, 1996, S. 21, zitiert nach Schwartz et al., 2004, S. 611) wird festgehalten: „[...] students should develop an understanding of what science is, what science is not, what science can and cannot do, and how science contributes to culture“. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, bietet forschend-entdeckender Unterricht ein großes Potential zur Entwicklung solcher adäquater Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. Henke (2016, S. 127) setzt dabei auf „*moderat forschungsähnlich[e]* Untersuchungen“, die „teilweise ergebnisoffen [und] erklärungsorientiert“ gestaltet sind und im Zuge derer die Schüler_innen „unterstützt eigenverantwortlich“ arbeiten und „komplexe Lösungswege mit Strukturierungshilfen“ entwickeln (Hervorh. im Original). Er kontrastiert diesen Ansatz mit „*forschungsferne[n]* Untersuchungen“, die er als „enggeführt, vereinfacht, geschlossen [und] verifikationsorientiert“ beschreibt (Hervorh. im Original) (Henke, 2016, S. 127).

Die Integration von NdN-Aspekten in den Prozess des forschenden Lernens kann auf implizite und explizite Art im Unterricht erfolgen (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 690). Diese Unterscheidung erlaubt dabei nach Abd-El-Khalick und Lederman (2000, S. 690) keine Aussage über die jeweilige spezifische Unterrichtsgestaltung, sondern beschreibt lediglich das Ausmaß an Reflexion über die NdN, das im Zuge der durchgeführten Aktivitäten ermöglicht wird: „The difference lies in the extent to which learners are provided (or helped to come to grips) with the conceptual tools, such as some key aspects of NOS, that would enable them to think about and reflect on the activities in which they are engaged“.

Bei impliziten Aktivitäten ergibt sich ein solches Verständnis der NdN durch praktisches Forschen nach gewissen Leitlinien naturwissenschaftlichen Arbeitens (vgl. Abd-El-Khalick, 2012, S. 1053). Im Gegensatz dazu bildet nach dem expliziten Zugang eine aktive und reflexive Auseinandersetzung mit NdN-Aspekten einen essentiellen Baustein im Lernprozess der Schüler_innen (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 691). Henke (2016, S. 124) plädiert für eine Kombination der impliziten und der expliziten Herangehensweise an die NdN:

„Nach momentanem Forschungsstand sollte sich Unterricht, der absichtsvolles Lehren und Lernen über Physik ermöglichen will, sowohl in seinen impliziten Botschaften über den Weg zu physikalischen Erkenntnissen an der Forschungsdisziplin orientieren als auch explizite wissenschaftstheoretische und -methodische Lerngelegenheiten bereitstellen“.

Ein rein impliziter Zugang würde nämlich das Risiko bergen, „Forschungs-, Lern- und Unterrichtsmethoden didaktisch trivialisierend aufeinander [abzubilden] [...] und so ein eher inadäquates Bild von Forschung [zu] zeichnen“. Auch Abd-El-Khalick (2012, S. 1054) betont in diesem Zusammenhang, dass eine rein implizite Integration der NdN in den Unterricht tendenziell weniger zielführend ist als deren explizite Behandlung, wenn es darum geht, neue, realistischere Sichtweisen über die NdN zu fördern. Gleichzeitig müssen im Sinne der expliziten Herangehensweise entsprechende Aktivitäten geplant und durchgeführt werden, die eine explizite Diskussion dieser Aspekte überhaupt auf sinnvolle Art und Weise ermöglichen (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 691).

Zusätzlich zur „Authentizität“ in Bezug auf reale naturwissenschaftliche Forschungsprozesse, die mit Hilfe des forschenden Lernens angestrebt wird, ergibt sich somit auch eine gewisse „Expliztheit“ und Reflexivität“ des Physikunterrichts im Hinblick auf die NdN (Henke, 2016, S. 125-126). Darüber hinaus fordert Henke (2016, S. 126) die „Fachintegration“ des NdN-Lernens, wonach letzteres in die physikalischen Inhalte des Regelunterrichts integriert werden sollte, und betont, dass forschend-entdeckendes Lernen dabei keinem Selbstzweck, sondern der Untersuchung naturwissenschaftlicher Sachverhalte und der Beantwortung naturwissenschaftlicher Fragestellungen dient. Eine letzte Voraussetzung für erfolgreichen NdN-Unterricht bildet darüber hinaus die „Elementarisierung“ der thematisierten Aspekte, das heißt, eine „Passung von Inhalt zu Lernvoraussetzungen“ sowie die Auswahl geeigneter Unterrichtsmethoden, welche diesem Anspruch gerecht werden können (Henke, 2016, S. 126).

Forschend-entdeckender Unterricht bietet nach Henke (2016, S. 128) vor allem einen fruchtbaren Kontext für die „Illustration von Forschungsmethoden (u. a. Fragen stellen, Experimente nutzen, Hypothesen testen) und ihren epistemischen Funktionen (u. a. Evidenz produzieren, Ideen prüfen, Wissen rechtfertigen)“. Er betont jedoch auch, dass „Überlegungen zu Theoriewandel, zu sozialen Prozessen professioneller Forschung oder zu ihrer kulturellen Einbettung“ mit Hilfe dieser Unterrichtsgestaltung nur selten adäquat adressiert werden können und fordert daher für den

Physikunterricht zusätzlich eine „historisch-analytisch[e] Perspektive“, die diesem Anspruch gerecht werden kann (Henke 2016, S. 128). Dieser alternative Zugang bildet laut Henke (2016, S. 128) mittels Reflexion der NdN aus einem geschichtlichen Blickwinkel eine geeignete Basis für die Thematisierung derjenigen NdN-Aspekte, die im Zuge des forschend-entdeckenden Unterrichts nicht in diesem Ausmaß behandelt werden können.

2.3. Das 5E-Modell

Beim 5E-Modell handelt es sich um ein konstruktivistisches Lehrmodell, das von Rodger W. Bybee und seinem Forschungsteam vom Bildungszentrum *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) in den 1980er Jahren ursprünglich als Unterrichtsprogramm für die Primarstufe entwickelt wurde, heute jedoch in allen Schulstufen angewendet wird (vgl. Bybee, 2015, S. 20; Desouza, 2017, S. 342). Aus bildungstheoretischer Sicht basiert das 5E-Modell auf verschiedenen Lehr- und Lernmodellen entwickelt von Johann Friedrich Herbart, John Dewey sowie J. Myron Atkin und Robert Karplus; für eine ausführliche Zusammenfassung dieser Modelle sei an dieser Stelle auf die Arbeit von Bybee (2015, S. 13-19) verwiesen. Trotz ihrer Unterschiedlichkeit ist diesen Ansätzen die Aufteilung von Unterricht in unterschiedliche Phasen gemeinsam, welche bestimmte Aufgaben im Lernprozess erfüllen sollen, wobei vor allem Aspekte wie das Vorwissen, Interesse und konzeptuelle Verständnis der Schüler_innen, die Ermöglichung von praktischen und mental anspruchsvollen Erfahrungen und deren Anwendung auf neue Situationen oder Gegebenheiten eine Rolle spielen (vgl. Bybee, 2015, S. 13-19). Das 5E-Modell stellt eine Weiterentwicklung dieser ursprünglichen Arbeiten dar und besteht aus fünf aufeinander aufbauenden Unterrichtsphasen, die Bybee (2015, S. 4) mit den Begriffen „*engage, explore, explain, elaborate* [...] [und] *evaluate*“ (Hervorh. im Original) bezeichnet. Der Autor beschreibt den schematischen Ablauf dieses Lehrmodells folgendermaßen:

“Imagine using an instructional sequence that begins with an experience of high interest but is beyond students’ understanding, and then the lessons provide opportunities for students to sort out their ideas and try to explain the initial situation as the sequence continues. This leads you to the moment to help students gain knowledge and understanding of the experience. Then, you provide a situation where students have to apply their new knowledge to another situation. Finally, students and the teacher conclude with an assessment” (Bybee, 2015, S. 3).

Desouza (2017, S. 342) merkt jedoch an, dass die einzelnen Phasen nicht unbedingt in einer linearen Struktur ablaufen, sondern zyklisch aufeinander folgen können. Das heißt, dass unterschiedliche Phasen mehrmals durchgeführt werden können und die Sequenz nach der Evaluate-Phase nicht automatisch beendet sein muss. Nach Bybee (2015, S. 2) soll eine Unterrichtsstruktur, die mittels der 5Es gestaltet ist, der Schaffung von sogenannten „teachable moments“ dienen. Dabei handelt es sich um Unterrichtssituationen, in denen Schüler_innen eine erhöhte Motivation und Lernbereitschaft zeigen:

„[...] at that moment, a student is engaged and eager to learn, and a teacher can easily teach a particular idea or skill” (Bybee, 2015, S. 2).

Im Hinblick auf die Rolle der einzelnen Phasen dient die **Engage-Phase** zunächst dem Einstieg in den Lernprozess, indem das Interesse und die Aufmerksamkeit der Schüler_innen für den zu behandelnden Themenbereich geweckt wird (vgl. Bybee, 2015, S. 4). Mittels Fragestellungen, Bildern, Problemstellungen, Berichten oder ähnlichen Anregungen, die sich die Schüler_innen nicht sofort erklären können, kann ein anregender Kontext für die Inhalte der darauffolgenden Unterrichtssequenz hergestellt werden (vgl. Bybee, 2015, S. 5). Es ist also durchaus erwünscht, gleich zu Beginn der Einheit einen kognitiven Konflikt zu erzeugen, der an dieser Stelle bewusst ungeklärt bleibt, um ihm im weiteren Verlauf des Unterrichts auf den Grund zu gehen (vgl. Eisenkraft, 2003, S. 57). Bybee (2015, S. 8) nennt als weitere Aufgaben einer Engage-Aktivität: „The activity should make connections between past and present learning experiences, anticipate future activities, and focus students’ thinking on the learning outcomes”. Damit ermöglicht die Engage-Phase der Lehrperson, herauszufinden, welche Alltagserfahrungen und Vorstellungen die Lernenden im Hinblick auf den zu bearbeitenden Sachverhalt bereits besitzen (vgl. Desouza, 2017, S. 345). Eisenkraft (2003, S. 57) schreibt der Aktivierung von Vorwissen und vorhandenen Vorstellungen im Rahmen der Engage-Aktivität eine große Bedeutung im Hinblick auf die Konstruktion von neuem Wissen zu, was dem Autor zufolge von Lehrpersonen oftmals vernachlässigt wird. Aus diesem Grund schlägt er die Erweiterung der Engage-Phase um eine ‚Elicit-Phase‘ vor, in der mit Hilfe gezielter Fragen speziell auf das Vorwissen und die bisherigen Vorstellungen der Lernenden eingegangen wird, um sie in weiterer Folge als Ausgangspunkt für den weiteren Unterricht nutzbar zu machen (vgl. Eisenkraft, 2003, S. 57).

Die **Explore-Phase** bietet den Lernenden die Möglichkeit, selbst Erfahrungen in Bezug auf den in der Engage-Phase aufgezeigten Sachverhalt zu machen und dabei aufgeworfenen kognitiven Konflikten und Unstimmigkeiten auf den Grund zu gehen (vgl. Bybee, 2015, S. 6). Bybee (2015, S. 8) beschreibt die Tätigkeit der Schüler_innen in dieser Phase folgendermaßen: „While pursuing resolution for the teachable moment, they make observations, gather information, discuss problems with peers, and consider possible explanations. In this phase, students begin to resolve their cognitive disequilibrium“. Mögliche Aktivitäten für den Einsatz in der Explore-Phase sind beispielsweise die Planung von Experimenten, gezielte Beobachtungen, das Erstellen von Grafiken, das Ordnen und Kategorisieren von Informationen oder das Aufstellen von Fragestellungen und Vermutungen (vgl. Eisenkraft, 2003, S. 57). Mittels dieser praktischen „hands-on“ Aktivitäten (Desouza, 2017, S. 346) soll eine gemeinsame Erfahrungsbasis geschaffen werden, anhand derer die Schüler_innen neue Konzepte identifizieren, ihr Vorwissen mit neuen Inhalten verknüpfen und ihre Fähigkeiten erweitern (vgl. Bybee, 2015, S. 8). Die Lehrkraft fungiert nach Bybee (2015, S. 6) dabei als „facilitator“ oder „coach“, indem sie im Entdeckungsprozess der Schüler_innen eine unterstützende und betreuende Rolle einnimmt, welche Aufgaben wie „listening, observing, and guiding students to clarify their understanding as they begin reconstructing their understanding“ (Bybee, 2015, S. 6) beinhaltet.

Im Zuge der **Explain-Phase** wird anschließend die explizite Darstellung jener physikalischeren Grundaspekte und Gesetzmäßigkeiten angestrebt, welche den Erfahrungen in der Explore-Phase zugrunde liegen: „Students are introduced to models, laws, and theories during the explain phase of the learning cycle. [They] summarize results in terms of these new theories and models“ (Eisenkraft, 2003, S. 58). Eisenkraft (2003, S. 58) beschreibt die Aufgabe der Lehrperson innerhalb dieses Prozesses folgendermaßen: „The teacher guides students toward coherent and consistent generalizations, helps students with distinct scientific vocabulary, and provides questions that help students use this vocabulary to explain the results of their explorations“. Die Lehrperson nimmt somit eine weitaus aktivere Rolle ein als in der Explore-Phase, da die Schüler_innen zunächst mit den relevanten Fachbegriffen bekanntgemacht werden müssen, um ihnen somit jenen Grundwortschatz zu vermitteln, den sie benötigen, um ihre Vermutungen, Erklärungsansätze und andere Ergebnisse überhaupt erst im Lichte neuer physikalischer Konzepte und Erklärungen zu interpretieren zu können (vgl. Eisenkraft, 2003, S. 58; Bybee, 2015, S. 6). Bybee (2015, S. 6) betont in diesem Zusammenhang jedoch, dass es von enormer Wichtigkeit ist, den eigenen Erklärungsversuchen der Schüler_innen zu Beginn der Explain-Phase genügend Platz einzuräumen, bevor zentrale Kernaspekte der vorhergehenden Unterrichtsphasen identifiziert und die Erklärungen unter Berücksichtigung physikalischer Konzepte anschließend rekapituliert werden können. Der Input auf Seiten der Lehrkraft sollte dabei nicht zu viel Zeit beanspruchen und möglichst klar und verständlich formuliert sein (vgl. Bybee, 2015, S. 8).

Einen weiteren Baustein des 5E-Modells bildet die **Elaborate-Phase**, deren Aufgabe darin besteht, den Schüler_innen den Transfer ihrer bisherigen Erfahrungen auf neue Situationen zu ermöglichen (vgl. Bybee, 2015, S. 6). Dazu werden alternative Anwendungskontexte für die bisher erarbeiteten Inhalte und Fähigkeiten geboten, um das bereits Gelernte zu festigen, zu vertiefen und zu erweitern (Bybee, 2015, S. 6). Der Transferprozess kann dabei auf unterschiedlichen interaktiven und kommunikativen Ebenen erfolgen, zu denen nach Bybee (2015, S. 7) Aktivitäten wie „interaction among students, between the teacher and students, and with other sources, such as written material, databases, simulations, and web-based searches“ zählen. Der Autor merkt an, dass der Transfer dieser Erfahrungen, Fertigkeiten und Wissensbestände in Kontexten stattfindet, die sich zwar von den bisher kennengelernten Anwendungsgebieten unterscheiden, ihnen jedoch in gewisser Hinsicht ähnlich sind (vgl. Bybee, 2015, S. 7). Eisenkraft (2003, S. 59, nach Mayer, 1979) warnt jedoch davor, sich auf Transferbereiche zu beschränken, die eine sehr große Übereinstimmung mit der ursprünglichen Ausgangssituation besitzen, wobei er als Beispiel die Durchführung identischer Berechnungen mit unterschiedlichen Wärmekapazitätswerten nennt (vgl. Eisenkraft, 2003, S. 59). Auch wenn er den Nutzen solcher Ausführungen nicht bestreitet, so betont der Autor jedoch die Notwendigkeit verschiedener Anwendungskontexte, um einen „distant transfer“ (Eisenkraft, 2003, S. 59) von Wissen zu ermöglichen, der sich nicht nur auf die bestehende Unterrichtseinheit beschränkt, sondern auch andere Erfahrungen außerhalb des Fachs Physik und sogar des Schulbetriebs beinhaltet (vgl. Eisenkraft,

2003, S. 59) Er verdeutlicht dies anhand eines Szenarios, in dem die Schüler_innen eine Sportart erfinden sollen, die auf dem Mond ausgeführt werden kann:

„An activity on friction informs students that friction increases with weight. Because objects weigh less on the moon, frictional forces are expected to be less on the moon. That elaboration is useful. Students must go one step further and extend this friction concept to the unique sports and corresponding play they are developing for the moon environment“
(Eisenkraft, 2003, S. 59).

Eisenkraft (2003, S. 59) beschreibt die letzte Aktivität als ‚Extend-Phase‘ die eine Erweiterung der Elaborate-Phase darstellt und dazu dienen soll, die einen Wissenstransfer in unterschiedlichen Kontexten zu ermöglichen.

Die letzte Phase des 5E-Modells bildet die **Evaluate-Phase**. Hier geht es vor allem darum, den Schüler_innen Rückmeldungen auf ihre Leistung im Zuge der bisher durchgeführten Unterrichtsphasen zu geben (vgl. Bybee, 2015, S. 7). Sowohl Bybee (2015, S. 7) und Eisenkraft (2003, S. 59) betonen, dass diagnostische und informelle Rückmeldungen der Lehrperson bereits in den vorhergehenden Phasen zum Einsatz kommen sollten, da es im gesamten Lernzyklus immer wieder darauf ankommt, festzustellen, was die Lernenden bereits wissen, was sie schon können und in welchen Bereichen noch Schwierigkeiten herrschen. In dieser Phase des Unterrichts ist es für die Lehrperson jedoch von zentralem Interesse, festzustellen, inwiefern die Schüler_innen nun dazu imstande sind, vor der durchgeführten Unterrichtssequenz festgelegte Lernziele zu erfüllen: „Students express their knowledge and abilities in an assessment. The assessment should reveal the adequacy of their understanding“ (Bybee, 2015, S. 8). Damit die Evaluate-Phase diesem Anspruch gerecht werden kann, merken beide Autoren an, dass es sich bei den dabei durchgeführten Aufgaben um ähnliche Aktivitäten handeln sollte wie jene, die von den Lernenden bereits in den vorhergehenden Phasen bereits durchgeführt wurden, wobei sich dies nicht auf inhaltliche Fragen beschränkt, sondern auch Datenauswertungen oder praktische Aktivitäten wie Experimente inkludieren kann (vgl. Bybee, 2015, S. 8; Eisenkraft, 2003, S. 59).

3. Didaktische Rekonstruktion

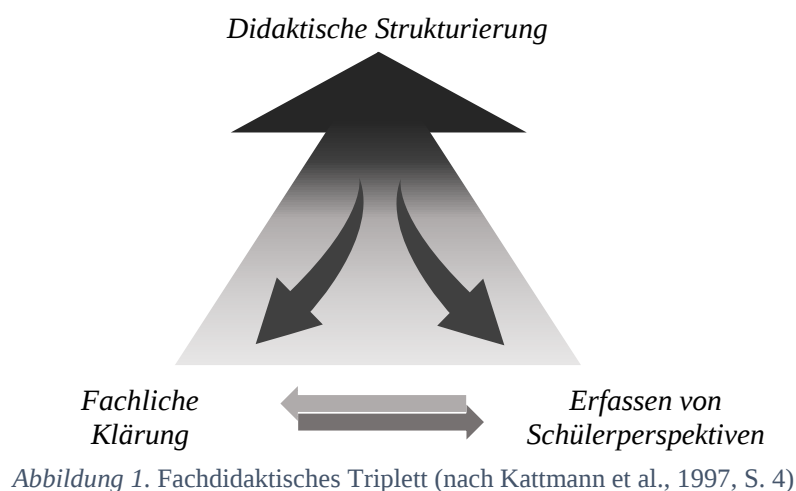
Die Didaktische Rekonstruktion dient der Entwicklung von Unterrichtsstrukturen vor dem Hintergrund einer gleichwertigen Berücksichtigung von fachspezifischen Inhalten einerseits und pädagogischen Gesichtspunkten andererseits (vgl. Kattmann, 2007, S. 93), wobei die relevanten fachwissenschaftlichen Konzepte zunächst aus didaktischer Sichtweise betrachtet und anschließend für den Unterricht entsprechend neu konzipiert werden (vgl. Duit, 2004, S. 1). Dieses Kapitel bietet eine kurze Einführung in das Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion, gefolgt von der fachlichen Klärung relevanter wissenschaftlicher Sachstrukturen und deren Elementarisierung. Der nächste Abschnitt dient der Thematisierung von Schülervorstellungen und deren Relevanz für den Physikunterricht, ebenso wie der Beschreibung der im Rahmen der Lernumgebung zu berücksichtigenden Präkonzepte. Abschließend erfolgt die Erläuterung der didaktischen Strukturierung der Unterrichtssequenz, wobei auf die angestrebten Lernziele in Bezug auf das BIFIE-Kompetenzmodell für Naturwissenschaften, die Relevanz des Themas im Hinblick auf den geltenden Lehrplan für die AHS-Unterstufe sowie auf die Alltagswelt der Schüler_innen eingegangen wird.

3.1. Das Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion

Nach dem Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion werden Unterrichtsinhalte gleichermaßen auf Basis wissenschaftlicher Konzepte und unter Berücksichtigung von Lernendenvorstellungen strukturiert (vgl. Kattmann et al., 1997, S. 5). Aus lerntheoretischer Sicht fußt dieser Ansatz im Konstruktivismus, wonach Lernende Wissen „[n]icht passiv übernehmen, sondern aktiv konstruieren“ (Häußler et al., 1998, S. 170). Äußere Reize wie zum Beispiel eine Aussage der Lehrperson besitzen demnach keine intrinsische Bedeutung, sondern müssen erst von den Schüler_innen vor dem Hintergrund ihrer Alltagsvorstellungen und -erfahrungen zum jeweiligen Sachverhalt interpretiert werden (vgl. Häußler et al., 1998, S. 171). Zur Schaffung angemessener Unterrichtsstrukturen ist es daher notwendig, nicht nur die fachwissenschaftlichen Konzepte zu berücksichtigen, die vermittelt werden sollen, sondern auch die bereits bestehenden Vorstellungen der Lernenden in die Unterrichtsplanung miteinzubeziehen, da diese den Lernprozess grundlegend beeinflussen (vgl. Kattmann et al., 1997, S. 6). Das Ziel ist dabei die „Strukturierung und Bewertung verfügbarer Vorstellungen und deren angemessene Anwendung“ sowie die „Bildung neuer, fachlich orientierter Vorstellungen“ (Kattmann et al., 1997, S. 6). Dies wird nach Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997, S. 4) durch drei miteinander in Verbindung stehende und sich gegenseitig beeinflussende Kernaspekte realisiert, die sie „fachliche Klärung, Erfassung von Schülervorstellungen und didaktische Strukturierung“ nennen und als „fachdidaktische[s] Triplet“ bezeichnen (siehe Abbildung 1).

Die **fachliche Klärung** widmet sich der fachdidaktischen Betrachtung der für den Unterricht relevanten wissenschaftlichen Sachstrukturen (vgl. Kattmann, 2007, S. 94), welche nach Duit (2004: 2) „Begriffe und Prinzipien auf der einen und Denk- und Arbeitsweisen sowie Vorstellungen über die Natur der Wissenschaft Physik auf der anderen Seite“ umfasst, wobei es sich bei diesen Vorstellungen um jene

der Wissenschafts- und Erkenntnistheorie handelt. Im Zuge der fachlichen Klärung erfolgt außerdem eine ‚Elementarisierung‘ der relevanten wissenschaftlichen Sachstrukturen. Diese ist laut Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997, S. 9) notwendig, da sich physikalische Inhalte in fachwissenschaftlicher Form aufgrund ihrer Abstraktheit meist als ungeeignet für die schulische Realität herausstellen. Bleichroth (1991, zitiert nach Kattmann et al., 1997, S. 9) nennt in diesem Zusammenhang drei Aspekte, die im Zuge der Elementarisierung berücksichtigt werden sollten: Zunächst gilt es, Elementarisieren als einen Prozess der „Vereinfachung“ zu verstehen, bei dem es vor allem um die „Reduzierung der Komplexität“ zu vermittelnder Inhalte geht (Bleichroth, 1991, zitiert nach Kattmann et al., 1997, S. 9). Weiters dient die Elementarisierung der „Identifizierung des Elementaren“ der bearbeiteten Sachstruktur, wobei nach Bleichroth (1991, zitiert nach Kattmann et al., 1997, S. 9) dabei „die ‚Elementaria‘, d.h. die tragenden ‚Grundideen‘ oder die allgemeine Gesetzmäßigkeit“ des jeweiligen Themengebiets festzulegen sind. Auch Duit (2004, S. 3) betont die Notwendigkeit der Identifikation von „elementaren‘ Grundideen zur in Rede stehenden Sache“, welche im weiteren Verlauf der Diplomarbeit als ‚Key Ideas‘ bezeichnet werden. Der dritte Aspekt der Elementarisierung liegt in der Strukturierung der zu bearbeitenden Inhalte im Sinne eines lernförderlichen Unterrichtsverlaufs. Dabei unterlaufen die elementarisierten Sachstrukturen eine „Zerlegung in Unterrichtselemente“, welche wiederum im Sinne einer „Abfolge von Unterrichtsinhalten“ angeordnet werden (Bleichroth, 1991, zitiert nach Kattmann et al., 1997, S. 9).



Die **Berücksichtigung der Lernendendimension** umfasst die Berücksichtigung von Schülervorstellungen, die unter anderem auch als „Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen, Präkonzepte, Misconceptions“ (Wiesner & Schecker, 2011, S. 34) oder schlichtweg als „Vorverständnis“ (Jung, 2011, S. 15) bezeichnet werden. All diese Begriffe beschreiben laut Wiesner und Schecker (2011, S. 34) „vorunterrichtlich[e] Wissens- und Denkstrukturen“ von Lernenden und können als die Summe aller „Vorstellungen, Denkweisen [und] Erwartungen“ (Jung, 2011, S. 15) angesehen werden, welche die Lernenden bereits vor dem (Physik-)Unterricht mittels Interaktion mit ihrer Alltagswelt oftmals unbewusst ausbilden. Diese bilden ebenso wie die fachlichen Sachstrukturen

„persönliche Konstrukte“ (Kattmann, 2007, S. 95). Der Unterschied besteht jedoch darin, dass es sich bei den fachlichen Konzepten um „Konstrukte der jeweiligen Wissenschaftlergemeinschaft“ handelt, die zwar durch den jeweiligen soziokulturellen und historischen Kontext geprägt sind, jedoch „nicht beliebig“ sind, während die Legitimierung der Lernendenvorstellungen ausschließlich individuell bedingt ist und in „lebensweltlicher Erfahrung und Bewährung“ fußt (Kattmann, 2007, S. 95-96). Im Gegensatz zur fachlichen Klärung lassen sich diese Konzepte somit nicht immer in der bereits vorhandenen Literatur finden, sondern müssen unter Umständen mittels empirischer Erhebungen identifiziert werden (vgl. Kattmann, 2007, S. 95). Vorunterrichtliche Vorstellungen müssen in der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden, da sie zu Fehlkonzepten werden können, wenn sie nicht den korrekten physikalischen Konzepten entsprechen, und können dadurch die Vermittlung und das Erlernen einer naturwissenschaftlichen Sichtweise deutlich erschweren (vgl. Kapitel 3.3.) (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34; Duit, 2009, S. 605, 627). Aus diesem Grund spielt in der Erfassung von Schülerperspektiven die Gesamtheit aller Vorstellungen, welche die Schüler_innen im Hinblick auf ein bestimmtes Themengebiet besitzen, eine Rolle (vgl. Kattmann et al., 1997, S. 11), wobei „kognitive, affektive und psychomotorische Komponenten“ ebenso wie die „zeitliche Dynamik der Lernendenperspektiven“ berücksichtigt werden müssen (Kattmann, 2007, S. 95).

Die **didaktische Strukturierung** berücksichtigt beide Dimensionen – die fachliche Struktur und die Vorunterrichtlichen Denkstrukturen der Lernenden – indem sie Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997, S. 3) folgend die fachwissenschaftlichen Inhalte vor dem Hintergrund „umweltliche[r], gesellschaftliche[r] und individuelle[r] Zusammenhänge“ rekonstruiert, „um ihre Bedeutung für das Leben des Einzelnen in der Gesellschaft sowie in der belebten und unbelebten Natur zu verdeutlichen“. Dies kann den didaktisch aufbereiteten Unterrichtsinhalten durchaus eine höhere Komplexität als den fachwissenschaftlichen Inhalten verleihen (vgl. Kattmann et al., 1997, S. 3). Auch Duit (2004, S. 3) merkt an, dass dieser Rekonstruktionsprozess keinesfalls mit bloßer Vereinfachung gleichzusetzen ist:

„Diese Sachstruktur für den Unterricht ist einerseits in aller Regel ‚einfacher‘ als die Sachstruktur der Physik; sie ist aber andererseits auch ‚reicher‘ bzw. ‚vielfältiger‘, weil die ‚elementaren‘ Grundideen zur in Rede stehenden Sache in Kontexte (u.a. Anwendungen in Technik und im Alltag) eingebettet werden müssen, damit sie von den Schülerinnen und Schülern erlernt werden können und ihnen als lernenswert erscheinen“ (Duit 2004: 3)

Ein „themenspezifische[r] und an den Lernenden orientierte[r] [sic] Planungsprozess“ (Metzger, 2013, S. 47) stellt daher Beziehungen zwischen fachwissenschaftlichen Konzepten und den entsprechenden Alltagsvorstellungen her, um „die lernförderlichen Korrespondenzen und voraussehbaren Lernschwierigkeiten“, die sich im Lernprozess der Schüler_innen bilden könnten, zu thematisieren (Kattmann et al., 1997, S. 12). Dabei werden nicht nur die zentralen Key Ideas und Lernendenvorstellungen im Hinblick auf das spezifische Themengebiet berücksichtigt, sondern es

werden auch zu erreichende Lernziele und relevante Bezüge zur Alltags- und Interessenswelt der Schüler_innen identifiziert (vgl. Metzger, 2013, S. 52).

3.2. Fachliche Klärung der relevanten Inhalte

Die entwickelten Unterrichtsmaterialien stellen den Anspruch, über das Themengebiet der Photovoltaik hinaus der Wissensvermittlung in Bezug auf ausgewählte Aspekte der Natur der Naturwissenschaften zu dienen. Aus diesem Grund ergab sich die Herausforderung, nicht nur fachliche Inhalte im Hinblick auf den Aufbau und die Funktionsweise von Solarzellen sowie deren Leistungsabgabe für die Lernumgebung auszuwählen und zu elementarisieren, sondern diese außerdem mit der Vermittlung von Kenntnissen über physikalische Forschung und Experimente zu verknüpfen. Dieser Abschnitt dient der Ausarbeitung und Elementarisierung der fachwissenschaftlichen Grundlagen, die der auszutestenden Unterrichtssequenz zugrunde liegen. Für eine Diskussion der Grundaspekte naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse soll an dieser Stelle jedoch auf Kapitel 2.2. verwiesen werden, da diese dort im Rahmen der didaktischen Grundsätze der erstellten Lernumgebung bereits detailliert beschrieben wurden.

3.2.1. Physikalische Grundlagen¹

Bei Solarzellen handelt es sich um Halbleiterdioden, deren spezieller Aufbau die Absorption von Licht und in weiterer Folge dessen Umwandlung in elektrische Energie ermöglicht. Diejenigen fachwissenschaftlichen Grundlagen der Photovoltaik, welche im Hinblick auf die zu erprobenden Unterrichtsmaterialien von Relevanz sind, umfassen (a) die Eigenschaften von Halbleitern, (b) die Dotierung und den Aufbau von Solarzellen, (c) die Umwandlung von Licht in elektrische Energie, (d) die elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen und (e) die Faktoren, welche diese beeinflussen können.

Eine detaillierte physikalische Beschreibung dieser Aspekte ist nur mit Hilfe der Quantenmechanik möglich. Eine Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Photovoltaik nach diesem Zugang würde jedoch den Rahmen der Diplomarbeit übersteigen und erweist sich für das grundlegende Verständnis der Funktionsweise einer Solarzelle als nicht unbedingt notwendig (vgl. Ehrlich 2013, S. 319). Darüber hinaus wäre eine derartige Herangehensweise im Hinblick auf die Zielgruppe deutlich zu anspruchsvoll, da laut Van Bien (2007, S. 40) die relevanten „fachwissenschaftlichen Grundlagen für das Verständnis des Aufbaus und der Funktionsweise einer Solarzelle sehr komplex sind“. Nicht zuletzt deshalb basiert die Diskussion der fachwissenschaftlichen Sachstrukturen nur teilweise auf Originalliteratur und bedient sich stattdessen auch Lehrbüchern und Lehrmaterialien. Dabei wird auf Modellvorstellungen

¹ Für die fachliche Klärung wurde auf die Werke von Gray (2011), Ehrlich (2013), Van Bien (2007), Quaschnig (2013), Schlosser (2017), Felder et al. (1995), Tipler & Mosca (2009), Kranz et al. (2015), Schiff et al. (2003), Lorenzo (2011), Wagner (2010), Wagner et al. (2012), Dubey et al. (2013), Gouvêa et al. (2017), Würfel (2005), Conibeer (2014), Sudhakar et al. (2013) und Ghitas (2012) zurückgegriffen.

zurückgegriffen, die dem Anforderungsniveau der Lernenden am ehesten entsprechen. Van Bien (2007, S. 40) rät in diesem Zusammenhang von einer Verwendung des Bändermodells ab, da dieses „das kognitive Niveau für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I weit überschreitet“. Er fordert stattdessen die Verwendung des Teilchenmodells, da die Lernenden dieses Modell an dieser Stelle ihres Lernprozesses in der Regel bereits im Kontext der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen angewendet haben und somit bereits besser damit vertraut sind als mit dem Bändermodell (vgl. Van Bien, 2007, S. 40). Mit Hilfe des Teilchenmodells wird eine Erklärung des photoelektrischen und photovoltaischen Effekts ermöglicht, die ohne den Verweis auf Bandlücken oder Energieniveaus auskommt und sich lediglich mit dem Aufbrechen von kovalenten Bindungen und der Bewegung freier Ladungsträger im Halbleitermaterial begnügt (vgl. Van Bien, 2007, S. 40). Darüber hinaus wird auf die quantenmechanische Darstellung von Licht im Sinne des Welle-Teilchen-Dualismus verzichtet und stattdessen davon ausgegangen, dass das Licht ein Strom von Energiepaketen (Photonen) mit variabler Energie ist.

a. Eigenschaften von Halbleitern

Solarzellen bestehen aus Halbleitermaterialien, die in Abhängigkeit äußerer Einflüsse entweder als elektrische Leiter oder als Isolatoren fungieren können. Meist wird für die Herstellung von Solarzellen der Halbleiter Silizium verwendet, wobei es sich um eines der am häufigsten vorkommenden Materialien in der Erdkruste handelt, das relativ kostengünstig ist und sich aufgrund seiner Materialeigenschaften gut für die Umwandlung von Licht in elektrische Energie eignet. Da reine Halbleiter bei Raumtemperatur eine zu geringe Leitfähigkeit besitzen, um einen Umwandlungsprozess von Licht in elektrische Energie zu ermöglichen, kann diese mit unterschiedlichen Mitteln gezielt erhöht werden. Eine Möglichkeit besteht in der Erhöhung der Temperatur des Halbleitermaterials, wodurch die Leitfähigkeit des Halbleitermaterials ansteigt, während sein Widerstand sinkt. Eine weitere Möglichkeit bildet die Bestrahlung des Materials mit Licht, wodurch ebenfalls eine erhöhte Anzahl an freien Elektronen generiert und somit die Leitfähigkeit erhöht wird. Die dritte Alternative entspricht der gezielten Verunreinigung des Materials mit bestimmten chemischen Elementen - ein Vorgang, der auch als ‚Dotieren‘ bezeichnet wird.

b. Dotierung und Aufbau von Solarzellen

Abgesehen von thermischer Anregung und der Bestrahlung mit Licht kann die Leitfähigkeit von Halbleitern auch erhöht werden, indem die elektronischen Eigenschaften des Materials durch das Einbringen von Fremdatomen gezielt verändert werden. Dabei werden einzelne Atome im Siliziumgitter durch Atome anderer Elemente ersetzt, was dazu führt, dass die Anzahl freier Ladungsträger im Halbleitermaterial erhöht wird. Dabei können unterschiedliche Arten von Fremdatomen verwendet werden, die entweder als ‚Donatoren‘ oder als ‚Akzeptoren‘ fungieren.

Bei Donatoren handelt es sich um Atome, die eine größere Anzahl an Valenzelektronen besitzen als die Atome des Halbleitermaterials und somit Elektronen abgeben. Im Falle von Silizium, welches vier Valenzelektronen besitzt, eignen sich als Donatoren beispielsweise die Elemente Arsen oder Phosphor, da beide mit fünf Valenzelektronen ausgestattet sind. Das überschüssige Elektron kann nicht an den kovalenten Bindungen zwischen den Elektronen der Arsen- oder Phosphoratome mit jenen der Siliziumatome teilnehmen, weshalb es nur schwach an den Donator gebunden und durch thermische Anregung leicht gelöst werden können. Löst sich das Elektron, wird das zurückgelassene Donator-Atom selbst zu einem positiv geladenen Ion. Aufgrund der freien, negativ geladenen Elektronen im Halbleiter wird dieser auch als ‚n-Halbleiter‘ bezeichnet. Es gilt jedoch zu betonen, dass der n-Halbleiter keineswegs eine negative elektrische Ladung annimmt, sondern vielmehr neutrale elektrische Eigenschaften besitzt, da sich gleich viele positive wie negative Ladungsträger im Material befinden und sich dadurch „die positiven Donatoren und die negativen Donatorelektronen [...] die Waage halten“ (Felder et al., 1995, S. 23). Akzeptoren besitzen im Gegensatz zu Donatoren eine geringere Zahl an Valenzelektronen als die Atome des intrinsischen Halbleitermaterials, wodurch eine kovalente Bindung weniger zwischen dem Akzeptor-Atom und den Nachbaratomen des Halbleiters eingegangen werden kann. Im Falle von Silizium eignen sich dafür beispielsweise Bor oder Gallium, da beide lediglich drei Valenzelektronen besitzen. Aufgrund des Elektronenmangels bildet sich in der Bindung ein sogenanntes Elektronenloch, das ebenso wie die Elektronen frei beweglich ist, da es von nahegelegenen Elektronen gefüllt werden kann, die ihrerseits wiederum Löcher in ihren Bindungen zurücklassen. Aus diesem Grund trägt eine solche Leerstelle ebenfalls zum elektrischen Ladungstransport und somit auch zur elektrischen Leitfähigkeit bei: „Da mit der Wanderung eines Lochs die Wanderung eines **positiv** geladenen Gebiets verbunden ist, nennt man Halbleiter mit (beweglichen) Löchern **p-Halbleiter**“ (Hervorh. im Original) (Felder et al., 1995, S. 24-25). Das bewegliche Elektronenloch hinterlässt dabei einen negativ geladenen Bor-Atomrumpf, welcher die positive Ladung des Lochs ausgleicht. Aus diesem Grund besitzt auch der p-Halbleiter an sich keine elektrische Ladung.

Bei der Produktion von Solarzellen kann das verwendete Halbleitermaterial auf unterschiedliche Weise verarbeitet werden, wobei multikristalline, monokristalline oder amorphe, d.h. nicht-kristalline, Zellen hergestellt werden können. Monokristalline Zellen bestehen aus einem einzigen Kristall, weshalb diese zwar effizienter, aber auch deutlich teurer sind als multikristalline Solarzellen, die aus vielen unterschiedlichen Einzelkristallen bestehen. Amorphe Materialien können mit Hilfe der Dünnschichttechnologie verarbeitet werden, indem das Halbleitermaterial in sehr dünnen Schichten auf ein Substrat wie beispielsweise Glas oder auch flexible Materialien aufgebracht wird, wodurch deutlich weniger Material und Herstellungsaufwand benötigt wird als bei den kristallinen Zellen. Dies hat jedoch Effizienzeinbußen zur Folge, weshalb Dünnschichtzellen noch immer einen geringeren Marktanteil als die kristallinen Varianten besitzen. Durch den Einsatz neuer Halbleiter wie organische Materialien oder Perowskit-Verbindungen und der Entwicklung innovativer Technologien wie Tandem-Zellen werden in

der Dünnschichtzellentechnologie jedoch laufend Fortschritte in der Effizienzerhöhung von Solarzellen gemacht.

In den meisten Fachbüchern werden die kristallinen Varianten der Siliziumzelle exemplarisch für die Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise einer Solarzelle herangezogen, da diese in der Energieversorgung am häufigsten eingesetzt werden. Dies bedarf jedoch einer Erläuterung des p-n-Übergangs in der Zelle und den zugrundeliegenden Mechanismen des Ladungstransports und der Entstehung des elektrischen Felds in dieser Übergangsschicht. Die dazu notwendigen physikalischen Grundlagen übersteigen das Niveau der Zielgruppe jedoch deutlich. Im Hinblick auf diese Problemstellung schlägt Schlosser (2017, S. 8) die p-i-n Solarzelle als Alternative vor, da „der Erklärungsversuch anhand einer p-n Diode ein Grundverständnis der Festkörperphysik voraussetzt. Vieles aus der Festkörperphysik das für die Beschreibung der p-n Diode unerlässlich ist, hat für die p-i-n Anordnung nur untergeordnete Bedeutung“. Dabei handelt es sich um Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium, die aus einer n-dotierten, einer p-dotierten und einer intrinsischen, undotierten Schicht bestehen, weshalb sie auch als p-i-n-Solarzellen bezeichnet werden. Die Erklärung der Existenz eines elektrischen Felds im Innern der Solarzelle erfolgt im Gegensatz zur p-n-Diode dabei nicht über die Bildung einer p-n-Übergangssicht, sondern folgt direkt aus dem spezifischen Aufbau der Zelle: „[...] in this structure excess electrons are actually donated from the n-type layer to the p-type layer, leaving the layers positively and negatively charged (respectively), and creating a sizable ‚built-in‘ electric field“ (Schiff et al., 2003, S. 490). Geht man im Unterricht bereits von diesem existierenden elektrischen Feld aus, so kann leicht verständlich gemacht werden, weshalb sich die freien Ladungsträger zu den verschiedenen Kontakten der Solarzelle bewegen, ohne dabei auf die Materialeigenschaften von Halbleitern und die mit dem Dotierungsprozess verbundenen Prozesse der Ladungsdiffusion eingehen zu müssen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die Funktionsweise einer Solarzelle anhand der p-i-n Zelle exemplarisch darzustellen, auch wenn diese auf dem Photovoltaikmarkt deutlich hinter den kristallinen Varianten liegt.

Abbildung 2 zeigt den Aufbau einer p-i-n Zelle. Die beiden dotierten Schichten besitzen eine Dicke von rund zehn Nanometern und sind somit deutlich dünner als die intrinsische Schicht aus reinem amorphem Silizium, welche mehrere hundert Nanometer dick ist.² Diese drei Schichten sind auf einem Trägersubstrat (zum Beispiel Stahl) angebracht, welches wiederum mit einem Rückreflektor ausgestattet ist, um die Effizienz des Umwandlungsprozesses zu erhöhen. Dieser Reflektor besteht aus einer dünnen Metallschicht und einer transparenten, leitenden Oxidschicht (TCO-Schicht) als Rückkontakt. Über der p-Schicht liegt eine weitere TCO-Schicht, welche das Sonnenlicht transmittiert und als Frontkontakt dient. In diesem Aufbau kommt es aufgrund des Überschusses an freien Elektronen in der n-Schicht zur Ladungsträgerdiffusion, wobei sich die Elektronen über die intrinsische Schicht in die p-Schicht

² Genau genommen ist das amorphe Silizium meist mit Wasserstoff versetzt, um dessen elektronische Eigenschaften zu verbessern (vgl. Schiff et al., 2003, S. 488).

bewegen. Zurück bleiben die positiven Atomrümpfe der Donatoren, weshalb die n-Schicht nun eine positive Ladung besitzt. In der p-Schicht hingegen füllen die eintreffenden freien Elektronen die Löcher in den Bindungen der Akzeptor-Atome, wodurch sich diese Randschicht negativ auflädt. Somit ergibt sich ein „eingebautes elektrisches Feld“ (Schiff et al., 2003, S. 490, Übersetzung der Verf.), dass sich über die intrinsische Schicht der p-i-n-Solarzelle erstreckt.

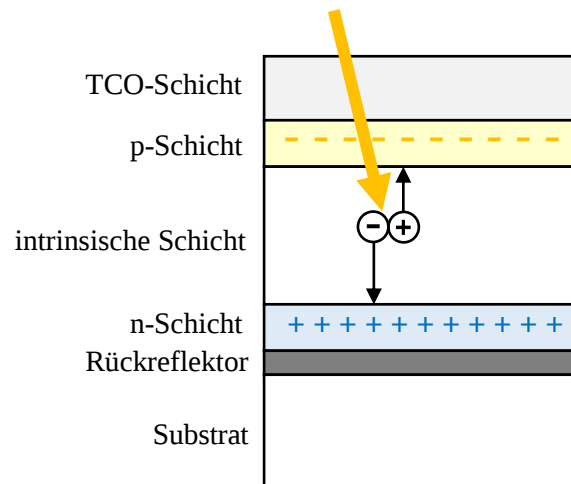


Abbildung 2. Aufbau einer p-i-n Solarzelle (adaptiert nach Schiff et al., 2003, S. 490)

c. Funktionsweise einer Solarzelle: innerer Photoeffekt und photovoltaischer Effekt

Für das Funktionsprinzip einer Solarzelle spielen nun zwei Effekte eine entscheidende Rolle: der innere photoelektrische Effekt einerseits und der photovoltaische Effekt andererseits. Trifft Licht auf die Solarzelle, so wird dieses sowohl von der TCO-Schicht als auch von der p-Schicht transmittiert und in der intrinsischen Schicht absorbiert. Dort ergeben sich nun zwei Möglichkeiten für die Wechselwirkung der Photonen mit den Valenzelektronen des Halbleiters. Besitzt das Photon eine geringere Energie als jene, die notwendig ist, um das Elektron aus seiner Bindung zu lösen, so wird das Photon ohne Wirkung von der Solarzelle transmittiert. Entspricht die Photonenenergie jedoch mindestens dieser Energiemenge, so kann sich das Elektron von seiner Bindung lösen und sich frei bewegen.  bersteigt die Photonenenergie diese Energiemenge, so wird die überschüssige Energie in thermische Energie umgewandelt und kann somit nicht für die Energieversorgung genutzt werden. Durch die Anregung des Elektrons wird ein entsprechendes Elektronenloch im Valenzband zurückgelassen. Die Entstehung eines solchen Elektron-Loch-Paars aufgrund von Lichteinstrahlung wird als **innerer photoelektrischer Effekt** bezeichnet.

Durch den inneren photoelektrischen Effekt alleine kommt es noch zu keinem Stromfluss in der Zelle, da das entstandene freie Elektron und das zugehörige freie Elektronenloch keine zielgerichtete Bewegung ausführen und sich dadurch kein Nettotransport von Ladungsträgern ergibt. Innerhalb dieser Zufallsbewegung kann es darüber hinaus zur Elektron-Loch-Rekombination kommen, wobei das Loch wieder von einem Elektron gef llt wird, was die Anzahl freier Ladungsträger im Halbleitermaterial reduziert. Hier kommt der **photovoltaische Effekt** ins Spiel, der die Nutzbarmachung dieser Elektron-

Loch-Paare für die Energieversorgung ermöglicht. Aufgrund des in der intrinsischen Schicht herrschenden elektrischen Felds wirkt nämlich eine elektrische Kraft auf die nun freien Ladungsträger und induziert somit einerseits eine Ladungstrennung und andererseits eine gerichtete Bewegung der Elektronen und Löcher entgegengesetzt zum beziehungsweise entlang des elektrischen Felds. Die Elektronen bewegen somit in die n-Schicht und die Löcher in die p-Schicht, was in einem „Überschuss an negativer Ladung auf der n-Seite und ein Überschuss an positiver Ladung auf der p-Seite“ und in weiterer Folge im Aufbau einer elektrischen Spannung resultiert (Tipler & Mosca, 2009, S. 1452; vgl. Schiff et al., 2003, S. 490). Über die Kontakte kann nun ein Lastwiderstand angeschlossen und mit elektrischer Energie versorgt werden.

d. Die Elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle: U-I-Kennlinie und MPP

Für die Charakterisierung einer Solarzelle kommen unterschiedliche Kenngrößen zum Einsatz, welche der Strom-Spannungs-Kennlinie der entsprechenden Zelle entnommen werden können. Die rote Kurve in Abbildung 3 zeigt eine solche U-I-Kennlinie, welche die Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von der Spannung der Solarzelle beschreibt. Ihre Höhe hängt dabei von der Bestrahlungsstärke sowie der Fläche der Solarzelle ab.

I_{SC} Kurzschlussstrom I_K
 V_{OC} Leerlaufspannung U_L
MPP Maximum Power Point
 I_M Stromstärke beim MPP
 V_M Spannung beim MPP

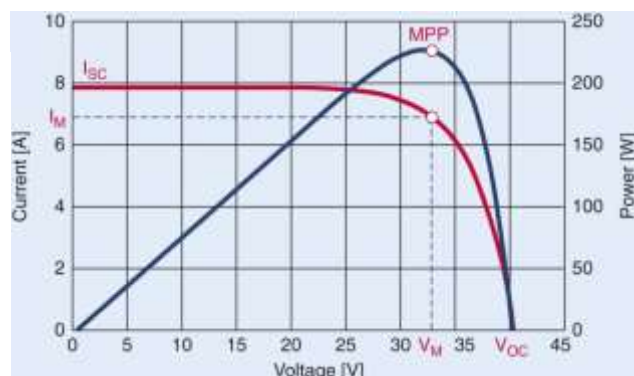


Abbildung 3. U-I-Kennlinie und P-U-Kurve einer Solarzelle (EPCOS AG, A TDK Group Company, 2011)

Ehrlich (2013, S. 328) betont, dass die Kennlinie das Verhalten der Solarzelle als Konstantstromquelle illustriert, da die Stromstärke für eine große Anzahl unterschiedlicher Spannungswerte annähernd konstant bleibt. Im Gegensatz dazu hängt die elektrische Spannung lediglich vom Lastwiderstand ab, der an der Solarzelle anliegt. Befindet sich kein solcher Lastwiderstand im Stromkreis, besteht ein Kurzschluss, wobei keine Spannung an der Solarzelle anliegt. Der dabei fließende Kurzschlussstrom I_K entspricht der maximalen Stromstärke der Zelle. Die größtmögliche Spannung liegt hingegen an der Zelle an, wenn sich diese im Leerlauf befindet, wobei die Solarzelle in diesem Zustand keinen elektrischen Strom liefert. Dieser Wert wird auch als Leerlaufspannung U_L bezeichnet.

Die blaue Funktion in Abbildung 3 zeigt eine Leistungs-Spannungs-Kurve, die jedem Spannungswert einen bestimmten Wert für die elektrische Leistung zuordnet. Dabei ist zu erkennen, dass keine elektrische Leistungsabgabe der Solarzelle möglich ist, wenn sich die Zelle im Kurzschluss oder im Leerlauf befindet. Zwischen diesen beiden Grenzwerten steigt die elektrische Leistung in der Region

konstanter Stromstärke linear mit der Spannung an. Die Funktion besitzt ihren Maximalpunkt im Bereich der Krümmung der Kennlinie. Dieser Punkt wird auch als „Maximum Power Point“ (kurz MPP) bezeichnet. Die Werte I_M und V_M entsprechen dabei der jeweiligen Stromstärke und Spannung, die an der Solarzelle bei maximaler elektrischer Leistungsabgabe gemessen werden können. Um sicherzustellen, dass eine Photovoltaik-Anlage an diesem optimalen Punkt arbeitet und somit die maximal mögliche Leistung erzielt, kann mit Hilfe des Wechselrichters über sogenanntes „MPP-Tracking“ automatisch und kontinuierlich jene Spannung eingestellt werden, die dem Spannungswert V_M am MPP so gut wie möglich entspricht.

e. Faktoren, die einen Einfluss auf die Leistungsabgabe einer Solarzelle besitzen

Um den Vergleich verschiedener Solarzellen zu ermöglichen, erfolgt deren Charakterisierung in Bezug auf festgelegte Standardtestbedingungen oder „standard test conditions“. Die Messungen werden dabei unter einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 , dem solaren Spektrum bei einer Luftmasse von $AM=1,5$ und einer Zelltemperatur von 25°C durchgeführt. Unter realen Bedingungen kann die von einer Solarzelle tatsächlich abgegebene elektrische Leistung jedoch deutlich von jenem Wert abweichen, der auf Basis dieser Standardtestbedingungen für die Zelle festgelegt wurde. Dabei spielen unter anderem Änderungen der Bestrahlungsstärke, der Solarzellentemperatur, dem Einstrahlwinkel und der spektralen Verteilung eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Zwar besitzen auch andere Faktoren wie die Fläche der Solarzelle, die Windgeschwindigkeit oder die Verschaltung mehrerer Zellen ebenfalls einen Einfluss. Diese Aspekte werden in der Lernumgebung jedoch nicht ausdrücklich thematisiert, weshalb deren Behandlung den Umfang der fachlichen Klärung übersteigen würde

Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle wird zunächst durch die Bestrahlungsstärke des einfallenden Sonnenlichts beeinflusst. Die Bestrahlungsstärke beschreibt „den auf das Flächenelement $\vec{d\vec{f}}$ eingestrahlenen Fluss pro Einheit des Flächenelements“ und wird in Watt pro Quadratmeter angegeben (vgl. Wagner et al., 2012, S. 397). Unter ‚Fluss‘ ist hierbei der Strahlungsfluss zu verstehen, d.h. „die Energie, die pro Zeiteinheit durch eine Fläche A hindurchtritt“ (Wagner et al., 2012, S. 395). Außerhalb der Erdatmosphäre besitzt die Bestrahlungsstärke der Sonne einen Wert von 1367 W/m^2 , der auch „Solarkonstante“ genannt wird. Sobald die Sonnenstrahlung in die Erdatmosphäre eindringt, treten jedoch Veränderungen aufgrund von Reflexions-, Streuungs- und Absorptionsprozessen in der Atmosphäre auf. Reflexion erfolgt dabei meist durch Wolken, während Streuung durch feine Wassertröpfchen verursacht werden kann. Der dritte Einflussfaktor, Absorption, hängt mit atmosphärischen Komponenten wie Ozon, Wasserdampf oder Sauerstoff zusammen und beeinflusst vor allem die spektrale Verteilung der Sonnenstrahlung, auf die später genauer eingegangen werden soll. Dies resultiert in der Aufteilung der einfallenden Sonnenstrahlung in unterschiedliche Komponenten:

„Direct or beam radiation, made up of beams of light that are not reflected or scattered, reaches the surface in a straight line from the sun. Diffuse radiation, coming from the whole sky apart from the sun’s disc, is the radiation scattered towards the receiver. Albedo

radiation is radiation reflected from the ground. The total radiation falling on a surface is the sum of these (direct + diffuse + albedo) and is termed global radiation“ (Lorenzo, 2011, S. 992).

Nach den festgelegten Standardtestbedingungen liegt die Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung bei 1000 W/m^2 - unter realen Bedingungen variiert dieser Wert jedoch stark. Einerseits betont Lorenzo (2011, S. 993) dabei den Einfluss der Sonnenbewegung: „[...] even the extraterrestrial radiation experiences regular daily and yearly variations due to the apparent motion of the sun. These variations are predictable and can be theoretically determined just by geometrical considerations“. Andererseits wirken sich auch Wetter- und Klimafaktoren wie Bewölkung oder Staubstürme auf die Bestrahlungsstärke und somit auf die elektrische Leistungsabgabe der Solarzelle aus. Aus diesem Grund weicht die durchschnittliche Bestrahlungsstärke in unterschiedlichen Ländern stark von diesem Standardwert ab. So ergeben sich für Deutschland über ein Jahr gemittelt beispielsweise 115 W/m^2 für die durchschnittliche Bestrahlungsstärke, während der Durchschnitt in Saudi-Arabien bei 285 W/m^2 liegt (vgl. Würfel, 2005, S. 24). Im Hinblick auf die Kenngrößen der Solarzelle besitzt die Bestrahlungsstärke einen linearen Zusammenhang mit der Kurzschlussstromstärke, weshalb eine Erhöhung oder Verringerung der Bestrahlungsstärke um einen bestimmten Faktor in einem dazu analogen Anstieg oder Abfall der Kurzschlussstromstärke resultiert. Van Bien (2007, S. 72) begründet diesen Zusammenhang folgendermaßen: „Je mehr Photonen auf die Solarzelle einfallen, desto größer ist die Anzahl der freien Elektronen sowie erzeugte Löcher [sic]“. Während der generierte Photostrom somit eine „Linearfunktion der Bestrahlungsstärke“ (Van Bien, 2007, S. 72) darstellt, steigt oder sinkt die Leerlaufspannung logarithmisch mit der Bestrahlungsstärke und „erreicht schon bei geringer Beleuchtungsstärke ihren Maximalwert“ (Van Bien, 2007, S. 73).

Abgesehen von der Bestrahlungsstärke wirkt sich auch die Solarzellentemperatur auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle aus, wobei letztere mit steigender Temperatur sinkt. Die Leerlaufspannung einer Solarzelle fällt dabei linear mit steigender Zelltemperatur. Gleichzeitig erfährt die Kurzschlussstromstärke jedoch einen leichten Anstieg, was auf die Verringerung der Bandlücke des Materials aufgrund der Temperaturerhöhung zurückzuführen ist (vgl. Van Bien, 2007, S. 35). Dies führt zu einer Erhöhung der Konzentration freier Ladungsträger, da eine größere Anzahl an Elektronen thermisch angeregt wird, und resultiert in weiterer Folge in einer erhöhten Rekombinationsrate der freien Ladungsträger. Nach Quaschnig (2013, S. 127) bedeutet für kristalline Solarzellen eine Erhöhung der Zelltemperatur um 25°C bereits ein Leistungsabfall von 10%, was die Notwendigkeit von geeigneten Kühlungs- und Lüftungsvorrichtungen für Solarzellen oder Solarmodule unterstreicht. Dies gewinnt vor allem an Bedeutung, wenn man bedenkt, dass Solarzellen lediglich einen geringen Anteil des einfallenden Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln, während der Großteil in Form von thermischer Energie abgegeben wird.

Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle wird weiters durch den Einstrahlwinkel, d.h. den Winkel, in dem das Licht auf die Zelloberfläche fällt, beeinflusst. Dabei spielen neben der Ausrichtung der Zell- oder Modulfläche auch deren örtliche Aufstellung sowie die jeweiligen tages- und jahreszeitlichen Bedingungen eine Rolle. Der daraus resultierende Sonnenstand relativ zur Zellfläche kann mittels zwei Winkeln charakterisiert werden, die sich auf die horizontale und die vertikale Ebene beziehen, nämlich der Zenit- oder Neigungswinkel und der Azimutwinkel. Lorenzo (2011, S. 987) beschreibt den Zenitwinkel als den Winkel „between the vertical and the incident solar beam, i.e., the angle of incidence of beam radiation on a horizontal surface“. Im Gegensatz dazu gibt der Azimutwinkel „die horizontale Abweichung vom Meridian des Standortes“ (Wagner, 2010, S. 8) an: „the solar azimuth [...] is between the meridians of the location and the sun, i.e. the angular displacement from noon of the projection of beam radiation on the horizontal plane“ (Lorenzo, 2011, S. 987). Für die Ausrichtung von statischen Solarmodulen ohne Nachführsystem empfiehlt sich eine „Neigung um den Winkel der geografischen Breite“, damit der Einfallswinkel des Sonnenlichts jenem „auf eine horizontale Fläche am Äquator“ entspricht (Wagner, 2010, S. 8). In Deutschland liegt die Ausrichtung von Solarmodulen für einen größtmöglichen Energieertrag zwischen 30° und 35° in Südrichtung, während eine Solarzelle in Nairobi dafür beinahe in eine horizontale Position gebracht werden sollte (vgl. Quaschnig, 2013, S. 143). Die optimale Ausrichtung eines Moduls kann sich jedoch in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit ändern, wobei sich diese Abweichung mit Äquatornähe reduziert. Aus diesem Grund muss der Neigungswinkel von Solarmodulen in Deutschland im Winter unter Umständen auf bis zu 70° verändert werden, um die elektrische Leistungsabgabe der Anlage zu maximieren (vgl. Quaschnig, 2013, S. 143). Die Bestrahlungsstärke und damit der Kurzschlussstrom der Zelle hängen dabei vom Sinus des Einfallswinkels ab und verringern sich mit steigender Winkelgröße.

Der vierte und letzte Aspekt, der hier besprochen werden soll, ist die spektrale Verteilung der einfallenden Sonnenstrahlung. Die Standardtestbedingungen gehen davon aus, dass die Sonne ein konstantes Spektrum an elektromagnetischer Strahlung aussendet. Unter realen Bedingungen kann sich die spektrale Verteilung (wie oben bereits erwähnt) jedoch aufgrund von atmosphärischen Absorptionsprozesse verändern. Darüber hinaus kann auch „[d]ie Weglänge des Lichtes durch die Atmosphäre“ (Wagner, 2010, S. 19) einen Einfluss auf die Spektralverteilung des Sonnenlichts ausüben. Das in den Standardbedingungen festgelegte solare Spektrum wird somit nur unter bestimmten Bedingungen erreicht, während sich bei anderen Umständen abweichende spektrale Verschiebungen ergeben. Ghitas (2012, S. 170) zeigt beispielsweise auf, dass das solare Spektrum in den Morgenstunden einen höheren Infrarotanteil besitzt als am späten Nachmittag. Die spektrale Verteilung der Sonneneinstrahlung kann überdies in Abhängigkeit der unterschiedlichen Jahreszeiten und des spezifischen Aufstellungsorts der Solarzelle weiter variieren. Solarzellen besitzen abhängig von ihren spezifischen Materialeigenschaften eine unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit für bestimmte Wellenlängenbereiche, weshalb eine Änderung in der spektralen Verteilung je nach Solarzellentyp einen unterschiedlichen Einfluss auf deren elektrische Leistungsabgabe. Mit einer Bandlückenenergie von 1,1

eV nutzt eine kristalline Siliziumzelle vor allem elektromagnetische Strahlung im roten Bereich des sichtbaren Lichts. Gouvêa, Sobrinho und Souza (2017, S. 1188) zeigen in einer Untersuchung, dass Solarzellen aus kristallinem Silizium tatsächlich eine höhere Leistung unter Bestrahlung mit rotem Licht als beispielsweise unter blauem oder grünem Licht abgeben. Darüber hinaus besitzt die Siliziumzelle eine erhöhte Empfindlichkeit im nahen Infrarotbereich, wobei die elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich des Spektrums den Kurzschlussstrom deutlich stärker beeinflussen jene im Infrarotbereich: „Infrared [...] contributes little to ISC due to incomplete absorption of the long wavelength photons whose energy is mostly given as heat to the PV module“ (Ghitas, 2012, S. 166). Infrarotstrahlung trägt also einerseits zur Leistungsausbeute der kristallinen Siliziumzelle bei, gleichzeitig ist ihr Anteil an der elektrischen Leistung aufgrund der resultierenden Erwärmung der Zelle deutlich geringer als jener des sichtbaren Lichts. Der UV-Anteil des Solarspektrums besitzt den geringsten Einfluss auf den Kurzschlussstrom der Siliziumzelle, da „die meisten dieser hochenergetischen Photonen bereits an der Oberfläche der Zelle absorbiert werden, bevor sie zur Erzeugung freier Ladungsträger beitragen können“ (Übersetzung der Verf.) (Ghitas, 2012, S. 166).

3.2.2. Elementarisierung der fachwissenschaftlichen Sachstrukturen

Vor dem Hintergrund der beschriebenen fachwissenschaftlichen Perspektive soll nun eine Elementarisierung der für die auszutestende Experimentierphase relevanten Inhalte erfolgen, wobei sowohl die inhaltlichen Aspekte der Photovoltaik als auch die Grundlagen physikalischer Experimentalforschung berücksichtigt werden.

a. Anpassung der Inhalte auf das Anforderungsniveau der Zielgruppe

Im Zuge der Elementarisierung wird angestrebt, die zu vermittelnden Inhalte derart zu vereinfachen, dass sie für Schüler_innen einer vierten Klasse der AHS Unterstufe nachvollziehbar und ansprechend sind. Wie bereits erwähnt wurde dabei auf angemessene Modellvorstellungen sowie die p-i-n Solarzelle als exemplarisches Beispiel zurückgegriffen. Nach Kircher (2009, S. 119) dient darüber hinaus die Verwendung von Bildern der Elementarisierung anspruchsvoller Konzepte. Zunächst leisten diese einen förderlichen Beitrag zur „geistigen Verarbeitung und Interpretation schwer verständlicher physikalischer Texte“, indem sie „gegenständliche und strukturelle Zusammenhänge veranschaulichen“. Der Aufbau und das Funktionsprinzip einer p-i-n Solarzelle wird daher nicht nur schriftlich erläutert, sondern ebenfalls mit Hilfe „symbolische[r] Darstellung[en]“ (Kircher, 2009, S. 119) vermittelt. Nach Kircher (2009, S. 119) dient diese Art der visuellen Repräsentation dazu, das Hauptaugenmerk der Lernenden auf die zentralen Aspekte des dargestellten Gegenstands oder Sachverhaltes zu richten, indem „physikalisch irrelevante Eigenschaften weggelassen“ und „[d]ie optische Information [...] reduziert [wird]“. Die in den Unterrichtsmaterialien verwendeten Grafiken verzichten aus diesem Grund auf unwesentliche Details, wobei die Solarzelle nicht realitätsgetreu, sondern stark vereinfacht in Form eines Schichtaufbaus präsentiert wird, in welchem die einzelnen Schichten ohne die in ihnen enthaltenen Atome und Ionen dargestellt werden. Die elektrischen

Eigenschaften der Zelle werden dabei mittels verschiedener Farben und den Symbolen ‚+‘ und ‚-‘ hervorgehoben. Auch die visuelle Repräsentation des elektrischen Felds wird in den Zeichnungen für die Unterstufe weggelassen, stattdessen wird lediglich die elektrische Kraft in Form eines Pfeils eingezeichnet, die auf ein einzelnes freies Elektron wirkt. Ein zweiter Vorteil der Verwendung von Bildern in Unterrichtsmaterialien gründet in „affektiven und motivationalen Aspekten“, da sie beispielsweise das Interesse und die Lernbereitschaft der Lernenden erhöhen und die zugehörigen Texte durch die Inklusion von Abbildungen lesenswerter erscheinen können (vgl. Kircher, 2009, S. 119). Für die Thematisierung naturwissenschaftlicher Forschungsmethoden wurde deshalb unter anderem ein Concept Cartoon gewählt, da die bildliche Darstellung von diskutierenden Schüler_innen, die mittels Sprechblasen miteinander diskutieren, ebendiesen positiven Motivationseffekt hervorrufen soll (siehe dazu Kapitel 4.4.).

Eine weitere Möglichkeit der Elementarisierung bietet nach Van Bien (2007, S. 44) das „Weglassen komplizierter Zusammenhänge“. Der Autor erläutert dazu: „Komplexität und Abstraktion lassen sich reduzieren, indem fachwissenschaftlich schwierige Zusammenhänge nicht zum reproduzierbaren Wissen ausgewählt werden“ (Van Bien 2007, S. 44). Aus diesem Grund wurde in den entwickelten Unterrichtsmaterialien auf die Erwähnung aller Prozesse verzichtet, die nicht zum unmittelbaren grundlegenden Verständnis der Solarzelle und der Faktoren, die ihre Leistungsabgabe beeinflussen, beitragen. Beispielsweise wird im Informationstext nicht erwähnt, dass die n- und die p-Schicht an sich keine elektrische Nettoladung besitzen und erst durch den Austausch von freien Ladungsträgern eine positive oder negative Aufladung erfahren und dabei die p-Schicht negativ und die n-Schicht positiv geladen wird. Stattdessen wird bereits zu Beginn angenommen, dass sich die Schichten in einem elektrisch geladenen Zustand befinden und ein elektrisches Feld existiert. Auch der Dotierungsprozess wird lediglich am Rande erwähnt, um die Entstehung der beiden Randschichten und in weiterer Folge des elektrischen Felds zu begründen, ohne dabei im Detail auf die zugrundeliegenden Vorgänge einzugehen. Weiters wird in den Materialien auf die Erwähnung der Elektronenlöcher verzichtet, da dieses Konzept für die meisten Schüler_innen der Zielgruppe höchstwahrscheinlich zu abstrakt und dadurch äußerst schwer verständlich wäre, weshalb lediglich die freien Elektronen als die zur Energieversorgung beitragenden Ladungsträger genannt werden. Der Aufbau der p-i-n Zelle wird ebenfalls stark vereinfacht, wobei auf die Erwähnung des Substrats und die TCO-Schichten verzichtet wird und stattdessen vereinfacht von Metallkontakten ausgegangen wird, mit denen das Elektrogerät verbunden werden kann. Auch im Hinblick auf die Faktoren, welche die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen, werden komplexe Detailinformationen und Zusammenhänge vernachlässigt. Beispielsweise ist es nach Van Bien (2007, S. 44), „[...] mit dem physikalischen Wissen der Sekundarstufe I nicht ausführlich möglich zu begründen, weshalb beim Anstieg der Solarzellentemperatur die Leistung der Solarzelle sinkt“.

Im Hinblick auf die Optimierung der elektrischen Leistungsabgabe einer Solarzelle werden überdies Experimente eingesetzt, um die Rolle verschiedener Umweltfaktoren zu zeigen. Nach Kircher (2009, S.

118) kann „[e]ine solche Demonstration [...] *ausdrucksstärker, informativer, lernökonomischer* als eine noch so genaue Beschreibung oder Definition des entsprechenden Begriffs sein“ (Hervorh. im Original). Mit Hilfe der Experimente können die Schüler_innen die Abhängigkeit der Stromstärke, Spannung und der elektrischen Leistung vom jeweiligen Parameter aufgrund der von ihnen durchgeführten Messungen selbst erkennen und mit Hilfe von je-desto-Beziehungen qualitativ beschreiben, was eine anschaulichere Alternative zur rein schriftlichen Repräsentation dieser Zusammenhänge bietet (vgl. Van Bien, 2007, S. 43). Auch im Hinblick auf das Lernen über naturwissenschaftliche Forschung wirken sich Experimente lernförderlich aus, denn laut Kircher (2009, S. 135-136) „[...] sollte man wesentliche Züge wissenschaftlichen Arbeitens nicht nur an geeigneten z. B. auch historischen Beispielen illustrieren und simulieren [...], sondern auch in angemessener *exemplarischer Laborarbeit* die Schüler selbst die Probleme *wissenschaftlichen Arbeitens* erfahren lassen“ (Hervorh. im Original). Somit wird es möglich, „die physikalische Methodologie in elementarisierte Form auf den Unterricht [zu] übertragen“ (Kircher, 2009, S. 145), ohne die Schüler_innen dabei mit der enormen Fülle der Natur der Naturwissenschaften und deren Arbeitsweisen zu überfordern.

b. Identifikation elementarer Grundideen

Wie Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997, S. 9) betonen, geht es bei der Elementarisierung neben der Vereinfachung von Sachstrukturen auch um die Identifikation der „elementaren Grundideen“ dieser Inhalte. Für die zu erprobenden Unterrichtsmaterialien wurden deshalb sowohl aus dem Themenbereich der Photovoltaik als auch der Natur der Naturwissenschaften beziehungsweise naturwissenschaftlicher Forschung die folgenden Kernaspekte herausgefiltert, welche den Schüler_innen innerhalb dieses Unterrichtsganges vermittelt werden sollen.

Die erste Key Idea zur Photovoltaik lautet „*Die Strahlungsenergie der Sonne kann mit Hilfe von Photovoltaik-Anlagen in elektrische Energie umgewandelt werden*“. Diese Aussage fasst einerseits den Zweck der Photovoltaik zusammen und andererseits ermöglicht sie eine Abgrenzung zur Solarthermie. Eine weitere Key Idea bilden die Effekte, die diesen Umwandlungsprozess ermöglichen: „*Das Funktionsprinzip der Solarzelle beruht zum einen auf dem Photoeffekt, bei dem Elektronen durch Photonen aus ihren Bindungen gelöst werden und Isolatoren dadurch zu Leitern werden, und zum anderen auf dem photovoltaischen Effekt, bei dem ein elektrisches Feld diese freien Elektronen beschleunigt, um sie für die elektrische Energieversorgung nutzbar zu machen*“. Dieses „Erklärungsglied“ (Kircher, 2009, S. 109) weist auf die Rolle des inneren Photoeffekts zur Freisetzung von Ladungsträgern einerseits und die Notwendigkeit des photovoltaischen Effekts zur Nutzbarmachung dieser Ladungen für die Energieversorgung andererseits hin. Im Hinblick auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle ergeben sich mehrere Grundideen, die sich auf die vier Faktoren beziehen, welche im Zuge der Experimente von den Lernenden untersucht werden sollen:

- *Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle ist vom Neigungswinkel des Solarmoduls bzw. dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlung abhängig.*

- *Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle steigt mit der Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts, also mit der Energie, die auf eine gewisse Fläche in einer bestimmten Zeit abgegeben wird.*
- *Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle sinkt mit steigender Zelltemperatur. Es ist daher wichtig, bei PV-Anlagen auf eine gute Wärmeabfuhr zu achten.*
- *Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle hängt von der spektralen Verteilung des einfallenden Lichts ab. Diese kann durch Absorption in der Atmosphäre beeinflusst werden.*

Diese zeigen die Abhängigkeit der Leistung vom jeweiligen Parameter auf und beinhalten eine kurze Zusatzinformation zur Bestrahlungsstärke, zur Solarzelltemperatur und zur spektralen Verteilung, da diese Begriffe den Schüler_innen unter Umständen weniger bekannt sind als der Einstrahlwinkel des Sonnenlichts.

Im Hinblick auf das Themengebiet der Natur der Naturwissenschaften und die Grundlagen naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse ergeben sich ebenfalls mehrere Key Ideas. Die erste davon lautet *„Eine Untersuchung beginnt mit einer konkreten untersuchbaren Fragestellung“* und betont die Tatsache, dass jedes naturwissenschaftliche Forschungsvorhaben durch ein konkretes Erkenntnisinteresse geleitet ist (vgl. Lederman et al., 2014, S. 68). Des Weiteren wurde die Charakterisierung von Experimenten im Sinne der aktiven Manipulation und Kontrolle von Variablen als Grundaspekt naturwissenschaftlicher Forschung ausgewählt: *„Um ein Phänomen zu untersuchen, müssen zunächst relevante Größen (Parameter) ausgewählt werden, die das Phänomen beschreiben. Bei einer einzelnen Untersuchung darf dann immer nur ein Parameter variiert werden, die anderen Parameter müssen kontrolliert werden“*. Darüber hinaus soll mit Hilfe der Kernidee *„Ein Forschungsprozess muss genau geplant und dokumentiert werden, damit die Messung nachvollziehbar ist“* betont werden, dass Experimente weitaus mehr inkludieren als die Aufnahme von Messdaten (vgl. Höttecke, 2001, S. 20-21). Die letzte Key Idea bildet die Aussage *„Im Zuge der Vorbereitung auf ein Experiment sind nicht nur Vorwissen und Vertrautheit mit den Messgeräten notwendig, sondern auch die eigene Kreativität ist oftmals gefragt, da unter Umständen nach individuellen Lösungen gesucht werden muss, um das gewünschte Experimentiersetting zu generieren“*. Diese betont die Relevanz von Kreativität und Vorstellungskraft für naturwissenschaftliche Forschungsprozesse (vgl. Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045). Hierbei sollte angemerkt werden, dass sich die gewählte Formulierung lediglich auf den Einsatz von Kreativität in der Planungsphase der Untersuchung hinweist, obwohl dies in der Realität in den unterschiedlichsten Stufen des Forschungsprozesses möglich und unter Umständen notwendig ist.

c. Entwicklung einer Unterrichtsstruktur

Die ausgearbeiteten Key Ideas der relevanten Unterrichtsinhalte wurden im Sinne einer Unterrichtsstruktur so angeordnet und aufeinander aufgebaut, dass auf Basis dieser einzelnen Erklärungsglieder ein „Erklärungsmuster“ (Kircher, 2009, S. 109) entsteht, welches aufbauend auf der Funktion einer Solarzelle die Frage thematisiert, wie man ein Smartphone mit Hilfe einer Solarzelle

schnellstmöglich laden kann, was wiederum mit Hilfe der Experimente beantwortet werden soll. Im Hinblick auf die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Forschung erhalten die Schüler_innen zunächst einen Input über wichtige Aspekte physikalischer Experimente, durchlaufen selbst die verschiedenen Phasen des Experimentierens und reflektieren anschließend über ihren eigenen Untersuchungsprozess in Bezug auf reale Forschung. Die beiden Grundideen zur Funktionsweise der Solarzelle werden dabei in der zweiten Einheit der Lernumgebung adressiert, während die restlichen Kernaspekte für die dritte Einheit relevant sind. Die spezifische Zuordnung der Key Ideas zu den einzelnen Unterrichtseinheiten findet sich in Kapitel 5.

3.3. Schülervorstellungen

Präkonzepte sind für den Unterricht „notwendiger Anknüpfungspunkt und Lernhemmnis zugleich“ - sie besitzen also eine „Doppelrolle“ (Duit, 2009, S. 627). Einerseits handelt es sich bei Schülervorstellungen um tiefsitzende Denkmuster, die den Schüler_innen im Alltag von Nutzen sind und auf Basis derer sich spezifische Begriffsbedeutungen entwickeln (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34). Dieses Inventar bildet daher einen „Verstehensrahmen“ (Jung, 2011, S. 16) für den Lernprozess der Schüler_innen, innerhalb dessen alle neuen Erfahrungen und Informationen interpretiert und weiterverarbeitet werden (vgl. Wodzinski, 2011, S. 25; Duit, 2009, S. 605, 611). Abgesehen von Alltagserfahrungen bestimmen auch unterrichtliche Erfahrungen selbst die Entwicklung von Schülervorstellungen und bilden somit ebenfalls einen Teil des Hintergrunds, vor dem die Lernenden Neues verarbeiten (vgl. Duit, 2011a, S. 3). Aufgrund dieser Aspekte bergen bestehende Lernendenvorstellungen eine hohe Relevanz für die Planung und Gestaltung von Physikunterricht. Andererseits stimmen Lernendenvorstellungen oftmals nicht mit der entsprechenden physikalischen Sichtweise überein, wodurch sich Probleme im Lern- und Verständnisprozess ergeben können (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34; Duit, 2009, S. 605, 627). Schülervorstellungen weisen im Gegensatz zu physikalischen Konzepten nämlich keine in sich geschlossene, schlüssige Struktur auf, sondern beinhalten zumeist Inkonsistenzen und Widersprüchlichkeiten (Wiesner & Hopf, 2011, S. 48). Nichtsdestotrotz besitzen derartige Vorstellungen eine gewisse innere Logik und sind daher nicht so einfach im Tausch gegen die physikalische Ansicht aufzugeben (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34). Die Aufgabe des Unterrichts besteht daher nicht nur in der Berücksichtigung von Schülervorstellungen, sondern er muss auch den Anspruch erfüllen, den Lernenden die physikalischen Konzepte nahe zu bringen, „[...] d.h. die Schüler[_innen] davon [zu] überzeugen, dass diese Sicht fruchtbare neue und interessante Einsichten bietet“ (Duit, 2009, S. 605).

Die Übernahme physikalisch korrekter Denkstrukturen wird zusätzlich erschwert durch die Alltagssprache, die maßgeblich beeinflusst, wie Schüler_innen Erfahrungen und Informationen interpretieren und wie sie darüber sprechen (vgl. Duit, 2009, S. 605). Sowohl Jung (2011, S. 18) als auch Duit (2009, S. 605) weisen darauf hin, dass Alltagssprache teilweise unzeitgemäße und/oder physikalisch inkorrekte Vorstellungen wie das geozentrische Weltbild perpetuiert, was sich unter

anderem in der Aussage „Die Sonne geht auf“ widerspiegelt. Ein weiteres Beispiel ist der Begriff ‚Augenlicht‘, der ein veraltetes Konzept der Lichtausbreitung in sich trägt. Im Alltag wird auch oft vom ‚Stromverbrauch‘ oder ‚Energieverbrauch‘ gesprochen, zwei Formulierungen, die dem Konzept der Energieerhaltung klar widersprechen. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich durch die Polysemie bestimmter Begriffe, die in der Alltags- und der Wissenschaftssprache auf unterschiedliche Weise verwendet werden, wie etwa ‚Energie‘, ‚Kraft‘, ‚Leistung‘, ‚Wärme‘ oder ‚Stoff‘ (vgl. Wiesner & Hopf, 2011, S. 48; Jung, 2011, S. 18; Duit, 2009, S. 605). Der Begriffswechsel von der Alltagsvorstellung zur physikalischen Sichtweise beinhaltet daher zusätzlich das Erlernen der physikalischen Sprache, die „eine neue Sicht- und Beschreibungsweise“ (Wiesner & Hopf, 2011, S. 48) darstellt.

3.3.1. Charakterisieren von Schülervorstellungen

Nun stellt sich die Frage nach den Grundaspekten, anhand derer sich Schülervorstellungen charakterisieren lassen. Wiesner und Schecker (2011, S. 34) unterscheiden zwischen „allgemeinen, übergreifenden und inhaltsbezogenen, spezifischen Vorstellungen“. Bei der ersten Kategorie handelt es sich um umfassende Sichtweisen, die im wissenschaftlichen Kontext keine korrekten, anwendbaren Beschreibungs- oder Lösungsansätze darstellen. Als Beispiel nennen die Autoren die „Verbrauchsvorstellung“, wonach ein Prozess nur durch den Verbrauch eines Stoffes oder einer Energieform ablaufen kann (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34). Sehr häufig wird etwa die Auffassung vertreten, dass Elektrogeräte Strom verbrauchen, während sie in Betrieb sind (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34). Weitere allgemeine Vorstellungen sind fehlerhafte Zuordnungen von Ursachen und Wirkungen oder inadäquate Vorstellungen von Nutzung und Bereitstellung, sowie „unzutreffende Kategorisierungen“ (Wiesner & Schecker, 2011, S. 35) von physikalischen Konzepten, unter anderem im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen Zustand oder Prozess (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34-35). Als Beispiel nennt Duit (2011c, S. 189) die Vorstellung von Energie als „quasi-stoffliches ‚Etwas‘“ (Duit, 2011c, S. 189), wobei Lernende die einzelnen Energieformen „nach den ihnen zugeordneten Erscheinungen klassifizier[en]“ und die Möglichkeit eines Umwandlungsprozesses unterschiedlicher Energieformen nicht berücksichtigen (Duit, 2011a, S. 6). Inhaltsbezogene Vorstellungen beziehen sich hingegen, wie die Bezeichnung bereits impliziert, auf Konzepte, die spezieller Natur sind (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34-35). Eine inhaltsbezogene Vorstellung zum Energiebegriff bildet beispielsweise die Auffassung, Energie sei dasselbe wie Kraft (vgl. Duit, 2011c, S. 189). Für weitere Beispiele sei an dieser Stelle auf die umfangreiche Sammlung von Schülervorstellungen von Müller, Wodzinski und Hopf (2011) verwiesen.

Wodzinski (2011, S. 23) nennt als weiteren Faktor zur Charakterisierung von Schülervorstellungen ihre Reichweite und differenziert dabei zwischen „konkreten Vorstellungen einzelner Schülerinnen und Schüler“ und „Vorstellungen, die aufgrund einer bestimmten Sozialisation einer ganzen Kultur zugeschrieben werden können“. Darüber hinaus verweisen sowohl Wiesner und Schecker (2011, S. 34) als auch Wodzinski (2011, S. 23) auf die Einordnung von Präkonzepten anhand ihrer Beständigkeit in

zwei unterschiedliche Kategorien, die als „deep structure“ und „current construction“ (Niedderer & Schecker, 1992, zitiert nach Wodzinski, 2011, S. 23) bezeichnet werden können. Erstere umfasst stark verankerte und stabile Lernendenvorstellungen, während letztere „ad-hoc-ideas“ (Niedderer & Schecker, 1992, S. 86) beinhaltet, die von Schüler_innen in spontanen Erklärungsversuchen und daher nicht systematisch verwendet werden (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 34; Wodzinski, 2011, S. 23). Letzteren entsprechen beispielsweise jene Vermutungen, die Schüler_innen über die Funktionsweise einer Solarzelle anstellen, wenn sie noch kaum Vorwissen über dieses Thema besitzen (vgl. Van Bien 2007, S. 18-19). Wodzinski (2011, S. 23) verweist in diesem Zusammenhang außerdem auf den unterschiedlichen Grad an Überzeugung, den Schüler_innen in Bezug auf ihre Vorstellungen besitzen können.

3.3.2. Von der Schülervorstellung zum physikalischen Konzept

Um nun einen Begriffs- oder Konzeptwechsel vom Alltagsdenken zur physikalischen Sichtweise durchführen zu können, bedarf es nach Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982, zitiert nach Wiesner & Hopf, 2011, S. 49 und Duit, 2009, S. 615) unterschiedlichen Voraussetzungen. Zunächst sollte bereits eine gewisse Unzufriedenheit auf Seiten der Lernenden herrschen was die Anwendbarkeit ihrer Vorstellung angeht, wobei diese Haltung auch von der Lehrperson induziert werden kann. Darüber hinaus muss die physikalische Sichtweise von den Schüler_innen als einsehbare und sinnvolle Alternative zur bisherigen Vorstellung akzeptiert werden. Die dritte Bedingung besteht im praktischen Nutzen dieses alternativen Erklärungszugangs, wonach dieser in Bereichen anwendbar sein muss, die mit der Alltagsvorstellung zuvor nicht zugänglich gewesen waren (vgl. Posner et al., 1982, zitiert nach Wiesner & Hopf, 2011, S. 49). Beispielsweise scheint die Vorstellung „Wolle macht mich warm, also ist Wolle warm“ in vielen Alltagssituationen durchaus anwendbar zu sein, beispielsweise im Hinblick auf die Tatsache, dass man sich mit einem dicken Wollpullover wärmer fühlt als im Unterhemd (Duit, 2011b, S. 21). Dieser Ansatz kann jedoch nicht erklären, dass ein in Alufolie gewickelter Eiswürfel schneller schmilzt als ein Eiswürfel, der in etwas Wolle gepackt ist. Dazu wird das Konzept der Wärmeleitung benötigt, welches eine plausible Begründung für beide Fälle liefern kann (vgl. Duit, 2011b, S. 21). Mehrere Unterrichtsstrategien eignen sich zur Schaffung der genannten Bedingungen, wobei nach Scott, Asoko und Driver (1992, zitiert nach Wodzinski, 2011, S. 28) differenziert wird zwischen „Strategien, bei denen ein kognitiver Konflikt und dessen Lösung im Vordergrund steht“ und „Strategien, bei denen es in erster Linie um den Aufbau und die Entwicklung von physikalischen Konzepten geht“.

Die erste Art von Strategie beinhaltet die explizite Konfrontation der Schüler_innen mit dem limitierten Anwendungsbereich ihrer Vorstellungen im Gegensatz zum entsprechenden physikalischen Konzept, wobei letzteres schlussendlich als im jeweiligen Problemkontext erklärungsmächtiger und plausibler erfahren werden soll (vgl. Wiesner & Hopf, 2011, S. 50). Der kognitive Konflikt kann mit Hilfe einer expliziten Gegenüberstellung der Schülervorstellung und der gegenläufigen physikalischen Sichtweise

induziert werden (vgl. Duit, 2009, S. 617). Ein Beispiel bildet der empirische Zugang, wobei nach Duit (2009, S. 617) „[d]ie Voraussagen der Lernenden zum Ausgang eines Experiments und das tatsächliche Ergebnis [...] zur Erzeugung eines kognitiven Konflikts genutzt [werden]“. Diese „Konfrontationstaktik“ (Jung, 2011, S. 19) dominierte lange Zeit den fachdidaktischen Diskurs, jedoch wird sie heute deutlich kritischer wahrgenommen (vgl. Wodzinski, 2011, S. 31). Zunächst betont Wodzinski (2011, S. 31), dass die „metakognitive[n] Fähigkeiten“, die für die Feststellung eines solchen Konflikts notwendig sind, je nach Alter und Reife der Schüler_innen unter Umständen nicht vorhanden sind. Darüber hinaus merkt Jung (2011, S. 19) an, dass Präkonzepte oftmals „automatisierte[n] Programme[n]“ ähneln, was deren Bewusstmachung im Zuge der Schaffung eines kognitiven Konflikts weiter erschweren kann. Gleichzeitig besteht bei diesem Unterrichtsansatz die Gefahr, dass die explizite Diskussion von Schülervorstellungen diese weiter verstärkt (vgl. Wiesner & Hopf, 2011, S. 50; Wodzinski, 2011, S. 30). Im Hinblick auf den empirischen Zugang zum kognitiven Konflikt bemerkt Duit (2011b, S. 20) auch, dass die Wahrnehmung von Schüler_innen tendenziell durch ihre eigenen Vorstellungen beeinflusst wird. Die Lernenden interpretieren Beobachtungen und Messungen derart, dass die dabei resultierenden Schlussfolgerungen im Rahmen ihrer Präkonzepte erklärt werden können. Ist das nicht möglich, so reicht das Experiment oftmals nicht aus, die Schüler_innen davon zu überzeugen, dass ihre Vorstellungen in diesem Kontext nicht fruchtbar sind (vgl. Duit, 2011b, S. 20).

Die Unterrichtsstrategien der zweiten Kategorie setzen auf einen „bruchlosen Übergang“ (Duit, 2009, S. 617) zwischen der Schülervorstellung und dem physikalischen Konzept, wobei zwischen der „Anknüpfungsstrategie“, der „Umdeutungsstrategie“ und der „Brückenstrategie“ unterschieden werden kann (Wiesner & Hopf, 2011, S. 50-51). Nach Duit (2009, S. 617) werden bei der Anknüpfungsstrategie „Erfahrungen als Ausgangspunkt gewählt, deren Alltagsverständnis nicht oder möglichst wenig mit dem wissenschaftlichen kollidiert. [...] Die Lernenden werden gewissermaßen Schritt für Schritt zu den wissenschaftlichen Vorstellungen geführt“. Sowohl Jung (2011, S. 19) als auch Wiesner und Hopf (2011, S. 50) verwenden analoge Definitionen. Die Umdeutungsstrategie setzt hingegen auf eine „umfassende Umstrukturierung“ (Jung, 2011, S. 19), „[...] indem den Lernenden vermittelt wird, dass ihre Vorstellung nicht völlig falsch ist, sondern eine physikalisch sinnvolle Bedeutung erhält, wenn ihre Vorstellung umgedeutet wird (Wiesner & Hopf, 2011, S. 50). Mit Hilfe des dritten Zugangs, der Brückenstrategie, sollen die Lernenden Wodzinski (2011, S. 29) folgend von einer bestimmten „Ankervorstellung“, die bis zu einem gewissen Grad der wissenschaftlichen Sichtweise entspricht, zu einer physikalisch sinnvollen Sichtweise gelangen. Dies geschieht in mehreren Etappen, in denen sogenannte „Übergangsbegriffe“ ausgebildet werden, welche anschließend „sukzessive bis zum Zielbegriff weiterentwickelt werden“ (Wiesner & Hopf, 2011, S. 51). Als Beispiel nennen Wiesner und Hopf (2011, S. 51) die Vorstellung, dass „die Oberfläche eines Tisches aus kleinen Spiralfedern aufgebaut [ist]“, um die Kraft, die der Tisch auf einen auf ihm liegenden Gegenstand ausübt, besser verständlich zu machen.

Zu guter Letzt sollte hervorgehoben werden, dass es sich bei dem Prozess des Begriffs- oder Konzeptwechsels vom Präkonzept zur physikalischen Vorstellung keineswegs um einen unproblematischen oder raschen Prozess handelt (vgl. Duit, 2009, S. 614), denn damit ein solcher Wandel geschehen kann, können die Lernenden ihre Alltagsvorstellungen nicht einfach verwerfen. Der Begriffswechsel kann lediglich aufzeigen, dass die bisher bewährte Schülervorstellung in gewissen physikalischen Kontexten an die Grenze ihrer Anwendbarkeit stößt, während die wissenschaftliche Denkweise eine weitaus größere Erklärungsmächtigkeit aufweist (vgl. Wodzinski, 2011, S. 24). Außerdem stellen sich einige Autor_innen die Frage, ob es denn überhaupt sinnvoll und möglich ist, Präkonzepte vollständig zu eliminieren. Wiesner und Hopf (2011, S. 48) betonen beispielsweise:

„Die vorunterrichtlichen Vorstellungen haben sich bei den Schülern in der alltäglichen Auseinandersetzung mit den Erscheinungen der materiellen und der sozialen Umwelt als nützliches Wissen zur erfolgreichen Bewältigung des Alltags entwickelt. Sie zu „löschen“ und durch die physikalischen Begriffe zu ersetzen, ist deshalb nicht zweckmäßig. Alltagsgespräche würden eher darunter leiden, wenn stets nur die physikalisch korrekte Art der Verwendung von Begriffen ‚Kraft‘, ‚Arbeit‘ oder ‚Leistung‘ zugelassen wäre.“

Die Autoren verwenden in diesem Zusammenhang die Analogie der Fremd- und Muttersprache: „Die Muttersprache – entspricht dem Alltagsdenken – behält weiterhin ihre Berechtigung, sie wird nicht falsch, nur ist es in manchen Situationen unzweckmäßig, sie zu benutzen“ (Wiesner & Hopf, 2011, S. 48).

3.3.3. Schülervorstellungen zur Photovoltaik

Nach dem heutigen Stand gibt es nur sehr wenig Fachliteratur, die sich den gängigen Lernendenvorstellungen zum Thema Photovoltaik widmet. Da diese jedoch als Teilgebiet der Elektrizitätslehre angesehen werden kann, werden im folgenden einige Schülervorstellungen zu unterschiedlichen Aspekten der Elektrizität gesammelt und in Relation zur vorliegenden Lernumgebung gesetzt. Anschließend werden die von Van Bien (2007) in seiner Dissertation genannten Präkonzepte zur Photovoltaik diskutiert.

Wiesner und Hopf (2011, S. 50) merken an, dass die Thematik der Elektrizitätslehre aufgrund der Tatsache, dass sich Strom beziehungsweise Elektrizität der sinnlichen Wahrnehmung weitgehend entzieht, häufig Verständnisschwierigkeiten auf Seiten der Schüler_innen birgt. Daher kann oftmals nur auf Modelle und Analogien zurückgegriffen werden, wie beispielsweise das Wasserkreislaufmodell, das Fahrradkettenmodell oder das Höhenmodell (zum Beispiel im LMU Konzept München). Eine bereits genannte, äußerst häufige und beharrliche Schülervorstellung ist die Auffassung, dass im Stromkreis Elektrizität verbraucht wird (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 43). Diese Vorstellung ist in der Lernumgebung abgesehen vom allgemeinen Verständnis der Funktionsweise von Generatoren und Elektrogeräten vor allem im Hinblick auf die Funktionsweise der Solarzelle relevant. Besteht die

Vorstellung, dass die freien Elektronen, die an den Elektroden aufgrund des photovoltaischen Effekts gesammelt werden, am Elektrogerät einfach ‚verbraucht‘ werden, dann würde die Solarzelle irgendwann keine Elektronen mehr besitzen und müsste daher künstlich um weitere Elektronen erweitert werden. Wiesner und Hopf (2011, S. 50) betonen sogar, dass die Verwendung einer Solarzelle als Generator dabei helfen kann, der Schülervorstellung einer Batterie als „Speicher von Strom, die im geschlossenen Stromkreis geleert werden“ entgegenzuwirken, da diese „sich nicht im gleichen Sinn erschöpfen“. Eng mit der Verbrauchsvorstellung verbunden ist auch die Auffassung, dass Energie „eine Art universeller Treibstoff“ ist, der aus unterschiedlichen Energieträgern extrahiert und anschließend vollständig verbraucht wird, was durch die vor allem im technischen Bereich gängigen Begriffe „Energieerzeugung“ und „Energieverbrauch“ weiter verstärkt wird (Duit, 2011a, S. 6). Diese Lernendenvorstellung kann deshalb zu Verständnisschwierigkeiten im Sinne der Energieumwandlung mit Hilfe von Solarzellen (und in weiterer Folge durch die Elektrogeräte) führen (vgl. Wiesner & Schecker, 2011, S. 43). Darüber hinaus ist der Begriff der elektrischen Energie insofern problematisch, als dass er häufig mit der Stromstärke gleichgesetzt wird (vgl. Van Bien, 2007, S. 18).

Eine weitere Schwierigkeit birgt die Differenzierung zwischen Stromstärke und Spannung, da Schüler_innen oftmals die Vorstellung besitzen, die elektrische Spannung sei „eine Eigenschaft des Stromes“ (Rhöneck, 2011, S. 169) und gebe die „Wirkungsmächtigkeit“ (Wiesner & Schecker, 2011, S. 43) des elektrischen Stromes an. Dies kann vor allem im Hinblick auf die Experimentierphase zu Problemen führen, da die Schüler_innen sowohl Stromstärke- als auch Spannungsmessungen durchführen und ihre Messwerte sinnvoll interpretieren sollen. Ein weiterer Aspekt, der vor allem in der Einleitungsphase des Experimentierens, bei der Versuchsplanung und bei der Ergebnisdiskussion eine Rolle spielt, ist der Leistungsbegriff, welcher unter Umständen „mit körperlichen und geistigen Aktivitäten“ (Duit, 2011c, S. 189) assoziiert und daher der Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und elektrischer Leistung schwer begreiflich wird. Auch die Beziehung und Unterscheidung zwischen elektrischer Leistung und Energie könnte Probleme verursachen.

Zwei weitere, miteinander verknüpfte Präkonzepte, die im Zuge des Experimentierens aufkommen könnten, sind die „lokale und sequentielle Argumentation“ im Hinblick auf den Elektrizitätsfluss im Stromkreis (Wiesner & Schecker, 2011, S. 44). Nach der lokalen Vorstellung fassen Lernende nach Rhöneck (2011, S. 168) die Stromstärke an Knotenpunkten so auf, „als ‚wüßte der Strom nicht, was anschließend im Stromkreis passiert““. Die sequentielle Vorstellung beschreibt Rhöneck (2011, S. 168) mit der Auffassung, dass sich „[...] eine Änderung ‚vorne‘ im Stromkreis sich auf die Elemente ‚hinten‘ im Stromkreis auswirkt, während eine Änderung ‚hinten‘ im Stromkreis sich nicht ‚vorne‘ bemerkbar machen sollte, weil da ‚der Strom schon vorbei ist““ (Rhöneck, 2011, S. 168).

Hinsichtlich der Photovoltaik finden sich die meisten Schülervorstellungen im Hinblick auf die Funktionsweise von Solarzellen sowie in Bezug auf mögliche Vor- und Nachteile von Photovoltaik-Anlagen (vgl. Van Bien, 2007, S. 17-20). Van Bien (2007, S. 17) zeigt auf Basis einer schriftlichen

Befragung mit 91 Schüler_innen im Alter zwischen zwölf und fünfzehn Jahren auf, dass Lernende der Sekundarstufe I unter Umständen bereits eine gewisse Vorerfahrung mit der Photovoltaik zugeschrieben werden kann, die aus einer Reihe unterschiedlicher Alltagsquellen wie „Kinderbücher, Werbeprospekte, Zeitungen, Zeitschriften, Fernsehsendungen, Gespräche mit den Eltern, und mit anderen Erwachsenen“ stammt. Er betont jedoch, dass dieses Vorwissen der Schüler_innen hauptsächlich auf „phänomenologischen Erkenntnissen“ basiert und daher kaum konkrete Vorstellungen zum Aufbau und zur Funktionsweise einer Solarzelle sowie zu den Vorzügen und Problembereichen von Solaranlagen vorhanden sind (Van Bien, 2007, S. 20).

Im Zuge von Van Biens (2007, S. 17) Untersuchung wurde zunächst eine stark vereinfachte Ansicht von der Funktionsweise einer Solarzelle identifiziert, wonach rund ein Drittel der befragten Schüler_innen diese folgendermaßen beschrieb: „Wenn die Sonne auf die Solarzelle scheint, entwickelt sich Energie (Strom) in der Solarzelle. Damit hat man Strom fürs Haus“. Dabei werden die für den Umwandlungsprozess notwendigen Prozesse ignoriert und angenommen, der Strom entstünde ‚magisch‘ in der Zelle. Eine etwas ausgereifere Schülervorstellung ist nach Van Bien (2007, S. 17-18), „dass sich Lichtstrahlen mit Hilfe der Solarzellen direkt in elektrischen Strom verwandeln“, wobei einige Lernende die Auffassung vertraten, in der Solarzelle käme es zu einer „Weiterleitung von Sonnenstrahlen in das elektrische Kabel bzw. in eine Batterie“. Die Modellvorstellung der Lichtstrahlen wird also in die Wirklichkeit übergeführt, während die Teilchennatur des Lichts nicht berücksichtigt wird (vgl. Van Bien, 2007, S. 17-18). Eine weitere Lernschwierigkeit im Hinblick auf die Funktion einer Solarzelle liegt in der mangelnden Differenzierung zwischen Solarzellen und Sonnenkollektoren, deren Arbeitsprinzip oftmals durcheinandergebracht werden. Dabei werden Solarzellen als ein Apparat verstanden, der „entweder Wasser erwärmen oder elektrischen Strom bzw. beides bereitstellen kann“ (Van Bien, 2007, S. 17). Van Bien (2007, S. 18-19) nennt beispielhaft verschiedene Aussagen von Lernenden, wonach eine Solarzelle als Wärmespeicher fungiert und Wärme anschließend in elektrische Energie umwandelt, oder eine Flüssigkeit mit Hilfe der Sonneneinstrahlung erwärmt, die anschließend „Wärme und Strom [erzeugt]“. Der Autor erwähnt überdies einige Präkonzepte zur Funktionsweise von Solarzellen, die bei Schüler_innen in der Primarstufe vorkommen und bezieht sich dabei auf die Studie von Meyer (2014, zitiert nach Van Bien, 2007, S. 14). Aufgrund der Tatsache, dass die Photovoltaik nicht in allen Schulen bereits in der Sekundarstufe I thematisiert wird, können diese Vorstellungen auch bei Schüler_innen der Unterstufe auftreten (vgl. Van Bien, 2007, S. 15-16). Darunter befindet sich beispielsweise die „Kabel-Vorstellung“, wonach sich Kabel in der Solarzelle befinden, die das Sonnenlicht in Strom umwandeln, da die Schüler_innen den Stromfluss mit dem Vorhandensein von Stromkabeln verbinden (Van Bien, 2007, S. 15). Weitere Präkonzepte, die in der Primarstufe identifiziert wurden, aber ebenfalls in der Sekundarstufe I vorkommen können, sind die Vorstellung, dass eine Solarzelle mittels Computerchips Sonnenlicht in elektrische Energie umwandelt, sowie die Auffassung, dass eine Solarzelle aus lauter „runden Zellen“ aufgebaut ist, was den Ursprung der Bezeichnung ‚Solarzelle‘ darstelle (Van Bien, 2007, S. 15-16).

Weitere Lernendenvorstellungen sind mit den Faktoren verknüpft, die den Betrieb von Solarzellen beeinflussen können. Ein zentrales Beispiel dafür ist die Auffassung, dass eine Solarzelle nur dann elektrische Energie liefern kann, wenn das Sonnenlicht direkt auf die Solarzelle fällt, das heißt, dass der diffuse Anteil des Lichts nicht für den Energieumwandlungsprozess genutzt werden kann (vgl. Van Bien, 2007, S. 17). Als weitere Faktoren, die den Umwandlungsprozess beeinflussen können, wurden in der Studie von Van Bien (2007) Sonnenstand und Temperatur genannt, wobei hier keine klaren Vorstellungen der Lernenden identifiziert werden konnten (vgl. Van Bien, 2007, S. 17). Es kann nur vermutet werden, dass bei umfangreicherem Vorwissen möglicherweise die Auffassung besteht, eine Südausrichtung der Module sei unter allen Umständen ideal für den optimalen Betrieb der Zelle. Geht man von den bereits erwähnten Vermischungen von Solarzelle und -Kollektor aus, dann müsste auf Basis dieser Vorstellung folgen, dass die Solarzelle bei höherer Temperatur auch mehr Strom liefert.

3.3.4. Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften

Abgesehen von den inhaltlichen Präkonzepten zur Photovoltaik wurden in der Entwicklung der Lernumgebung auch Schülervorstellungen zur NdN berücksichtigt. Ertl (2010, S. 5) bemerkt dazu:

„Dabei sind die Vorstellungen und das Wissen über die Prozesse, wie physikalisches Wissen und Erkenntnis produziert wird, wie es gerechtfertigt wird und wer die Person des Physikers überhaupt ist, in welchem Umfeld er arbeitet und welche Motivationen er zu dieser Arbeit hat, oft höchst unklar. Sie werden meist unreflektiert und in stereotyper Weise aus unterschiedlichen Quellen übernommen oder ad hoc konstruiert“.

Höttecke (2001, S. 7) verweist ebenfalls auf diese Defizite im Bereich des NdN-Lernens und plädiert für eine erhöhte Aufklärung über die Realität naturwissenschaftlicher Arbeits- und Forschungsprozesse im Unterricht. Er macht dabei vier zentrale Kernbereiche aus, die unterschiedliche „Mythen über die Natur der Naturwissenschaft“ (Ertl, 2010, S. 6) beinhalten.

In den Vorstellungen der Lernenden herrscht zunächst ein tendenziell stereotypes Bild von Naturwissenschaftler_innen als Personen vor. Es handelt sich dabei typischerweise um einen bärtigen Mann mit Laborkittel, der alleine in einem Labor experimentiert, welches seine „zentrale Wirkungsstätte“ bildet (vgl. Höttecke, 2001, S. 8, 11). Die Bedeutung „soziale[r] Bezüge innerhalb der scientific community“ (Höttecke, 2001, S. 9) im wissenschaftlichen Alltag wird dabei nicht wahrgenommen. Die Rolle des Naturwissenschaftlers sehen die Lernenden als die eines „neutralen Datenerfasser[s]“ (Höttecke, 2001, S. 9), der sich an „feststehende Verfahren“ hält und keinen Raum für kreative Aspekte zulässt (Ertl, 2010, S. 5). Damit verbunden ist auch die Auffassung einer hohen Objektivität des Wissenschaftlers (vgl. Ertl, 2010, S. 6) sowie eine über diese Unvoreingenommenheit hinausgehende Ehrenhaftigkeit der Person (vgl. Höttecke, 2001, S. 12). Nach Höttecke (2001, S. 10) dominiert darüber hinaus die Vorstellung, Wissenschaftler_innen würden aus einem „individuellen und ehrenhaften Erkenntnisinteresse“ heraus handeln, da sie eine „Bestimmung, Wissenschaft zu treiben“

empfinden. Andere mögliche Motivationen für die Ausübung eines Wissenschaftsberufs wie finanzielle Sicherheit und Anerkennung werden von Lernenden dabei kaum genannt (vgl. Höttecke, 2001, S. 10). Dabei wird die Naturwissenschaft als ein Instrument verstanden, das für die Erfüllung sozialer Bedürfnisse wie der Weltverbesserung dient und in weiterer Folge oft mit dem Bereich der Technik verbunden (Höttecke, 2001, S. 11). Höttecke (2001, S. 11) zeigt auf, dass dies dazu beiträgt, dass der „Mythos [...], Technik sei vorwiegend Folgeprodukt und Anwendungsbereich der Naturwissenschaften“ verstärkt wird.

Einen weiteren Kernbereich bilden unterschiedliche Präkonzepte zum „epistemologischen Status des Wissens in den Naturwissenschaften“ (Höttecke, 2001, S. 13). Nach Ertl (2010, S. 6) ist naturwissenschaftliches Wissen, das beispielsweise in Form von Naturgesetzen formuliert wird, aus Sicht der Lernenden „absolut und unumstößlich“. Auch Duit (2009, S. 609) betont, dass Schüler_innen diesbezüglich oftmals „naive Realisten“ darstellen: „Sie scheinen jedenfalls davon auszugehen, dass die Physik die Wirklichkeit ‚eins-zu-eins‘ getreu abbildet“. Dadurch entsteht nach Ertl (2010, S. 6) auch der Eindruck, dass jedes naturwissenschaftliche Modell auch der Realität entspricht und somit mit Hilfe der Naturwissenschaften theoretisch unbegrenztes Wissen generiert werden kann. Dabei berücksichtige die Schüler_innen nicht den „historischen, vorläufigen und möglicherweise auch artefaktischen Charakter jeglicher Naturbeschreibung“ (Höttecke, 2001, S. 13)

Weitere Schülervorstellungen existieren nach Höttecke (2001, S. 18) im Bereich der „naturwissenschaftlichen Wissensproduktion und ihren Bedingungen“. Hier ist die Vorstellung vorherrschend, es gäbe „eine generelle und universelle naturwissenschaftliche Methode“ (Ertl, 2010, S. 6). Schüler_innen verstehen dabei den Forschungsprozess als Schritt-für-Schritt-Prozess, der immer nach demselben Muster abläuft, wobei von einer Fragestellung aus eine Hypothese aufgestellt wird, Datensammlungen durchgeführt werden, die anschließend Folgerungen im Hinblick auf die Forschungsfrage zulassen (vgl. Höttecke, 2001, S. 20). Laut Ertl (2010, S. 6) assoziieren Schüler_innen den Begriff der Hypothese dabei hauptsächlich mit „einem gut begründeten Raten“, wobei die Hypothesen in weiterer Folge die Form von Theorien annehmen und anschließend zu Gesetzen werden. Finden sich neue Ergebnisse, die den feststehenden Theorien und Gesetzen widersprechen, so wird nach der Vorstellung vieler Schüler_innen eine konfliktlose Integration des neuen Wissens in den bestehenden Korpus vorgenommen, wobei mögliche Konflikte in der Konsensfindung durch die Wissenschaftsgemeinschaft nicht bewusst sind (vgl. Ertl, 2010, S. 6).

Der letzte Aspekt besitzt für die entwickelten Unterrichtsmaterialien die größte Relevanz im Hinblick auf die zu berücksichtigenden Lernendenvorstellungen im Bereich der NdN, nämlich die Präkonzepte zum naturwissenschaftlichen Experimentieren. Die bereits erwähnte Vorstellung des Experimentallabors als zentraler Arbeitsplatz des Wissenschaftlers wurzelt in der grundlegenden Auffassung, dass Experimente den Ausgangspunkt jeglicher naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung darstellen (vgl. Ertl, 2010, S. 6). Diese „empiristische Grundhaltung“ (Höttecke,

2001, S. 17) stellt eine Fehlinterpretation der Rolle empirischen Wissens in der Naturwissenschaft dar. Die Schüler_innen glauben dabei, „die Grundlagen der Physik bestünden im Feststellen des faktischen Tatbestands empirischer Daten und im Erkennen der Wirklichkeit“ (Höttecke, 2001, S. 17). Experimentieren wird dabei mit „bloße[r] empirische[r] Beobachtung“ (Ertl, 2013, S. 17) gleichgesetzt. Höttecke (2001, S. 17) zeigt darüber hinaus auf, dass vielen Lernenden grundsätzlich das Wissen um die Theoriegeladenheit von Forschungsprozessen fehlt, wonach die Rolle, die „Denk- und Handlungszwäng[e], wie sie durch Denkstile [...] bzw. Paradigmen [...] und Experimentierstile [...] festgelegt werden“, im Experimentierprozess spielen, nicht erkannt wird. Es wird davon ausgegangen, dass es beim Experimentieren keinen „explorativen und konstruierenden“ (Höttecke, 2001, S. 18) Tätigkeiten bedarf, sondern mit Hilfe eines richtig durchgeführten Experiments automatisch die objektive Realität erkannt werden kann. Nichtsdestotrotz wird der Experimentierprozess nicht unbedingt als „zielgerichtetes Handeln“ verstanden; viele Schüler_innen sind stattdessen der Meinung, Experimente würden dazu dienen, „etwas herauszufinden, etwas auszuprobieren und Entdeckungen zu machen“ (Höttecke, 2001, S. 17). Diese Auffassung des „planlose[n] Ausprobieren[s] und Entdecken[s]“ ist nach Höttecke (2001, S. 20-21) typisch für jüngere Schüler_innen, während der Experimentierprozess mit zunehmendem Alter auf das Sammeln von Messdaten reduziert wird. Er merkt auch an, dass solche Vorstellungen mitunter durch die Experimentierkultur im typischen Naturwissenschaftsunterricht beeinflusst werden (Höttecke 2001, S. 16). Im Gegensatz zum Schulexperiment, in dem die Vertrautheit mit dem Hintergrund eines Experiments dazu führen kann, dass Schüler_innen im Verlauf des Experiments bewusst Variablen beeinflussen, die wiederum das Resultat verändern können (vgl. NSDL & AAAS, 2017), gehen die Schüler_innen jedoch beim realen Forschungsexperiment von einem „neutralen, objektiven und vorurteilsfreien Messen“ (Höttecke, 2001, S. 17) aus, wobei die so erhaltenen Messdaten dann folglich auch in „sicherem Wissen“ und „absolute[n] Beweise[n]“ (Ertl, 2010, S. 6) resultieren. Die Ergebnisse werden bei diesem objektiven Experimentierprozess außerdem immer im Hinblick auf ihre Validität getestet, Ungenauigkeiten und menschliches Versagen wird nicht thematisiert (vgl. Ertl, 2010, S. 6). Höttecke (2001, S. 18) identifiziert darüber hinaus zum Messprozess selbst ein Spektrum an Präkonzepten, die von der Auffassung, dass einzelne Messwerte valide Aussagen bergen, über die Vorstellung, „nur eine Vielzahl von Messwerten sei aussagekräftig“ bis zur Überzeugung reichen, mehrmals durchgeführte Messungen führen zum richtigen Ergebnis. Erstere Vorstellung führt unter anderem dazu, dass Schüler_innen aufgrund unzureichend umfangreicher Messreihen argumentieren (NSDL & AAAS, 2017). Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Identifikation sowie in der Variation von ausschlaggebenden Variablen im Experiment, da Schüler_innen oftmals die Zusammenhänge zwischen den einzelnen im Experiment relevanten Variablen nicht erkennen (vgl. NSDL & AAAS, 2017).

3.4. Didaktische Strukturierung der Experimentierphase

Auf Basis der fachlichen Klärung und der Erhebung relevanter Schülervorstellungen kann die didaktische Strukturierung einer entsprechenden Unterrichtssequenz erfolgen. Für die zu erprobenden Unterrichtsmaterialien wurden zunächst die in Kapitel 3.2.2. beschriebenen elementaren Grundideen ausgewählt, ebenso wie die korrespondierenden Präkonzepte aus Kapitel 3.3.3. und 3.3.4. Der weitere Strukturierungsprozess soll im Rahmen dieses Kapitels nun kurz erläutert werden. Dazu gehört die Festlegung von Lernzielen, welche die Schüler_innen mit der Durchführung der Unterrichtssequenz erreichen sollen, wobei ein Bezug zum BIFIE-Kompetenzmodell für Naturwissenschaften hergestellt wird. Einen weiteren Eckpunkt der didaktischen Strukturierung bildet die Klärung der Relevanz der Lernumgebung im Hinblick auf den geltenden Physik-Lehrplan für die AHS Unterstufe, ebenso wie die Beschreibung der Bedeutung des Themengebiets Photovoltaik für die Alltagswelt der Lernenden.

3.4.1. Bezug zum NAWI-Kompetenzmodell und Lernziele

Die Lernziele für die Unterrichtssequenz wurden mit Hilfe des Kompetenzmodells für Naturwissenschaften für die achte Schulstufe festgelegt, welches vom Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des Bildungswesens (BIFIE) entworfen wurde (vgl. BIFIE, 2011). Dabei wurden die unterschiedlichen Handlungsdimensionen des Kompetenzmodells berücksichtigt, indem die jeweiligen Zielformulierungen unter Verwendung der entsprechenden Kompetenzverben erfolgten.

Zunächst ergeben sich für die entwickelte Unterrichtssequenz mehrere Lernziele im Bereich „*Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren*“ (Hervorh. im Original) (BIFIE, 2011, S. 2). Das erste Lernziel beinhaltet die W3-Kompetenz „[...] in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren“ (BIFIE, 2011, S. 2), da die Schüler_innen die Funktionsweise einer Solarzelle und den Ablauf der Umwandlung von Licht in elektrische Energie nach im Zuge ersten Einheit aufgrund ihrer Arbeit mit dem entsprechenden Informations- und Arbeitsblatt grafisch darstellen und erläutern sollten. Die W4-Kompetenz „die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben“ (BIFIE, 2011, S. 2) spielt im Rahmen der Abschlussreflexion eine Rolle, im Zuge derer die Lernenden Unterschiede und Parallelen zwischen ihrem eigenen Arbeitsprozess und naturwissenschaftlicher Forschung erfassen und beschreiben sollten.

Im Zuge der Planung, Durchführung und Nachbesprechung der Experimente werden alle Dimensionen der Handlungskompetenz „*Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren*“ (BIFIE, 2011, S. 2) angesprochen. Zunächst sollen die Schüler_innen die Kompetenz E3 „zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren“ (BIFIE, 2011, S. 2) erlangen oder erweitern, wobei sich dieser Vorgang auf die Faktoren, welche die maximale elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen beeinflussen können, bezieht. Darüber hinaus sollen die Schüler_innen

innerhalb ihrer Messplanung Überlegungen zu geeigneten Messgeräten sowie Vermutungen über wichtige Aspekte, die beim Messvorgang beachtet werden müssen, anstellen, was der Kompetenz E2 „Fragen stellen und Vermutungen aufstellen“ (BIFIE, 2011, S. 2) entspricht. Im Hinblick auf die Dimension E1 sollen die Schüler_innen „Messungen durchführen und diese beschreiben“ (BIFIE, 2011, S. 2) und in diesem Prozess von typischen naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden Gebrauch machen. Die Kompetenz E4 wird ebenfalls im Zuge des Experimentierens weiterentwickelt, indem die Schüler_innen die erhaltenen „Daten und Ergebnisse [...] analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren“ (BIFIE, 2011, S. 2).

Im Hinblick auf die Handlungskompetenz „*Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln*“ ergibt sich ein weiteres Lernziel für die zu erprobenden Unterrichtsmaterialien, welches in der bisherigen Version des Leitfadens für Lehrkräfte noch zu ergänzen ist, nämlich die Fähigkeit der Lernenden, im Zuge der Abschlussreflexion mittels des Concept Cartoons „fachlich korrekt und folgerichtig [zu] argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen [zu] unterscheiden“ (BIFIE, 2011, S. 2).

Abgesehen davon erfüllt die auszutestende Experimentiersequenz mehrere inhaltliche Ansprüche des Kompetenzmodells, die an dieser Stelle kurz erwähnt werden sollen. Zunächst tragen die Materialien dazu bei, „Erklärungen für elektrische Erscheinungen in Natur und Technik“ (BIFIE, 2011, S. 5) zu liefern, indem die Schüler_innen mit dem Funktionsprinzip einer Solarzelle vertraut gemacht werden, welches hinter der Umwandlung von Licht in elektrische Energie steckt. Weiters spielt auch das Themengebiet „Energieformen und deren Umwandlung“ (BIFIE, 2011, S. 5) eine Rolle, da im Zuge der Unterrichtssequenz die Umwandlung von Licht in elektrische Energie thematisiert wird. Außerhalb der zu erprobenden Experimentierphase wird darüber hinaus in der Lernumgebung auch die Nutzung unterschiedlicher Arten der Energieumwandlung für die Energiespeicherung angesprochen, ebenso wie der „Weg der elektrischen Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher“ (BIFIE, 2011, S. 5) bei einer PV-Anlage, indem von der Solarzelle ausgehend die wichtigsten Bestandteile einer solchen Anlage vorgestellt und die Möglichkeiten der Verwendung der somit erhaltenen elektrischen Energie für die kommerzielle Energieversorgung besprochen werden.

3.4.2. Bezug zum Physik-Lehrplan der AHS Unterstufe

Im Hinblick auf den Lehrstoff der vierten Klasse, welcher im Physik-Lehrplan der AHS Unterstufe festgelegt ist, lässt sich die entwickelte Lernumgebung dem Kernbereich „Elektrizität bestimmt unser Leben“ zuordnen (BMBWF, 2000, S. 4). Innerhalb dieses Themenbereichs sollen die Lernenden „[a]usgehend von Alltagserfahrungen [...] ein immer tiefergehendes Verständnis von technischer Erzeugung und Konsum von Elektroenergie gewinnen“ (BMBWF, 2000, S. 4). In diesem Sinne knüpfen die Unterrichtsmaterialien zunächst an die Vorstellungen und Erfahrungen der Lernenden zur Solarenergie in ihrem Alltag an und bieten anschließend eine Einführung in die Möglichkeit, mittels Photovoltaik Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln und diese in weiterer Folge für die

elektrische Energieversorgung nutzbar zu machen. Somit tragen die Materialien dazu bei, ein „grundlegendes Wissen über Herstellung, Transport und ‚Verbrauch‘ elektrischer Energie“ (BMBWF, 2000, S. 4) zu vermitteln und bieten darüber hinaus „Einsichten in Funktionsprinzipien technischer Geräte aus dem Interessensbereich der Schülerinnen und Schüler“ (BMBWF, 2000, S. 4), indem den Lernenden der Aufbau und die Funktionsweise einer Solarzelle nähergebracht wird – einem Gerät, dem sie im Alltag beispielsweise häufig als Bestandteil des Taschenrechners begegnen.

Weiters trägt die entwickelte Lernumgebung in mehrerlei Hinsicht zur „Bildungs- und Lehraufgabe“ (BMBWF, 2000, S. 1) des Physikunterrichts bei. Zunächst beschäftigen sich die Lernenden in der Experimentierphase mit „typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik“ (BMBWF, 2000, S. 1), die nicht nur theoretisch aufgearbeitet werden, sondern auch praktisch während des Planungs- und Experimentierprozesses zum Einsatz kommen. Im Zuge dessen wird die „[e]igenständige und handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Problemen aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler [...] ausgehend von Schülerexperimenten“ (BMBWF, 2000, S. 1) ermöglicht, da sie mittels eines forschend-entdeckenden Unterrichtsansatzes Untersuchungen darüber anstellen, wie sich unterschiedliche Umweltfaktoren auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle auswirken. Auch der Bildungsbereich „*Kreativität und Gestaltung*“ wird hierbei berücksichtigt, da sowohl die Planung als auch die Durchführung der Experimente ein gewisses Maß an Einfallsreichtum auf Seiten der Lernenden erfordert. Die Schüler_innen sollen sich dabei weitgehend selbstständig überlegen, wie ihre Forschungsfrage und ihre Hypothese lauten könnte, welche Materialien sie für ihren Versuch benötigen, wie das Experimentiersetting aussehen könnte und was ihre Messdaten im Hinblick auf ihre Forschungsfrage aussagen. Außerhalb der Experimentiersequenz trägt die Lernumgebung überdies zur Vermittlung der „Vielschichtigkeit des Umweltbegriffs“ bei, indem die Schüler_innen „Einsicht gewinnen in die Bedeutung technischer Entwicklungen für Gesellschaft und Umwelt“ (BMBWF, 2000, S. 1). Besonders die Aktivitäten zum Thema Nachhaltigkeit und den Vor- und Nachteilen der Photovoltaik ermöglichen dabei auch einen Beitrag zum Bildungsbereich „*Mensch und Gesellschaft*“ (BMBWF, 2000, S. 1), wobei die Rolle der Photovoltaik für die weltweite Implementierung erneuerbarer Energieressourcen diskutiert und eine kritische Betrachtung ihrer Entwicklungspotentiale speziell im Hinblick auf die Möglichkeiten der Energiespeicherung inkludiert wird.

3.4.3. Bezug zur Alltagswelt der Lernenden

Das Thema Photovoltaik birgt in vielerlei Hinsicht eine nicht zu unterschätzende Relevanz im Hinblick auf die Alltagswelt der Schüler_innen. Zunächst spielen Solarzellen eine immense Rolle in der CO₂-neutralen Bereitstellung erneuerbarer Energie (vgl. Van Bien, 2007, S. 11). Nicht nur Photovoltaik-Anlagen an Hausdächern oder auf Freiflächen bilden dabei einen Berührungspunkt zur Lebenswelt der Lernenden, denn Solarzellen finden sich ebenso in alltäglichen „Kleinstanwendungen wie Armbanduhren oder Taschenrechnern“ (Quaschnig, 2013, S. 132), ebenso wie in unterschiedlichen Spielzeugen oder Gadgets wie beispielsweise Powerbanks, die mit Hilfe von Solarzellen funktionieren.

Außerdem werden Photovoltaik-Anwendungen bereits in unterschiedliche Bauelemente wie Fassaden und Sonnenschutzflächen integriert, weshalb die typische blau-silberne Optik der Solarzellen oder Solarmodule unter Umständen einigen Schüler_innen bereits bekannt ist (vgl. Felder et al., 1995, S. 45). Darüber hinaus findet die Photovoltaik-Technologie auch in anderen Bereichen Verwendung:

„Abseits der Energieversorgung mittels Photovoltaik nutzen wir Photovoltaik-Zellen z.B. auch millionenfach in Digitalkameras. Selfies und Youtube wären ohne deren Existenz schwer vorstellbar. Sensoren im Gesundheitswesen basieren sehr häufig auf Photovoltaischen Elementen. In der Biologie nutzt die Photosynthese Photonen auf gleiche Art und Weise wie eine Solarzelle um chemische Energie zu speichern“ (Schlosser, 2017, S. 8).

Diese unterschiedlichen Einsatzgebiete der Photovoltaik und ihres Funktionsprinzips zeigen, auf wie viele Arten die Solarzellentechnologie – auch unbewusst – Einzug in den Alltag der Lernenden findet. Aber nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für die Zukunft birgt die Photovoltaik ein großes Potential (vgl. Van Bien, 2007, S. 11). Dies gilt besonders im Hinblick die Realisierung einer „Energiewende“ mittels „klimaverträgliche[r] Energieversorgung“ (Quaschnig, 2013, S. 92) sowie die Reduzierung des weltweiten Temperaturanstiegs und der Emission von Treibhausgasen, wie es beispielsweise das Pariser Klimaabkommen anstrebt (vgl. Quaschnig, 2016). Als erneuerbare Energieressource kann die Photovoltaik gleichzeitig dazu beitragen, die Abhängigkeit von begrenzten Rohstoffen wie Uran, Erdöl oder Erdgas zu verringern. Überdies werden laufend neue Materialien in der Solarzellentechnik eingesetzt, um die Wirkungsgrade der Zellen zu erhöhen, und Möglichkeiten ausgetestet, wie verschiedene Solarzellentypen zu sogenannten Tandems kombiniert werden können, um ihre Effizienz weiter zu erhöhen (vgl. Kranz et al., 2015).

4. Eingesetzte Methodenwerkzeuge

Die didaktische Gestaltung der vorliegenden Lernumgebung beinhaltet den Einsatz unterschiedlicher Methodenwerkzeuge. Dabei handelt es sich nach Leisen und Hopf (2011, S. 93) um „lehrergesteuerte oder schüleraktive Verfahren, Materialien, Hilfsmittel zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen“. Methodenwerkzeuge bieten ein breites Anwendungsspektrum im Unterricht und können in vielzähligen Kontexten genutzt werden, wobei die Auswahl der jeweiligen Werkzeuge weniger nach methodischen, sondern vor allem nach didaktischen Gesichtspunkten erfolgt (vgl. Leisen & Hopf, 2011, S. 93). Somit wird der Einsatz jedes Methodenwerkzeugs durch die Anforderungen der jeweiligen Unterrichtssituation bestimmt, abhängig davon, welchem Zweck die jeweilige Aktivität dienen soll und ob es sich dabei beispielsweise konkret um „eine Situation des Übens, Ordners, Strukturierens, Problemfindens oder Präsentierens“ (Leisen & Hopf, 2011, S. 93) handelt.

4.1. Think-Pair-Share

Nach der Think-Pair-Share-Methode bearbeiten die Schüler_innen eine Frage- oder Problemstellung zunächst individuell, besprechen sie dann zu zweit und teilen ihre Ergebnisse anschließend im Plenum (vgl. Bamiro, 2015, S. 2). Mittels der ‚Think‘-Phase wird den Lernenden eine kurze Bedenkzeit ermöglicht, in der sie den jeweiligen Sachverhalt einzeln angehen, indem sie ihr bereits bestehendes Wissen konsultieren und erste Einfälle festhalten (vgl. Bönsch, 2002, S. 80). In der ‚Pair‘-Phase werden diese ersten Impulse anschließend gemeinsam diskutiert und weiter ausgebaut, was dazu führt, dass die Schüler_innenpaare in dieser Phase ausführliche Antworten und Lösungsansätze entwickeln können: „It allows all children to develop answers, longer and more elaborate answers can be given, and answers will have reasons and justifications because they have been thought about and discussed“ (Bamiro, 2015, S. 2). Diese Form des Austauschs wirkt sich nach Bamiro (2015, S. 2) positiv auf die Bereitschaft der Schüler_innen aus, ihre Meinungen, Ideen oder Lösungsansätze im Zuge der ‚Share‘-Phase im Plenum zu präsentieren: „Students are more willing to take risks and suggest ideas because they have already ‚tested‘ them with their partner“. Die Einzel- und Kleingruppenarbeit schaffen somit einen Raum zum Denken und Ausprobieren und vermitteln den Lernenden dadurch ein gewisses Gefühl der Sicherheit. Bönsch (2002, S. 81) teilt diesen Eindruck, indem er anmerkt, dass sich Schüler_innen bei der Arbeit in Kleingruppen tendenziell aktiver beteiligen und mehr zu Wort kommen als direkt im Klassenverband. Sowohl Bamiro (2015, S. 2) als auch Bönsch (2002, S. 83) sehen die Think-Pair-Share-Methode als vorteilhaft gegenüber traditionellen Unterrichtssituationen an, in denen Fragen direkt im gesamten Klassenverband gestellt und beantwortet oder diskutiert werden, denn sie fördert nicht nur die kognitive Aktivierung und den inhaltlichen Wissenserwerb der Lernenden, sondern unterstützt auch die Entwicklung sozialer und kooperativer Fähigkeiten.

4.2. Gestufte Lernhilfen

Wodzinski (2013, S. 45) definiert Aufgabenstellungen mit gestuften Lernhilfen als „komplexe naturwissenschaftliche Aufgaben, deren Bearbeitung über einen Satz von schriftlich formulierten Hilfen unterstützt wird“. Gestufte Lernhilfen dienen nach Leisen & Hopf (2011, S. 93) der „selbstständigen Erschließung von Fachinhalten und -begriffen“ und können Schüler_innen somit als Unterstützung sowohl für die Erarbeitung neuer als auch für die Vertiefung bereits bekannter Inhalte zur Verfügung gestellt werden. Dabei wird eine innere Differenzierung ermöglicht, indem komplexe Aufgaben sowohl von leistungsstarken als auch von leistungsschwächeren Schüler_innen bearbeitet werden können (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 2), wobei sich sowohl anspruchsvolle theoretische Problemstellungen als auch schwierige Experimente eignen (vgl. Sträudel & Wodzinski, 2010, S. 242). Für die jeweiligen Aufgabenstellungen empfehlen Sträudel und Wodzinski (2010, S. 240) „ein insgesamt überschaubares Problem“, das von den Lernenden nur gelöst werden kann, indem eine „Verknüpfung unterschiedlicher Wissens Elemente“ erfolgt. Darüber hinaus sollte die Aufgabe „komplex[e], aber eher geschlossen[e]“ (Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 4) Fragestellungen beinhalten, die klare Lösungserwartungen mit sich bringen und vor dem Wissens- und Erfahrungshintergrund der Zielgruppe auch lösbar sind (vgl. Sträudel & Wodzinski, 2010, S. 240).

Die Autoren unterscheiden zwischen „inhaltliche[n] und lernstrategische[n] Hilfen“, wobei erstere der Aktivierung von Vorwissen dienen, während letztere als Strukturierungshilfen zur Problemlösung dienen (Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 3). Sie betonen jedoch, dass in den meisten Fällen eine Kombination der beiden Alternativen sinnvoll ist, um sicherzustellen, dass unterschiedlich leistungsstarke Schüler_innen sowohl inhaltliche als auch organisatorische Unterstützung in Anspruch nehmen können (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 3). Beide Arten von Hilfestellungen können nach Sträudel und Wodzinski (2010, S. 242) entweder in Form einer „Impulsfrage“ oder als „direkter Input“ in Form eines Textes realisiert werden, wobei sich diese idealerweise in zusammengehörenden Hilfe- und Antwortkarten abwechseln. Das verleiht den Lernhilfen eine gewisse Gliederung und simuliert ein von der Lehrperson gelenktes Unterrichtsgespräch mit dem/der jeweiligen Schüler_in (vgl. Sträudel & Wodzinski, 2010, S. 242).

Wird eine solche komplexe Aufgabe von einer Gruppe Lernender bearbeitet, so sind sehr gute Schüler_innen unter Umständen direkt dazu imstande, die Aufgabe auch ohne Hilfestellungen zu lösen, während schwächere hingegen abgestufte Hilfen nützen können, um ihr bereits vorhandenes Wissen zu diesem Thema abzurufen und schrittweise immer detailliertere Hinweise zur Problemlösung zu erhalten (vgl. Sträudel und Wodzinski, 2010, S. 240). Dabei ist es den Schüler_innen selbst überlassen, wann sie welche Hilfestellung nutzen möchten, und damit können sie den Grad an Aufgabenkomplexität weitgehend selbst bestimmen (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 2; Leisen & Hopf, 2011, S. 95). Dabei reichen die einzelnen Hilfestellungen von der Aufforderung zur selbstständigen Formulierung der Fragestellung über konkretere Hinweise mit Teillösungen bis hin zu einer

Komplettlösung der Problemstellung, wobei dieser Aufbau „typische Schritte im Problemlöseprozess“ (Wodzinski, 2013, S. 45) reflektiert (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 2). Durch diesen gestuften Aufbau soll verhindert werden, dass besonders Lernschwächere ein Gefühl der Frustration durch mögliche „Misserfolgslebnisse“ in bestimmten Schritten des Problemlösungsprozesses erfahren (Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2010, S. 250). Außerdem ermöglichen Lernhilfen eine „Verlagerung der aktiven Unterrichtsarbeit in die Schülergruppe“, wodurch die Lehrperson mehr Zeit in die Unterstützung, Beobachtung und formative Evaluation der entstehenden Lernprozesse investieren kann, während auf Seiten der Lernenden selbstständiges Arbeiten auf allen gefördert wird (Leisen & Hopf, 2011, S. 96).

4.3. Aushandeln

Beim Aushandeln wird „[...] ausgehend von Einzelarbeit über Partnerarbeit zur Gruppenarbeit in immer größeren Gruppen [...] ein Konsens zu einem diffizilen Sachverhalt erarbeitet“ (Leisen & Hopf, 2011, S. 95). Ebenso wie der Einsatz von gestuften Lernhilfen dient dieses Methodenwerkzeug der Förderung von „Schüler-Schüler-Fachkommunikation“ (Leisen & Hopf, 2011, S. 94) im Rahmen der selbstständigen Aufgabenbearbeitung. Das Aushandeln einer allgemeinen Übereinstimmung, eines Lösungsansatzes oder einer Erklärung für ein Phänomen im Klassenverband fördert die Sprachentwicklung der beteiligten Schüler_innen und führt tendenziell zu einem „kontinuierliche[n], sukzessive[n] Anstieg der bildungssprachlichen Anteile“ (Pineker-Fischer, 2017, S. 94) im Lernendengespräch. Während der Arbeit in (Klein-)Gruppen nimmt die Lehrkraft eine beobachtende Haltung ein und interveniert nicht in den Diskussionsprozess, wodurch sich ein gewisses Maß an Unvorhersehbarkeit und Ergebnisoffenheit des Aushandlungsprozesses ergibt (vgl. Leisen, 2001, S. 410). Im Zuge der Plenarphase besteht die Rolle der Lehrperson in jener des „Moderators“ (Pineker-Fischer, 2017, S. 334) beziehungsweise der Moderatorin, dessen/deren Aufgabe es ist, die Klassendiskussion zu leiten und sicherzugehen, dass alle Schüler_innen zu Wort kommen und unterschiedliche Sichtweisen gleichermaßen artikuliert werden (vgl. Leisen, 2001, S. 410).

4.4. Concept Cartoons

Bei Concept Cartoons handelt es sich um Illustrationen, die mehrere Personen zeigen, die in eine Diskussion über einen naturwissenschaftlichen Sachverhalt verwickelt sind (vgl. Lembens, 2010, S. 1). Die Problemstellung ist dabei in einen Kontext eingebettet, welcher der Lebenswelt der Schüler_innen nahe ist, um einen Alltagsbezug herzustellen und damit sowohl Interesse und Motivation zu wecken als auch das Vorwissen der Schüler_innen zu aktivieren (vgl. Keogh et al., 1998, S. 219-220). In Form von kurzen Texten, die sich üblicherweise in Sprechblasen befinden, werden unterschiedliche Meinungen, Lösungs- oder Erklärungsansätze der einzelnen Personen zur jeweiligen Problemstellung dargestellt,

wobei diese nicht unbedingt physikalischen Konzepten entsprechen, sondern auch typische Lernendenvorstellungen reflektieren können (vgl. Lembens, 2010, S. 1; Taşlıdere, 2013, S. 146).

Im Zuge der Bearbeitung eines Concept Cartoons sollen die Lernenden die unterschiedlichen Aussagen im Hinblick auf ihre Aussagekraft und Richtigkeit bewerten, vergleichen und ihre Ansichten im Zuge einer Gruppendiskussion auf Basis naturwissenschaftlicher Argumente und Betrachtungsweisen diskutieren (vgl. Lembens, 2010, S. 1-2; Keogh et al., 1998, S. 219). Durch die Gegenüberstellung von Lernendenvorstellungen und physikalischen Konzepten kann somit ein kognitiver Konflikt geschaffen und problematische Aspekte von Alltagsvorstellungen explizit besprochen werden (vgl. Lembens, 2010, S. 1). Die bildliche Darstellung mit prägnanten Aussagen als Alternative zum reinen Textdokument spricht darüber hinaus vor allem auch zurückhaltende, leistungsschwächere und weniger interessierte Schüler_innen zur Teilnahme am Klassengespräch an (vgl. Keogh et al., 1998, S. 222). Damit im Rahmen der Concept Cartoons optimale Bedingungen für eine Gruppen- oder Klassendiskussion geschaffen werden, fordern Keogh, Naylor und Wilson (1998, S. 219-220), dass kein offensichtlicher Unterscheid zwischen physikalischen Sichtweisen und Alltagskonzepten besteht, damit die Schüler_innen theoretisch jede der Aussagen auf dem Cartoon gleichermaßen als richtig ansehen können. Darüber hinaus müssen die Texte für Schüler_innen unterschiedlicher sprachlicher Kompetenz klar verständlich und übersichtlich sein (vgl. Keogh et al., 1998, S. 220).

5. Die entwickelte Lernumgebung: „Eine sonnige Zukunft?“

Der Ursprung der entwickelten Lernumgebung liegt im Projektpraktikum *SOLARbrunn - mit der Sonne in die Zukunft: Erstellen und Erproben von Aufgaben auf Basis der Ergebnisse des Projekts SOLARbrunn*, das im Sommersemester 2017 an der physikalischen Fakultät der Universität Wien stattfand. Zunächst wird der Entwicklungsprozess beschrieben, im Zuge dessen die Gestaltung und Strukturierung der Unterrichtsmaterialien erfolgte, welche anschließend in Zusammenarbeit mit Expert_innen unterschiedlicher Fachrichtungen überarbeitet wurden. Der zweite Teil des Kapitels dient einer kompakten Beschreibung jenes Ausschnitts der Unterrichtsmaterialien, der schlussendlich für die Testung am Erich Fried Realgymnasium ausgewählt wurde. Dabei handelt es sich um die Experimentierphase der Lernumgebung sowie einzelne zusätzliche, vorbereitende Aktivitäten, die aus der dem Experimentieren vorangehenden Einheit der Lernumgebung stammen. Dabei soll auf den strukturellen Aufbau und entsprechende Themenschwerpunkte der ausgewählten Materialien eingegangen sowie eine kurze Übersicht über den Ablauf der jeweiligen Aktivitäten geboten werden. Der weitere Verlauf des Kapitels dient der Begründung der Wahl ebendieser Phase der Lernumgebung als Gegenstand der praktischen Erprobung.

5.1. Arbeit im Projektpraktikum und Weiterentwicklung der Materialien

Die Veranstaltung diente der didaktischen Aufbereitung ausgewählter Ergebnisse des gleichnamigen Sparkling Science Projekts *SOLARbrunn - Mit der Sonne in die Zukunft*, im Zuge dessen Schüler_innen der HTL Hollabrunn ein Konzept für die Umwandlung des Kindergarten Robert Löfflerstraße der Stadt Hollabrunn in ein Green Building entwickelt hatten. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen und den dabei erhobenen Daten wurden die vier Themengebiete Wohlbefinden, Luftqualität, Energieoptimierung und Solarenergie im Praktikum als Basis für Unterrichtsmaterialien für die AHS Unter- und Oberstufe sowie für die HTL aufgegriffen. Diese sollen eine Auseinandersetzung mit den Facetten eines nachhaltigen Umgangs mit (elektrischer) Energie ermöglichen.

Der dabei zugrundeliegende didaktische Rahmen besteht aus der forschend-entdeckenden Gestaltung ausgewählter Unterrichtssequenzen (vgl. Kapitel 3.1.), der Einarbeitung ausgewählter Aspekte über die Natur der Naturwissenschaften (vgl. Kapitel 3.2.), ebenso wie der Strukturierung der Unterrichtssequenz mittels des 5E-Modells (vgl. Kapitel 3.3.). Bei der methodischen Gestaltung wurde überdies auf eine ausgewogene Mischung aus Einzelarbeit, Gruppen- und Paararbeit sowie Klassengespräch geachtet. Auf Basis dieser Grundsätze entwickelten Student_innen im Projektpraktikum verschiedene Lernumgebungen, die anschließend im Zeitraum von Juli bis Oktober in einem Team aus Lehrenden und Studierenden weiterentwickelt wurden. An diesem Optimierungsprozess beteiligt waren Prof. Mag.^a Dr.ⁱⁿ Ilse Bartosch, Ass.-Prof. Dr. Viktor Schlosser, Mag.^a Roswitha Avalos Ortiz und die Verfasserin. Das Ergebnis dieses Entwicklungsablaufs sind die Lernumgebungen „*Wohlig warm oder schön kühl?*“ zum Thema Wohlbefinden und Luftqualität und „*Eine sonnige Zukunft?*“ zum Thema Photovoltaik,

wobei für jedes Thema jeweils eine Version für die AHS Oberstufe und für die AHS Unterstufe erstellt wurde (siehe <http://www.univie.ac.at/solarbrunn/>). Darüber hinaus wurde ein Lernpfad für die HTL entwickelt, anhand dessen die Schüler_innen die durchgeführten Untersuchungen im Kindergarten und deren Ergebnisse rekonstruieren können (siehe http://www.univie.ac.at/solarbrunn/lernpfad_greening_a_building.html).

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit auszutestende Lernumgebung unterlief in ebendiesem Kontext mehrere Phasen der (Weiter-)Entwicklung und Überarbeitung. Der erste Entwurf für die didaktische Aufbereitung des Themengebiets Photovoltaik wurde im Zuge des Projektpraktikums von David Pöcksteiner und der Verfasserin erstellt und mit den teilnehmenden Studierenden gemeinsam ausgetestet. Der nächste Schritt lag in der Erstellung von Arbeitsmaterialien für Schüler_innen der AHS Ober- und Unterstufe sowie in der Entwicklung eines Leitfadens für die Lehrperson, der eine Beschreibung des Ablaufs der einzelnen Aktivitäten beinhaltet und weitere unterstützende Informationen wie Lösungsvorschläge oder ergänzende Hinweise bietet. Die Unterstufenversion wurde von David Pöcksteiner erstellt, während die Verfasserin für die Oberstufenversion verantwortlich war. Beide Lernumgebungen orientierten sich in ihrem Aufbau stark an der durchgeführten Sequenz im Praktikum. Die vorläufige Version der beschriebenen Oberstufen-Lernumgebung wurde am Ende des Projektpraktikums präsentiert und auf Basis des Feedbacks in den Folgemonaten weiter überarbeitet. In diesem Zeitraum wurden die entwickelten Unterrichtsmaterialien sowohl von Frau Prof.ⁱⁿ Bartosch und Frau Mag.^a Avalos Ortiz als auch von Herrn Prof. Schlosser vor dem Hintergrund ihrer entsprechenden Expertise in den Forschungsgebieten der Fachdidaktik beziehungsweise der Materialphysik kommentiert und daraufhin mehrmals überarbeitet. Die Struktur der Oberstufen-Lernumgebung wurde für die Unterrichtsmaterialien der Sekundarstufe I übernommen, wobei die Inhalte entsprechend der altersspezifischen Anforderungen angepasst wurden. Die Unterstufen-Lernumgebung wurde schlussendlich für die Erprobung im Zuge dieser Diplomarbeit ausgewählt, da von besonderem Interesse war, inwiefern die adressierten Themenbereiche mit Hilfe der Materialien bereits in der Sekundarstufe I sinnvoll vermittelt werden können. Die Lernumgebung beinhaltet insgesamt fünf Lerneinheiten, die jeweils eine bis zweieinhalb Schulstunden umfassen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1. Struktur der entwickelten Unterstufen-Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“
(http://www.univie.ac.at/solarbrunn/pv_us.pdf)

Titel der Lerneinheit	Dauer (Schulstunden)	Inhalte
1. Elektrische Energie - unentbehrlich im Alltag	1	• Elektrische Energie und Leistung • Bildung für nachhaltige Entwicklung
2. Warum überhaupt Photovoltaik?	1	• Aufbau und Funktionsweise von Solarzellen • Bildung für nachhaltige Entwicklung
3. Der optimale Betrieb von Solarzellen	2,5	• Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle

		• Nature of Science: naturwissenschaftliches Experimentieren und Forschen • Datenbasierte Optimierung
4. Solarmodule, PV-Anlagen und Energiespeicherung	1,5	• Herstellung von Solarzellen • Bestandteile von Photovoltaik-Anlagen • Energiespeicherung
5. Planung einer PV-Anlage für die eigene Schule	1	• Bildung für nachhaltige Entwicklung • Planung und Umsetzung einer PV-Anlage • Nature of Science
Gesamte Lernumgebung	7	

Als Einstieg dient Einheit 1, die sich mit der Nutzung und der Bereitstellung elektrischer Energie sowie nachhaltiger Energieversorgung beschäftigt. Die Schüler_innen sollen dabei die Allgegenwärtigkeit und Unentbehrlichkeit der Nutzung elektrischer Energie im Alltag erkennen, um im Hinblick auf den eigenen Umgang mit Ressourcen und Energie verantwortungsbewusst handeln zu können (S2)³. Ein weiteres Lernziel der ersten Einheit besteht in der Erfassung und Beschreibung des Konzepts der Nachhaltigkeit sowie der die Bedeutung der drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales für die Nachhaltigkeit unterschiedlicher Alternativen der Energiebereitstellung (W1, W4). Im Rahmen der zweiten Einheit wird die Frage „*Warum überhaupt Photovoltaik?*“ thematisiert. Zentrale Inhalte sind hier der Aufbau und die Funktion von Solarzellen, wobei die Schüler_innen das Arbeitsprinzip einer Solarzelle und den Ablauf der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie grafisch darstellen, erläutern und adressatengerecht kommunizieren sollen (W3). Des Weiteren erarbeiten die Lernenden mögliche Stärken der Photovoltaik-Technologie im Hinblick auf das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit (vgl. Steiner, 2011, S. 55). Dadurch sollen sie die Bedeutung sowie die Chancen der Photovoltaik für sich persönlich, für die Gesellschaft und global erkennen (S2). Überdies sollen die Lernenden die Stärken der Photovoltaik beschreiben und dabei fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden (S4). Die dritte Einheit widmet sich dem optimalen Betrieb von Solarzellen und umfasst zweieinhalb Unterrichtsstunden. Dabei handelt es sich um die Experimentierphase, die im nächsten Abschnitt genauer beschrieben werden soll. Auf die Experimentierphase folgt die vierte Einheit, die eineinhalb Schulstunden umfasst und sich mit der Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen, den Bestandteilen von PV-Anlagen und den Möglichkeiten der Speicherung der erhaltenen elektrischen Energie beschäftigen. Diese unterschiedlichen Themengebiete werden dabei in Kleingruppen in Form eines Expert_innenkongresses ausgearbeitet und gemeinsam thematisiert. Die Schüler_innen sollen dabei wichtige Schritte im Herstellungsprozess von Solarzellen bis hin zum Solarmodul beschreiben (W1) und die wichtigsten Komponenten einer PV-Anlage benennen und deren Funktionsweise erläutern sowie unterschiedliche

³ Die in den Klammern angegebenen Kürzel verweisen auf die jeweilige Handlungskompetenz im NAWI-Kompetenzmodell für die achte Schulstufe, das bereits in Kapitel 3.4.1. thematisiert wurde. Eine genaue Auflistung der einzelnen Kompetenzen findet sich unter http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf.

Anlagentypen beschreiben können (W1). Eine weitere Zielsetzung dieser Einheit besteht in der Beschreibung unterschiedlicher Möglichkeiten der Energiespeicherung und der Bewertung deren Potentials für die Photovoltaik aus naturwissenschaftlicher (W1, S1). Die letzte Unterrichtsstunde im Rahmen der Lernumgebung sieht die Planung einer Photovoltaikanlage für das eigene Schulgebäude vor. Dabei geht es vor allem um die Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte im Rahmen des Planungsprozesses im Sinne eines Beitrags zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (vgl. Deutsche UNESCO-Kommission, 2015). Lernziele bilden das Aufstellen von Vermutungen über diejenigen Faktoren, die beim Bau einer PV-Anlage berücksichtigt werden müssen (E2), die Benennung essentieller Beteiligter eines Planungsteams zum Bau einer PV-Anlage und die Beschreibung der entsprechenden Aufgaben und Zuständigkeitsbereiche (W1). Darüber hinaus sollen die Schüler_innen die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen und die Rolle dieser Berufsfelder in Bezug auf die Planung und Umsetzung von Projekten nachvollziehen (S3). Außerdem sollen die Lernenden die Kompetenz erlernen oder vertiefen, im Rahmen einer Reflexion den eigenen Arbeitsprozess zu erläutern (W4).

5.2. Beschreibung der auszutestenden Experimentiersequenz

Aufgrund des Umfangs der gestalteten Unterstufen-Lernumgebung hat es sich als notwendig herausgestellt, die Erprobung mit Schüler_innen der Zielgruppe lediglich auf einen Teilbereich der entwickelten Unterrichtsmaterialien zu beschränken. Die Wahl fiel dabei auf Einheit 3 der Lernumgebung, die Experimentierphase sowie ausgewählte Aktivitäten aus Einheit 2. Eine ausführliche Begründung dieser Auswahl erfolgt im Abschnitt 5.3. Im Folgenden sollen die zu erprobenden Materialien und Aktivitäten detailliert beschrieben werden. Die Details zum Ablauf der Unterrichtssequenz finden sich im folgenden Stundenbild in Tabelle 2, welches den Zeitplan und die Aufteilung der einzelnen Aktivitäten beinhaltet.

Tabelle 2. Stundenbild für die Testung der Experimentierphase

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Einheit 1			
10 min	<i>Engage</i>	Brainstorming: Schriftliche Begriffssammlung zum Thema „Solarenergie“ an der Tafel. Fragestellungen: Woher kennt ihr Solarzellen? Wo verwendet ihr sie? Wie funktionieren Solarzellen?	Die Schüler_innen notieren, was sie mit dem Begriff „Solarenergie“ assoziieren. Die Schüler_innen teilen ihr Vorwissen und ihre Vermutungen im Plenum.
20-30 min	<i>Explore</i>	Die Lehrperson teilt das Infoblatt 1 „Elektrische Energie aus Licht“ und das Arbeitsblatt 1 „Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie“ aus.	Die Schüler_innen lesen das Infoblatt individuell und bearbeiten anschließend das Arbeitsblatt zu zweit.

15-20 min	<i>Explain</i>	Die Lehrperson erstellt ebenfalls einen Filmstreifen wie im Arbeitsblatt an der Tafel. Dieser wird im Plenum gemeinsam mit den Schüler_innen vervollständigt.	Die Schüler_innen teilen ihre Ergebnisse im Plenum. Sie korrigieren und ergänzen ihre Notizen falls notwendig.
Einheit 2			
5 min	<i>Engage</i>	Frage: Worauf muss ich achten, wenn ich mein Smartphone mit einer Solarzelle so schnell wie möglich aufladen möchte? Die Ergebnisse werden von der Lehrkraft an der Tafel gesammelt.	Die Schüler_innen bearbeiten die Frage nach dem Think-Pair-Share-Prinzip.
5 min	<i>Explore</i>	Frage: Welche messbaren Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle? Die Lehrperson notiert die Faktoren an der Tafel und ergänzt falls notwendig alle Faktoren, die im Zuge der Experimentierphase untersucht werden.	Im Plenum nennen die Schüler_innen die messbaren Faktoren, welche die elektrische Leistung in den genannten Situationen beeinflussen.
10 min	<i>Explain</i>	Infoblatt 2 „Experimente in der Forschung“ austeilten. Im Plenum wird gemeinsam besprochen, was die zentralen Aspekte von Experimenten in naturwissenschaftlichen Forschungsprozessen sind.	Die Schüler_innen lesen individuell das Infoblatt. Gemeinsame Besprechung im Plenum.
10 min	<i>Elaborate</i>	Themenzuweisung der Experimentiergruppen und Austeilen der Arbeitsblätter 2a-2d (Seite 1). Die Forschungsfragen werden im Plenum besprochen.	Die Kleingruppen bearbeiten Aufgabe 1 der Phase 1 auf dem jeweiligen Arbeitsblatt: sie stellen eine Forschungsfrage auf.
20 min	<i>Elaborate</i>	Die Lehrperson betreut die Experimentiergruppen in ihrem Planungsprozess und verwaltet die Hilfekarten für die Versuchsplanung .	Die Gruppen bearbeiten die restlichen Aufgaben zur Messplanung (Phase 1). Sie können dabei die Hilfekarten verwenden. Anschließend bereiten sie eine kurze Präsentation ihrer Messplanung vor.
Einheit 3 und 4			
10 min	<i>Elaborate</i>	Die Lehrperson moderiert die Präsentation der Gruppenplanungen im Plenum. Feedbackfragen für die Mitschüler_innen werden entweder mittels einer PPT-Präsentation eingeblendet oder mündlich gestellt.	Die Experimentiergruppen präsentieren ihre Planungen und erhalten Feedback von der Lehrkraft und ihren Mitschüler_innen.

50 min	<i>Elaborate</i>	Austeilen von Seite 2 der Arbeitsblätter 2a-2d. Betreuung der Messungen und Verwalten der Hilfekarten für das Experimentieren.	Durchführung und Protokollierung der Experimente mittels Arbeitsblatt 2a/b/c/d (Seite 2) . Die Schüler_innen können dabei Hilfekarten in Anspruch nehmen und bereiten eine kurze Ergebnispräsentation vor.
20 min	<i>Elaborate</i>	Die Lehrperson moderiert die Ergebnispräsentation im Plenum. An der Tafel wird eine Liste mit Maßnahmen zur Optimierung des Ladevorgangs erstellt.	Die einzelnen Gruppen stellen ihre Ergebnisse entlang der Fragen auf dem Arbeitsblatt vor. Die Schüler_innen nennen im Plenum auf Basis der Ergebnisse Maßnahmen zur Optimierung des Ladevorgangs des Smartphones mittels Solarzelle.
20 min	<i>Evaluate</i>	Austeilen des Arbeitsblatts 3 „Haben wir heute geforscht?“ Die Lehrperson leitet die Diskussion im Plenum an, stellt dabei vertiefende Fragen und gibt nach Notwendigkeit weitere Anregungen.	Die Schüler_innen bearbeiten das Arbeitsblatt 3 mittels der Methode „Aushandeln“.

Um die Schüler_innen mit dem Thema bekannt zu machen, wird zunächst ein kurzes Brainstorming zum Begriff ‚Solarenergie‘ durchgeführt. Mit Hilfe dieses Einstiegs sollten bereits vorhandene Vorerfahrungen mit Solarzellen, deren Funktionsweise und Integration in Alltagsgegenstände wie portable Akkus aktiviert, besprochen und anschließend im Plenum gesammelt werden (vgl. Bönsch, 2002, S. 80-81). Anschließend werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet, die den Ausgangspunkt für die experimentellen Untersuchungen bilden. Diese umfassen zunächst den Aufbau, die Eigenschaften und die Funktionsweise einer Solarzelle. Die Schüler_innen erarbeiten diese Inhalte mit Hilfe eines Informationsblatts aus der Lernumgebung weitgehend selbstständig, um dann gemeinsam mit einer Mitschülerin oder einem Mitschüler das Funktionsprinzip einer Solarzelle mit eigenen Worten zu erläutern und diesen Prozess in einem Arbeitsblatt schriftlich und bildlich festzuhalten. Dabei spielen vor allem die bereits in Kapitel 3.2.2. genannten Key Ideas *„Die Strahlungsenergie der Sonne kann mit Hilfe von Photovoltaik-Anlagen in elektrische Energie umgewandelt werden“* und *„Das Funktionsprinzip der Solarzelle beruht zum einen auf dem Photoeffekt, bei dem Elektronen durch Photonen aus ihren Bindungen gelöst werden und Isolatoren dadurch zu Leitern werden, und zum anderen auf dem photovoltaischen Effekt, bei dem ein elektrisches Feld diese freien Elektronen beschleunigt, um sie für die elektrische Energieversorgung nutzbar zu machen“* eine zentrale Rolle. Im Zuge dieser Aktivitäten können außerdem mehrere der in Kapitel 3.3.4. beschriebenen Präkonzepte aufkommen, wie die Verbrauchsvorstellung und zahlreiche mögliche Alltagsvorstellungen über die Funktionsweise einer Solarzelle - allen voran die Verwechslung von Solarzellen und Solarkollektoren beziehungsweise Photovoltaik und Solarthermie. Das entsprechende Lernziel wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt genannt und beinhaltet die Fähigkeit, die Funktionsweise einer Solarzelle

und den Ablauf der Umwandlung von Licht in elektrische Energie in unterschiedlichen Formen darzustellen und zu erläutern (W3).

Weitere theoretische Grundlagen für das Experimentieren bilden die Faktoren, welche die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen. Die zweite Einheit der Experimentiersequenz wird daher mit der Fragestellung eingeleitet: *„Worauf muss ich achten, wenn ich mein Smartphone mit einer Solarzelle so schnell wie möglich aufladen möchte?“* Die Ergebnisse werden gesammelt und anschließend mit der Klasse im Hinblick auf die Frage *„Welche messbaren Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?“* genauer unter die Lupe genommen. Dabei wird geklärt, welche konkreten, messbaren Parameter hinter diesen Gegebenheiten stecken, die die Solarzellenleistung beeinflussen und somit in weiterer Folge die benötigte Zeit zum Aufladen des Smartphones bestimmen. Hier sollten zumindest jene vier Parameter an der Tafel notiert oder markiert werden, die in der Experimentierphase zu untersuchen sind, nämlich die Temperatur der Solarzelle sowie die Bestrahlungsstärke, der Einfallswinkel und die Farbe des einfallenden Lichts. Jedem dieser vier Faktoren entspricht eine der in Kapitel 3.2.2. bereits aufgelisteten Key Ideas, welche den Einfluss des jeweiligen Parameters auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle qualitativ beschreiben. Relevante Verständnisschwierigkeiten im Hinblick auf den Leistungsbegriff können hier aufkommen, beispielsweise die Auffassung, dass nur direkte Sonneneinstrahlung eine elektrische Leistungsabgabe ermöglicht oder die Vorstellung, dass bei erhöhter Temperatur auch eine erhöhte Leistung zu messen ist.

Die theoretischen Grundlagen werden durch die zentralen Eigenschaften und Bestandteile von naturwissenschaftlichen Experimenten und deren Verortung im Forschungsprozess vervollständigt, welche von den Lernenden ebenfalls in Form eines Informationszettels selbstständig erarbeitet und anschließend gemeinsam im Klassenplenum gesammelt und diskutiert werden. Wie in Kapitel 3.2.2. bereits beschrieben spielen dabei vor allem die folgenden Key Ideas eine zentrale Rolle: (1) die Funktion von naturwissenschaftlichen Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschung, (2) die Rolle der Parametervariation und -kontrolle, (3) die Notwendigkeit der Messplanung und Dokumentation im Sinne der Nachvollziehbarkeit der Untersuchung und (4) der Einsatz von Kreativität im Forschungsprozess zur individuellen Lösungsfindung und zur Generierung des Experimentiersettings. Relevant sind bei dieser Aktivität all jene Lernendenvorstellungen, die bereits in Kapitel 3.3.5. ausführlich thematisiert und zusammengefasst und an dieser Stelle nicht erneut diskutiert werden sollen.

Im Zuge der Messplanung werden die gerade beschriebenen Key Ideas zur NdN erneut in einem praxisorientierten Kontext aufgegriffen, wobei auch die entsprechenden Präkonzepte aufkommen können. Probleme mit dem Leistungsbegriff sind hier eventuell ebenfalls relevant, ebenso wie die bereits genannten Fehlvorstellungen vom Einfluss der zu untersuchenden Faktoren auf die Leistung der Solarzelle. Mit der Messplanung werden zwei Lernziele verfolgt. Zum einen sollen Schüler_innen ein Experiment zur Untersuchung eines Faktors, der einen Einfluss auf die elektrische Leistungsabgabe von

Solarzellen besitzt, planen (E3). Zum anderen sollen sie die Fähigkeit erwerben, Überlegungen zu geeigneten Messgeräten sowie Vermutungen über beim Messvorgang zu beachtende Aspekte aufzustellen (E2). In den Kleingruppen erfolgt dabei zunächst das Aufstellen einer Forschungsfrage im Hinblick auf den Einfluss des jeweiligen Parameters auf die Leistungsabgabe einer Solarzelle. Die Forschungsfragen werden im Plenum präsentiert und nach Notwendigkeit überarbeitet oder adaptiert, sodass die Lehrperson sicherstellen kann, dass die festgelegten Fragestellungen für die durchzuführenden Untersuchungen angemessen sind. Nach dieser kurzen Besprechungsphase bestimmen die Schüler_innen in den Experimentiergruppen jene Parameter, die zu messen und zu variieren sind. Sie stellen eine Hypothese im Hinblick auf das erwartete Ergebnis auf, überlegen die zu kontrollierenden Rahmenbedingungen und diskutieren den konkreten Aufbau und Ablauf der Experimente. Als Unterstützung dienen Leitfragen auf dem entsprechenden Arbeitsblatt. Zusätzlich wurden als Unterstützung gestufte Lernhilfen entwickelt. Diese decken sowohl inhaltliche als auch lernstrategische Aspekte ab (siehe Kapitel 4.2.), indem einerseits Anregungen zur weiteren Vorgehensweise gegeben werden, zum Beispiel durch Hinweise wie *„Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist“*. Andererseits werden auch Hinweise hinsichtlich des bereits vorhandenen Vorwissens der Lernenden zur Verfügung gestellt, beispielsweise *„Wodurch ändert sich die Bestrahlungsstärke unter ‚echten‘ Bedingungen (Sonne)?“* (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 3). Am Ende der Gruppenplanungsphase erfolgt die Präsentation der Messplanung durch die einzelnen Gruppen im Klassenplenum. Die zuhörenden Schüler_innen erhalten die Möglichkeit, ihren Mitschüler_innen konstruktive Rückmeldungen zur Optimierung ihrer Messplanungen zu geben. Dazu werden Leitfragen zur Verfügung gestellt, um sicher zu gehen, dass sich die Schüler_innen in ihrem Feedback an den zentralen Aspekten der Messplanung orientieren.

Die Durchführung der Experimente erfolgt entlang der entwickelten Versuchsplanung in Kleingruppen. Diese Phase widmet sich erneut den Key Ideas, die sich mit dem Einfluss der einzelnen zu untersuchenden Faktoren auf die elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen beschäftigen, wobei auch hier wieder entsprechende Präkonzepte aufkommen können. Überdies ergeben sich eventuell Verständnisschwierigkeiten im Hinblick auf die Differenzierung des Strom- und Spannungsbegriffs, ebenso wie Fehlvorstellungen zum Verhalten dieser Größen im elektrischen Stromkreis (siehe Kapitel 3.3.4.). Auch die in Kapitel 3.3.5. beschriebenen Präkonzepte im Hinblick auf das Experimentieren sowie die Probleme im Umgang mit Variablen in einem Experiment können in dieser Unterrichtsphase aufkommen. Im Zuge der Durchführung der Experimente sollen die Schüler_innen Messungen durchführen und dabei typische naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden anwenden (E1) und andererseits den Datenerhebungsprozess dokumentieren und die erhobenen Daten analysieren und interpretieren (E4). Die Gruppen beschäftigen sich dabei zunächst mit den verwendenden Messgeräten und gehen anschließend zum Aufbau des Experimentiersettings sowie zur Durchführung und Protokollierung der Messungen über. Dabei wird unter Variation des zu untersuchenden Parameters

jeweils ein Messwert für Stromstärke und Spannung aufgenommen, aus denen die zugehörige elektrische Leistung für die bestehenden Rahmenbedingungen bestimmt und deren Verlauf grafisch dargestellt wird. Für diese Aktivitäten werden erneut Leitfragen auf dem Arbeitsblatt sowie gestufte Lernhilfen zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse werden im Plenum vorgestellt und vor dem Hintergrund der aufgestellten Hypothese analysiert und interpretiert.

Den Abschluss der Experimentierphase bildet eine Reflexion des Experimentierprozesses mit Hilfe des Arbeitsblatts „*Haben wir heute geforscht?*“. Nach dem Prinzip des Aushandelns (siehe Kapitel 4.3.) bewerten und diskutieren die Schüler_innen die Aussagen der vier Personen Concept Cartoon und sollen dabei Unterschiede und Parallelen zwischen ihrem eigenen Arbeitsprozess und naturwissenschaftlicher Forschung erfassen und beschreiben (W4). Im Rahmen dieser Aktivität werden dabei erneut diejenigen Key Ideas und Lernendenvorstellungen aufgegriffen, die bereits im Rahmen des Infoblatts über Experimente in der Forschung thematisiert wurden.

5.3. Begründung der Experimentierphase als Fokus der Testung

Das besondere Interesse für die Experimentierphase gründet hauptsächlich in zwei Kernaspekten der Lernumgebung, nämlich (1) die Anlegung der Experimentierphase als forschend-entdeckender Unterricht unter dem Einsatz von gestuften Lernhilfen zur Unterstützung der möglichst selbstständigen Planung und Durchführung der Experimente, und (2) die an die Untersuchung anschließende Reflexion als Kernpunkt des Lernens über naturwissenschaftliche Forschung.

5.3.1. Forschendes Lernen mit gestuften Hilfen

Die Methode des forschenden Lernens bildet einen Kernaspekt der Experimentierphase, mit Hilfe dessen den Schüler_innen möglichst viel Freiheit beim Planen und Durchführen der Experimente geboten wird. Nach der in Kapitel 3.1.2. genannten Systematik forschenden Lernens von Sadeh & Zion (2009) lässt sich der in der Lernumgebung verwendete Ansatz auf den ersten Blick jenem des „open inquiry“ zuordnen, da die Schüler_innen die zu untersuchende Forschungsfrage selbst formulieren, das Experiment zur Beantwortung dieser Fragestellung möglichst eigenständig planen und durchführen und die erhaltenen Messdaten so selbstständig wie möglich interpretieren und anschließend präsentieren (vgl. Sadeh & Zion, 2009, S. 1138). Der jeweils zu untersuchende Aspekt ist jedoch vorgegeben – die Schüler_innen nennen im Zuge des Brainstormings zwar selbst unterschiedliche Faktoren, welche die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen, doch die Experimentiermaterialien, die Arbeitsblätter und die Hilfekarten sind bereits auf vier bestimmte Faktoren beschränkt (siehe oben). Die Auswahl möglicher Forschungsfragen wird daher relativ stark eingeschränkt, da sie aufgrund dieser Vorgaben höchstwahrscheinlich die Form „*Welchen Einfluss hat Faktor X auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?*“ annimmt. Auch in den Hilfekarten wird von einer derartigen Forschungsfrage ausgegangen, weshalb die Experimentierphase eher im Bereich des guided inquiry angesiedelt ist. Für die Sekundarstufe I erscheint ein solches Maß an Struktur jedoch äußerst sinnvoll,

denn wie Sadeh & Zion (2009, S. 1139) betonen, kann somit dafür gesorgt werden, dass der Experimentierprozess zielgerichtet stattfindet und das Risiko der Überforderung auf Seiten der Schüler_innen reduziert wird: „[i]t prevents a ‚waste of time,‘ reduces student frustration due to achieving undesirable results or experiencing failure, and fear of the unknown“. Um den Anforderungen des forschenden Lernens einerseits und der Vermeidung von Überforderung andererseits gerecht zu werden, werden sowohl im Planungs- als auch im Experimentierprozess gestufte Lernhilfen eingesetzt, die nach Möglichkeit zusätzliche strukturelle und inhaltliche Unterstützung bieten (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 3). Somit soll leistungstärkeren Schüler_innen ein offeneres und leistungsschwächeren Lerner_innen ein strukturierteres Experimentiersetting ermöglicht werden.

Unter diesen Aspekten stellt sich die Frage, inwiefern mit Hilfe der entwickelten Hilfe- und Antwortkarten ein forschend-entdeckender Unterricht ermöglicht werden kann. Dabei ist interessant, ob die geplanten Versuche sowie die zur Verfügung gestellten Materialien sowohl inhaltlich als auch sprachlich der Zielgruppe von dreizehn- bis vierzehnjährigen Schüler_innen entsprechen. Zum anderen ergibt sich die Fragestellung, ob die Hilfekarten tatsächlich eine Berücksichtigung von heterogenen Leistungsniveaus in der Klasse ermöglichen, indem sie von leistungstärkeren und leistungsschwächeren Schüler_innen in unterschiedlichem Ausmaß genutzt werden können und somit mehr oder weniger Struktur für den forschenden Lernprozess der jeweiligen Schüler_innen bieten können (vgl. Wodzinski, Sträudel & Ronczkowski, 2011, S. 2). Die Untersuchung des Ausmaßes einer solchen Differenzierung übersteigt jedoch den Rahmen dieser Diplomarbeit, weshalb der Interessensfokus hauptsächlich auf der Ermöglichung selbstständigen Experimentierens mit Hilfe der entwickelten Lernhilfen liegen soll.

5.3.2. Lernen über naturwissenschaftliche Forschung

Für die entwickelte Lernumgebung wurde ein „forschend-empirische[r]“ (Henke, 2016, S. 128) Zugang für NdN-Lernen gewählt, der sich auf die Experimentierphase konzentriert, weshalb in den Unterrichtsmaterialien hauptsächlich die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse thematisiert werden. Die von den Schüler_innen durchgeführten Untersuchungen bilden dabei den Kontext für die explizite und reflexive Auseinandersetzung mit physikalischer Forschung (vgl. Henke, 2016, S. 125-126). Mit Hilfe des Infoblatts über die Eigenschaften experimenteller Untersuchungen in einem physikalischen Forschungsprozess werden bereits im Vorfeld der durchzuführenden Experimente „verständnisnotwendig[e] Sachinformationen über den realen Wissenschaftsbetrieb“ zur Verfügung gestellt, und die Lernenden erhalten „unterstützendes Faktenwissen über ‚echte‘ Forschung“, welches für ihre Untersuchung von Relevanz ist (Henke, 2016, S. 126). Anschließend an die Diskussion der Messergebnisse erfolgt eine explizite Reflexion des durchgeführten Forschungsprozesses, im Zuge derer die Lernenden ihre eigene Untersuchung mit den Eigenschaften realer naturwissenschaftlicher Forschung vergleichen. Dabei diskutieren die Schüler_innen „eigene unterrichtliche Erfahrungen in reflektierenden Lehrsequenzen aus metawissenschaftlicher Perspektive“ (Henke, 2016, S. 125). Nach

Henke (2016, S. 126) bietet dieser reflexive Vergleich die Möglichkeit, „unterrichtsbedingte Vorstellungen“ zu naturwissenschaftlichen Arbeitsprozessen zu identifizieren und zu thematisieren.

Die Experimentierphase bildet somit den zentralen Ausgangspunkt für die Untersuchung eines möglichen Wissenszuwachses im Bereich des NdN-Lernens auf Seiten der Schüler_innen, da alle Aktivitäten, die der Auseinandersetzung mit dem Wesen naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse dienen, in ebendieser Sequenz der Lernumgebung konzentriert sind. Es gilt in dieser Untersuchung herauszufinden, inwiefern die Unterrichtsgestaltung mit Hilfe dieser Materialien zur Ausbildung angemessener und realitätsgetreuer Vorstellungen von Forschung und deren Bedeutung in der Naturwissenschaft beitragen kann und wie der NdN-Lernprozess entsprechend optimiert werden kann.

6. Forschungsmethoden

Die praktische Erprobung der Unterrichtsmaterialien erfolgt entlang des Design-Based Research Forschungsansatzes, wobei mehrere verschiedene Methoden für die Datensammlung eingesetzt werden, nämlich die Entwicklung eines Fragebogens zur Ermittlung von Präkonzepten zu naturwissenschaftlicher Forschung, der Einsatz von Audio- und Videoaufnahmen der Unterrichtssequenz, die Verwendung von schriftlichen Feedback-Bögen für die Lernenden und die Durchführung eines Follow-Up Interviews mit der teilnehmenden Lehrkraft. Die drei folgenden Forschungsfragen stehen in diesem praktischen Erprobungs-, Evaluations- und Überarbeitungszyklus im Vordergrund:

- 1. Wie hoch ist das Ausmaß der sprachlichen und inhaltlichen Passung der entwickelten Unterrichtsmaterialien im Hinblick auf die Zielgruppe?*
- 2. In welchem Ausmaß ermöglichen die entwickelten gestuften Lernhilfen die weitgehend selbstständige Planung und Durchführung der komplexen Untersuchungen?*
- 3. Inwiefern leistet die Lernumgebung einen Beitrag zur Vermittlung realistischer Vorstellungen über naturwissenschaftliche Forschungsprozesse?*

Im Hinblick auf die dritte Forschungsfrage soll dabei einerseits die Veränderung der Vorstellungen von Forschung untersucht und andererseits eine Optimierung der Lernumgebung in Bezug auf den NdN-Lernprozess angestrebt werden.

6.1. Design-Based Research

Design-Based Research oder Design-Forschung wird von Wilhelm und Hopf (2014, S. 32-33) beschrieben als ein „theorieorientierter Prozess für die Lösung konkreter Probleme der Praxis“, der aus „kontinuierlichen Zyklen aus Design, Umsetzung, Analyse und Re-Design“ besteht. Basierend auf der bereits existierenden theoretischen Vorarbeit in diesem Themenbereich werden dabei für eine praktische Problemstellung Lösungsansätze entwickelt, die wiederholt erprobt, überarbeitet und weiterentwickelt werden (vgl. Wilhelm & Hopf, 2014, S. 41; Euler, 2014, S. 17). Das Ziel dieses Forschungsprozesses bildet die Entwicklung von pädagogischen Interventionen wie beispielsweise Lehr- und Lernmaterialien oder Unterrichtsmethoden einerseits und das Erlangen von „übertragbaren theoretischen, designbezogenen Erkenntnissen sowie empirischen Forschungsergebnissen“ andererseits, auf Basis derer Beiträge zur theoretischen Grundlagenarbeit im jeweiligen Gebiet geleistet werden können (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33; vgl. Plomp, 2007, S. 13, zitiert nach Euler, 2014, S. 16). Euler (2014, S. 16) betont, dass Design-Based Research somit die Praxisrelevanz (fach-)didaktischer Forschung erhöhen und gleichzeitig Innovationen im jeweiligen Forschungsfeld ermöglichen soll.

Im Hinblick auf den methodischen Rahmen der Design-Forschung merken Wilhelm und Hopf (2014, S. 36) an, dass diese in ihrer Rolle als „nutzenorientierte Grundlagenforschung“ zwar sowohl den Richtlinien der Praxisforschung als auch jenen der grundlagenorientierten Forschung folgen muss, dabei

jedoch nicht versucht wird, bestimmte Einflussgrößen als voneinander isolierte Faktoren zu betrachten. Vielmehr werden diese Variablen als miteinander in Beziehung stehend angesehen, weshalb keine Einschränkung der „vermutete[n] Wirksamkeit“ der Intervention aufgrund „zu streng[e] Kontrolle von Randbedingungen“ riskiert wird (vgl. Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33). Somit können auch Interventionsdesigns erstellt und erprobt werden, in denen mehrere didaktische Elemente angewendet werden, die Lernen unterschiedlich beeinflussen können. Die Autoren illustrieren dies beispielsweise mit einer Lernumgebung, „in der sowohl auf Mathematisierung verzichtet wird als auch konsequent Visualisierungen eingesetzt werden, Simulationsprogramme vorkommen und eine neue Sachstruktur verwendet wird“ (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33). Durch das Erlauben eines solchen „komplexen Wechselspiel[s] verschiedener Einflussfaktoren“ (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33) resultiert eine weite Bandbreite an Forschungsmethoden, die in Kombination mit dem Ansatz der Design-Forschung angewendet werden können und sich oftmals in der Methodik anderer Forschungsdesigns wiederfinden (vgl. Euler, 2014, S. 29). Als Beispiel nennt Euler (2014, S. 29) unterschiedliche Methoden der Datensammlung und Dateninterpretation, die von der Aufnahme umfangreicher quantitativer Datensätze bis hin zur Erfassung und Verarbeitung qualitativer Daten reichen, wobei letztere für die Design-Forschung von besonders großer Bedeutung sind, da hierbei auch für die Intervention relevante kontextabhängige Einflussgrößen berücksichtigt werden (vgl. Euler 2014, S. 29). Die Sammlung qualitativer Daten wird unter anderem durch Interviews, Unterrichtsbeobachtungen, Textanalysen, Fragebögen oder Verständnistests ermöglicht (vgl. Euler, 2014, S. 29). Für die Erprobung entwickelter Interventionen und die entsprechende Datensammlung eignen sich unterschiedliche Gruppengrößen der Testpopulation, von Einzelschüler_innen, an denen unter „Laborbedingungen“ isoliert die entworfene Intervention ausgetestet wird, bis hin zu Testungen im gesamten Schulklassenverband (Brown, 1992, S. 153). Brown (1992, S. 152-153) betont dabei, dass auch eine Kombination unterschiedlicher Fokusgruppengrößen fruchtbare Ergebnisse erbringen kann, da sowohl ein kontrolliertes Setting als auch die spontane Interaktion im Klassenzimmer Aufschluss über die Anwendbarkeit des entworfenen Designs geben können.

6.1.1. Praktische Anwendung des Design-Based Research Ansatzes

Die auszutestenden Unterrichtsmaterialien wurden im Rahmen der Diplomarbeit nach dem Design-Based Research Konzept innerhalb mehrerer Arbeitszyklen erstellt, erprobt, analysiert und überarbeitet, um herauszufinden, inwiefern sie dem Anspruch praktischer Anwendbarkeit im Unterrichtsalldag gerecht werden können (vgl. Wilhelm & Hopf, 2014, S. 41). Dabei ist anzumerken, dass es im Rahmen der Diplomarbeit aufgrund des limitierten Umfangs kein Anspruch gestellt wird, auf Basis der Untersuchungen einen Beitrag zur Theorieforschung innerhalb dieses Themenbereichs zu leisten, sondern lediglich die Beschreibung der Veränderung von Lernendenvorstellungen zur NdN sowie eine Optimierung der entwickelten Unterrichtsmaterialien angestrebt wird.

Der erste Entwicklungs- und Überarbeitungszyklus der Lernumgebung fand, wie in Kapitel 5.1. bereits beschrieben, im Rahmen des Projektpraktikums statt. Nach Beendigung des Praktikums wurde die Oberstufenversion der Materialien durch Frau Prof.ⁱⁿ Bartosch, Herrn Prof. Schlosser und Frau Mag.^a Avalos Ortiz korrigiert. Euler (2014, S. 29) betont, dass die Einbindung von Expert_innen, die nicht am ersten Designprozess beteiligt waren, für die Evaluierung einer solchen Intervention äußerst fruchtbar sind, da somit eine kritische Einschätzung, Überarbeitungsvorschläge und eine Bewertung der entworfenen Materialien erhalten werden kann. Die auf Basis dieses Expert_innen-Inputs optimierte Oberstufen-Lernumgebung wurde als Vorlage für die Erstellung einer entsprechenden Unterstufen-Lernumgebung herangezogen, ebenso wie die von Herrn Pöcksteiner erstellte und überarbeitete Lernumgebung. Das Produkt wurde anschließend in Zusammenarbeit mit den zuständigen Lehrpersonen weiter korrigiert, überarbeitet und verbessert. Anschließend an diesen ersten Entstehungs- und Optimierungsprozess der Unterrichtsmaterialien soll nun im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit ein ausgewählter Teil der Lernumgebung, nämlich die Experimentierphase, in der Praxis ausgetestet werden (siehe Kapitel 5.2. und 5.3.). Euler (2014, S. 26) merkt an, dass auch auf theoretischen didaktischen und fachlichen Konzepten basierende Interventionen meist in ihrer vorläufigen Form keine idealen Lösungen für praktische Anwendungen darstellen, weshalb diese Erprobung notwendig ist, um die Lernumgebung im Hinblick auf ihren Mehrwert und ihre Anwendbarkeit im Physikunterricht zu evaluieren und dahingehend zu optimieren. Er empfiehlt, die erste Austestung entwickelter Materialien mit Schüler_innen auf eine kleine Versuchsgruppe zu beschränken, bevor sie im realen Unterricht angewendet wird (vgl. Euler, 2014, S. 29). Dies konnte lediglich in Form der Testung im Rahmen des Projektpraktikums gemeinsam mit Studierenden realisiert werden, da eine Testung in Lernendengruppen aus Zeitgründen nicht möglich ist und sich eine Durchführung im Regelunterricht für die teilnehmenden Lehrkräfte und Schüler_innen als deutlich zeitökonomischer und praktischer erweist. Darüber hinaus bietet die Erprobung in einer gesamten Klasse den Vorteil, dass die Materialien direkt unter realen Alltagsbedingungen getestet werden, ohne die Gefahr, dass ein eingeschränktes Laborsetting das Verhalten der Schüler_innen beeinflussen würde, indem sie beispielsweise nichts Falsches sagen möchten oder sich in der Situation unwohl fühlen (vgl. Mayring, 2002, S. 23).

6.1.2. Ablauf der Testungen

Die Erprobung der Unterrichtsmaterialien findet in zwei vierten Klassen am Erich Fried Realgymnasium in der Glasergasse 25 im neunten Bezirk in Wien statt, die von verschiedenen Lehrkräften mit Hilfe der entwickelten Materialien unterrichtet wurden. Die erste Testgruppe ist die 4B Klasse unter der Leitung von Frau Mag.^a Andrea Schimon. Bei einem ersten Besprechungstermin gemeinsam mit der Lehrerin der 4B und dem Direktor der Schule, Herr Mag. Günter Maresch, sowie bei einem darauffolgenden Vorbereitungstreffen wurde mit Frau Mag.^a Schimon die Terminaufteilung für den Unterricht festgelegt. Tabelle 3 bietet eine Übersicht über die einzelnen Unterrichtseinheiten und die dabei durchgeführten Inhalte. Zunächst wurde beim Vorbereitungstreffen beschlossen, den Fragebogen bereits am 18. Januar vor Beginn der offiziellen Testung durchzuführen, um mehr Zeit für die anderen Unterrichtsaktivitäten

zu gewinnen. Diese wird von Frau Mag.^a Schimon ohne die Anwesenheit der Verfasserin durchgeführt. In dieser Einheit findet überdies die Gruppeneinteilung für die Experimente statt, wobei die Schüler_innen sich selbst in Kleingruppen zusammenfinden sollen. Die Themenzuweisung selbst erfolgt jedoch erst in Einheit 2. Am 22. und 23. Januar findet anschließend die Testung in insgesamt vier Schulstunden statt, wobei nach dem Nachmittagsunterricht am letzten Tag ein abschließendes Interview mit Frau Mag.^a Schimon durchgeführt wurde. Das Experimentieren am Nachmittag findet dabei in den zwei nebeneinanderliegenden Werksälen der Schule statt, die durch einen Durchgang miteinander verbunden sind. Dabei wird Frau Mag.^a Schimon vom Werklehrer, Herr Mag. Göbel unterstützt.

Tabelle 3. Ablaufplan für die Testung in der 4B Klasse

Datum	Uhrzeit	Programm
18. Januar 2018	10:55 bis 11:45 Uhr	Prä-Fragebogen
22. Januar 2018	08:55 bis 09:45 Uhr	Einheit 1
22. Januar 2018	10:00 bis 10:50 Uhr	Einheit 2
23. Januar 2018	13:45 bis 15:25 Uhr	Einheit 3 und 4 und Interview
25. Januar 2018	10:55 bis 11:45 Uhr	Post-Fragebogen

Im Zuge der Vorbereitung auf die Testung wurde gemeinsam mit Frau Mag.^a Schimon entschieden, die ursprüngliche Einführungsaktivität der Einheit zur Solarzellenfunktion zu adaptieren, da die Fragestellung „*Wie kann man ein Smartphone mit Solarenergie aufladen?*“ zum einen möglicherweise unklar sein könnte und die Schüler_innen zum anderen eventuell etwas mehr Kontext für die Durchführung der weiteren Aktivitäten benötigen würden, da die vorher geplanten Aktivitäten zur Photovoltaik der Lernumgebung im Zuge der Testung nicht durchgeführt wurden. Deshalb ist zu Beginn der ersten Einheit ein kurzes Brainstorming zum Begriff „Solarzellen“ geplant, auf Basis dessen Frau Mag.^a Schimon die Schüler_innen nach ihren Alltagserfahrungen mit Solarzellen sowie ihrer Vorstellung zur Funktionsweise dieser Geräte befragen kann. Für die Experimente werden auf Wunsch von Mag.^a Schimon anstelle von Widerständen kleine Elektromotoren mit Rotorblättern verwendet, damit die Schüler_innen die Änderung der elektrischen Leistungsabgabe unter verschiedenen Bedingungen zusätzlich zu den Stromstärke- und Spannungsmessungen ebenfalls durch qualitative Beobachtungen ermitteln können. Diese Experimentierkonstellation wurde bereits zuvor mehrmals im Schulversuchspraktikum der Universität Wien und einmal im Raum der Physiksammlung ausgetestet.

Der Unterricht in der 4A-Klasse wird von Mag.^a Sigrid Kolb durchgeführt und verläuft nach demselben Schema wie die Testung in der 4B Klasse. Im Zuge der zweiten Testung wird der Prä-Fragebogen in Anwesenheit der Verfasserin am 12. Februar durchgeführt, damit dieser Vorgang beobachtet und zusätzlich betreut werden kann. Falls anschließend noch genügend Zeit bleibt, kann bereits an dieser Stelle die erste Engage-Aktivität durchgeführt werden. Auch die Verkündung der Experimentiergruppen und der Themenzuweisung findet in dieser Unterrichtsstunde statt, wobei Frau Mag.^a Kolb die Gruppen

so einteilt, dass leistungsstärkere und leistungsschwächere Schüler_innen gemeinsam in den Kleingruppen arbeiten. Die weitere Erprobung der Materialien findet anschließend in den Schulstunden am 13. und am 19. Februar statt. Bei der Durchführung der Experimente wird auch in dieser Klasse wieder Herr Mag. Göbel unterstützend tätig sein. Aufgrund von Problemen mit den Elektromotoren beim Experimentieren innerhalb der Testung in der 4B Klasse werden für die Testung in der 4A Klasse nun Ohm'sche Widerstände als Lastwiderstände gewählt, ansonsten bleibt das Experimentiersetting unverändert. Die einzelnen Experimente werden dabei erneut im Vorfeld an der Schule ausgetestet und mangelhafte Geräte ausgetauscht.

Im Laufe der Testung ergaben sich jedoch einige Abweichungen von diesem Ablaufplan, die sich in Tabelle 4 finden. Da die Planung der Experimente am 19. Februar am Vormittag länger dauerte als erwartet, wurde in der Nachmittagseinheit noch etwas Zeit für die Versuchsplanung in Gruppen und deren Präsentation im Plenum eingeplant. Aus diesem Grund wurden am Ende des Nachmittags die Ergebnispräsentation und das Aushandeln auf die Unterrichtsstunde am 20. Februar verschoben, da hierfür nicht mehr genügend Zeit blieb. Am 22. Februar wurde dann schließlich der Post-Fragebogen von den Schüler_innen beantwortet, wobei zuvor die ersten zehn Minuten der Einheit dazu verwendet wurden, die Plenarphase des Aushandelns abzuschließen. Im Anschluss an die Unterrichtsstunde fand das Interview mit Frau Mag.^a Kolb über ihren Eindruck zur Testung statt.

Tabelle 4. Ablaufplan für die Testung in der 4A Klasse

Datum	Uhrzeit	Programm
12. Februar 2018	10:55 bis 11:45 Uhr	Prä-Fragebogen
13. Februar 2018	12:50 bis 13:40 Uhr	Einheit 1
19. Februar 2018	10:55 bis 10:45 Uhr	Einheit 2
19. Februar 2018	14:35 bis 16:15 Uhr	Einheit 3 und Beginn Einheit 4
20. Februar 2018	12:50 bis 13:40 Uhr	Ende Einheit 4
22. Februar 2018	10:55 bis 11:45 Uhr	Post-Fragebogen und Interview

6.2. Methoden für die Datensammlung

Im Rahmen der Erprobungsphase werden qualitative Methoden eingesetzt, um jene Daten zu erhalten, die zur Beantwortung der oben formulierten Fragestellungen dienen können. Dabei kommen in beiden Klassen Fragebögen mit offenen Fragen, Unterrichtsbeobachtungen mit unterstützenden Audio- und Videoaufnahmen und kurze Rückmeldungen von Lehrkräften in Form von Follow-Up Interviews sowie von Schüler_innen in Form eines schriftlichen Feedbacks im Anschluss an die Testung zum Einsatz.

6.2.1. Unterrichtsbeobachtung inklusive Audio- und Videoaufnahmen

Während der Einsatz des oben beschriebenen Fragebogens der Datensammlung zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage dient, wird die Methode der evaluativen Unterrichtsbeobachtung zur Gewinnung qualitativer Daten in Bezug auf alle drei Untersuchungsschwerpunkte eingesetzt (vgl. Malderez, 2003, S. 180). Das bedeutet, dass mit Hilfe der Unterrichtsbeobachtung sowohl Informationen über die sprachliche und inhaltliche Passung der Materialien an die Zielgruppe liefert als auch Aufschluss über das Ausmaß der Ermöglichung eines selbstständigen Forschungsprozesses mittels Lernhilfen und das Lernen über naturwissenschaftliche Forschung gibt. Die Unterrichtsbeobachtung wird von der Verfasserin mit der Unterstützung anderer Student_innen des Unterrichtsfachs Physik durchgeführt, wobei in den ersten beiden Stunden ein_e Studierende_r und während der doppelstündigen Experimentierphase drei andere Studierende als zusätzliche Beobachter_innen fungieren. Für jede Unterrichtseinheit wird dabei ein separater Beobachtungsbogen erstellt.

Um sicherzustellen, dass dieser Vorgang Aufschluss über die zu untersuchenden Forschungsfragen geben kann, werden Beobachtungsbögen mit multiplen Beobachtungsfokussen entworfen, die den gewählten Forschungsschwerpunkten entsprechen. Das heißt, dass die Bögen gezielte Fragestellungen beinhalten, die dabei helfen sollen, die einzelnen Unterrichtsaktivitäten und Materialien im Hinblick auf (1) mögliche Hinweise für sprachliche und/oder inhaltliche Problemstellen, (2) die Nutzung von und die Interaktion mittels Lernhilfen, sowie (3) die Argumentationsweise und die Vorstellungen der Lernenden zu naturwissenschaftlicher Forschung zu beschreiben. Die Beobachtungsfragen sind dabei so gestellt, dass sie ausschließlich beschreibende und keine wertenden Aussagen auf Seiten der beobachtenden Personen zulassen (vgl. Malderez, 2003, S. 179). Zur Vorbereitung werden die Bögen ungefähr eine Woche vor Beginn der Testung an die Student_innen gesendet und im Rahmen einer Vorbesprechung geklärt, worauf im Hinblick auf die gewählten Forschungsschwerpunkte ein besonderes Augenmerk gelegt werden sollte. Die Student_innen sind dazu eingeladen, Auffälligkeiten im Zuge ihrer Beobachtung, die nicht den zuvor festgelegten Forschungsschwerpunkten entsprechen, ebenfalls zu notieren. Im Sinne der Nachbereitung des Beobachteten fertigen die Student_innen ein kurzes schriftliches Resümee an, in dem sie den Gesamteindruck der beobachteten Unterrichtssequenz(en) beschreibend zusammenfassen. Diese schriftlich festgehaltenen Unterrichtsbeobachtungen dienen als Ausgangspunkt für die weitere Analyse der Lernumgebung (vgl. Malderez, 2003, S. 179).

Die Videoaufnahme während des Unterrichts erfolgt während beiden Testungen mittels einer Videokamera, die derart im Raum positioniert wird, dass die Lehrperson möglichst viel im Bild zu sehen ist. Da sich die Beobachtungsbögen hauptsächlich auf das Verhalten der Lernenden beziehen, können somit Informationen über das Verhalten der Lehrerinnen erhalten werden. Im Zuge der Experimentiersequenz, die in zwei getrennten Räumen stattfindet, wird in jedem Raum eine Kamera aufgestellt, damit für beide anschließend eine Videoaufnahme verfügbar ist. Die Audiogeräte werden während des frontalen Unterrichts in regelmäßigen Abständen auf den Tischen verteilt, um

Wortmeldungen der Schüler_innen im Plenum ebenso wie kurze Austauschsequenzen in Paaren und Kleingruppen festhalten zu können. Während der Gruppenarbeitsphasen bei der Planung und Durchführung der Experimente erhält jede Kleingruppe ein eigenes Aufnahmegerät.

6.2.2. Rückmeldung von Lehrkräften und Lernenden

Um Aufschluss über die Perspektive der Lehrpersonen zur abgehaltenen Sequenz und den verwendeten Materialien zu erhalten, wird im Anschluss an beiden Erprobungen der entwickelten Unterrichtsmaterialien jeweils ein kurzes offenes Follow-Up Einzelinterview mit den Lehrpersonen, welche die Unterrichtssequenz geleitet haben, durchgeführt. Dabei sind keine Vorgaben bezüglich der Interviewfragen oder Antworten gegeben, sondern die Personen haben die Möglichkeit, frei darüber zu erzählen, wie sie die Unterrichtssequenz erlebt haben (vgl. Gropengießer, 2008, S. 66). Dieses Verfahren ermöglicht einen Einblick in die „Innenperspektive“ (Mayring, 2002, S. 80) der Situation, da die Lehrperson bis zu einem gewissen Grad als teilnehmende Beobachter_in fungiert, die simultan am Geschehen teilnimmt und den gesamten Prozess beobachtet, um einen möglichst idealen Ablauf der Unterrichtssequenz sicherzustellen (vgl. Mayring, 2002, S. 80). Dabei können die folgenden offenen Fragestellungen verwendet werden, um das Gespräch auf die Praxistauglichkeit der Unterrichtsmaterialien sowie die ausgewählten Forschungsschwerpunkte zu lenken:

- *Was war gut? / Was hat gut funktioniert?*
- *Was war schlecht? / Wo gab es Schwierigkeiten und warum?*
- *Was sollte man in Zukunft anders machen? / Wie könnte man die Lernumgebung verbessern?*

In dieser Hinsicht ist auch die direkte Rückmeldung der Schüler_innen selbst aufschlussreich, weshalb die Lernenden am Ende der Erprobung ebenfalls um Feedback gebeten werden, welches sich jedoch aufgrund der hohen Schüler_innenzahl auf eine schriftliche Rückmeldung beschränkt. Dazu beantworten sie die oben genannten Fragestellungen in anonymer Form auf einem Zettel. Dies ermöglicht die Sammlung weiterer Informationen über die Passung der Materialien im Hinblick auf die Zielgruppe, welche unter Umständen die mittels Unterrichtsbeobachtung und Audio- beziehungsweise Videoanalyse erhaltenen Daten und Interpretationen bestärken oder auch in Frage stellen können. Darüber hinaus kann ein Einblick in affektive Reaktionen der Lernenden auf die entwickelten Materialien erhalten werden, welche im Zuge des Lernprozesses allgegenwärtig sind (vgl. Duit, 2009, S. 614).

6.2.3. Fragebogen zu Schülervorstellungen von Forschung

Um herauszufinden, inwiefern die Lernumgebung eine Entwicklung realistischer Vorstellungen über naturwissenschaftliche Forschungsprozesse fördert, wurde ein Fragebogen erstellt, der sowohl vor als auch nach der Erprobung der ausgewählten Materialien im Unterricht eingesetzt wird und von den Schüler_innen anonym unter Verwendung eines Codes beantwortet werden soll. Schwartz, Lederman und Lederman (2008, S. 8) betonen, dass ein Vergleich der Antworten auf dieselben Items vor und nach

Durchführung der Intervention Aufschluss über die Veränderung von Lernendenvorstellungen und einen möglichen Wissenszuwachs im Bereich adäquater NdN-Vorstellungen liefern und somit einen Indikator für die Effektivität der Intervention darstellen kann. Ein Vergleich der Fragebogenergebnisse vor und nach der Durchführung der entwickelten Intervention soll somit Informationen über die Wirksamkeit der auszutestenden Lernumgebung im Bereich des NdN-Lernens liefern und somit zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage beitragen.

Als Basis des entwickelten Fragebogens wurden die Testinstrumente VOSI (Views Of Scientific Inquiry) (vgl. Lederman et al., 2014), VASI (Views About Scientific Inquiry) (vgl. Schwartz et al., 2008) und Adaption des VNOS-D+ (Views Of Nature Of Science) Fragebogens (vgl. Lederman et al., 2002) von Frau Prof.ⁱⁿ Ilse Bartosch und Frau Mag.^a Roswitha Avalos Ortiz herangezogen. Diese stellen Instrumente zur Ermittlung von Lernendenvorstellungen dar, wobei der VASI Fragebogen auf Basis des VOSI Instruments erstellt wurde, dessen Entwicklungsprozess wiederum weitgehend identisch mit jenem des VNOS Fragebogens ist (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 6; Lederman et al., 2014, S. 65). Sie unterscheiden sich dahingehend, dass sich die VOSI und VASI Fragebögen spezifisch mit der „nature of scientific inquiry“ (Schwartz et al., 2008, S. 1), kurz NOSI, also der Natur der naturwissenschaftlichen Forschung, beschäftigen, während der VNOS-D+ Fragebogen den Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften auf den Grund geht. Schwartz, Lederman und Lederman (2008, S. 3) betonen, dass die Natur der naturwissenschaftlichen Forschung sich von der Natur der Naturwissenschaften im Allgemeinen unterscheidet: „NOS aspects are those that pertain most to the product of inquiry, the scientific knowledge. NOSI aspects are those that pertain most to the processes of inquiry, the ‚how‘ the knowledge is generated and accepted“, fügen jedoch hinzu, dass beide Bereiche eng miteinander verwoben sind und sich gegenseitig überschneiden, weshalb sowohl NOSI als auch NOS oftmals unter dem Sammelbegriff NdN oder NOS verstanden werden (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 3). Aus diesem Grund soll im Rahmen dieser Diplomarbeit keine explizite Unterscheidung zwischen diesen beiden Aspekten erfolgen.

Als erster Schritt zur Erstellung des zu verwendenden Fragebogens wurden den einzelnen Items der drei Testinstrumente entsprechende Schülervorstellungen und Kernaspekte zugeordnet, die in Kapitel 2.2. und 3.2. beschrieben wurden. Darüber hinaus wurden die von Schwartz, Lederman und Lederman (2008) sowie die von Lederman et al. (2014) in der Beschreibung ihrer Testinstrumente angegebenen Lernendenvorstellungen und Key Ideas berücksichtigt. Nach diesem Arbeitsschritt wurden diejenigen Items ausgewählt, die jenen Präkonzepten und Kerninhalten entsprechen, welche in der auszutestenden Unterrichtssequenz von Relevanz sind. Auf Basis dieses Verfahrens ergab sich ein Fragebogen mit sechs Items, deren Auswahl im Folgenden kurz begründet werden soll.

1. *Was machen Naturwissenschaftler_innen (z.B. Physiker, Chemiker, Biologen ...), um etwas über die Natur zu lernen? Beschreibe, wie Naturwissenschaftler_innen bei ihrer Arbeit vorgehen.*

Bei dieser Fragestellung handelt es sich um ein VOSI-Item, das den Aspekt der Notwendigkeit der Identifikation und Beantwortung von Forschungsfragen sowie des Vergleichs der Ergebnisse mit dem bisherigen Wissensstand anspricht (vgl. NRC, 2000, S. 20, zitiert nach Schwartz et al., 2008, S. 4). Darüber hinaus ist wichtig, dass Naturwissenschaftler_innen abhängig vom zu untersuchenden Phänomen verschiedene Untersuchungsmethoden anwenden, um der jeweiligen Forschungsfrage auf den Grund zu gehen (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Es existiert also nicht ein einziges Muster, nachdem Forschung abläuft, wie oftmals von Schüler_innen angenommen wird (vgl. Höttecke, 2001, S. 20). Beispielsweise eignen sich abgesehen von Experimenten Beobachtungen ebenfalls als naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Eine weitere Key Idea, welche die Autor_innen in Bezug auf dieses Item nennen, ist die Tatsache, dass naturwissenschaftlicher Forschung eine Reihe unterschiedlicher Beweggründe und Zielsetzungen zugrunde liegen können (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). In der Beschreibung des VOSI Testinstruments nennen Schwartz, Lederman und Lederman (2008, S. 13) als häufige Antworten auf dieses Item “experiment, ask questions, make hypotheses, collect and analyze data, make observations, etc.”, während die Aussagen “do research; find answers to their questions” hingegen als zu allgemein und vage bewertet werden. Im Hinblick auf die entwickelten Unterrichtsmaterialien ist dieses Item relevant, da hier nicht nur die Key Idea, dass jedem Forschungsprozess eine konkrete Fragestellung zugrunde liegt, angesprochen wird, sondern auch deshalb, weil die Fragestellung zwei Schülervorstellungen im Concept Cartoon streift, nämlich die Auffassung, dass authentische Forschung nur im Labor stattfindet (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5) und die vereinfachte Sichtweise, dass die Arbeit von Naturwissenschaftler_innen darin bestehe, Neues zu entdecken oder auszuprobieren (vgl. Höttecke, 2001, S. 17).

2. *Was ist ein naturwissenschaftliches Experiment? Nenne auch ein Beispiel und erkläre, warum es sich dabei um ein Experiment handelt.*

Das zweite Item stammt ebenfalls aus dem VOSI Fragebogen und widmet sich unter anderem der Grundidee, dass bei einem Experiment Variablen oder Parameter, die für die Untersuchung eines Phänomens von Bedeutung sind, identifiziert und gezielt einzeln variiert werden, während die Rahmenbedingungen dabei kontrolliert werden (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Die entsprechenden Schülervorstellungen beinhalten die Annahme, Experimentieren sei lediglich ein Weg, um Dinge zu beobachten, auszuprobieren oder um ein gewünschtes Resultat zu erzielen (vgl. NSDL & AAAS, 2017) oder die Auffassung, ein Experimentierprozess sei kein „zielgerichtetes Handeln“, sondern, dass es mehr eine Methode darstelle, um „etwas herauszufinden, etwas auszuprobieren und Entdeckungen zu machen“ (Höttecke, 2001, S. 17). Dies korreliert mit einer Aussage des Concept Cartoons, wonach ein Kind der Meinung ist, sie hätten nichts Neues erfunden, sondern lediglich Messungen durchgeführt. Ein weiteres Präkonzept besteht in der Gleichsetzung von Experimentieren oder Forschen mit Datensammeln (vgl. Höttecke, 2001, S. 20-21), dessen zugehörige Kernidee im Concept Cartoon angesprochen wird, nämlich, dass Forschen nicht nur Experimentieren bedeutet, sondern unter anderem auch die Dokumentation und Interpretation der Messdaten beinhaltet. Nach Schwartz, Lederman und

Lederman (2008, S. 13) dient dieses Item darüber hinaus als Referenzpunkt zur Interpretation der Antworten auf andere Fragestellungen, in denen die Schüler_innen den Experimentierbegriff nach ihrem Verständnis verwenden.

3. *Sind Experimente notwendig für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen? Bitte begründe deine Antwort!*

Dieses Item stammt aus einer Adaption des VNOS-D+ Fragebogens von Frau Prof.ⁱⁿ Ilse Bartosch und Frau Mag.^a Roswitha Avalos Ortiz und beschäftigt sich mit der epistemologischen Rolle des naturwissenschaftlichen Experiments. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass naturwissenschaftliche Wissensansprüche erst durch direkte oder indirekte empirische Nachweise ihre Gültigkeit erlangen (vgl. Driver et al., 2000, S. 289). Dabei wird versucht, naturwissenschaftliche Fragestellungen mit Hilfe von Untersuchungen vor dem Hintergrund des bereits bestehenden Wissensbestands zu beantworten (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 4). Diese Grundideen werden im Informationsblatt „*Experimente in der Forschung*“ genannt, sind jedoch noch nicht unter den Key Ideas in der Lernumgebung explizit ausformuliert. Nichtsdestotrotz bildet die Rolle des Experiments für die naturwissenschaftliche Wissensgenese einen zentralen Lerneffekt der Experimentierphase, da auch hier experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden, um bestimmte naturwissenschaftliche Fragestellungen in Bezug auf Solarzellen zu beantworten. Darüber hinaus könnten auch bei diesem Item die bereits genannten Vorstellungen im Concept Cartoon angesprochen werden, unter anderem, dass Experimente lediglich dazu dienen würden, neue Dinge herauszufinden (Höttecke, 2001, S. 17).

4. *Zwei Schüler_innen, Alice und Bob, diskutieren über naturwissenschaftliche Forschung. Alice sagt, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen immer mit einer naturwissenschaftlichen Fragestellung beginnen müssen. Bob ist der Meinung, dass das nicht so ist. Wem stimmst du zu und warum?*

Mit dieser Fragestellung aus dem VASI Test wird die bereits genannte Key Idea angesprochen, dass naturwissenschaftliche Fragestellungen den Ausgangspunkt von naturwissenschaftlichen Untersuchungen darstellen (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 4). Obwohl es sein kann, dass dieser Aspekt wissenschaftlicher Forschung bereits im Rahmen der vorherigen Items beantwortet wird, so wird hier explizit auf die Vorstellung abgezielt, dass einfach „drauflos“ experimentiert werden könne und keine konkrete naturwissenschaftliche Fragestellung notwendig sei (vgl. Höttecke, 2001, S. 17). Darüber hinaus thematisiert dieses Item die Vorstellung, dass nicht Fragen, sondern Hypothesen den Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Forschung bilden (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Diese Präkonzepte sind in der Lernumgebung unter den aufgelisteten Schülervorstellungen noch zu ergänzen, wobei die oben genannte Key Idea zur Notwendigkeit von Forschungsfragen als Basis naturwissenschaftlicher Untersuchungen im Concept Cartoon bereits genannt wird.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass dieses Item auf den ersten Blick einen Widerspruch zu Item 3 darstellt, da Charlies Untersuchung trotz Ermangelung einer offensichtlichen Forschungsfrage als wissenschaftlich angesehen werden kann (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 15). Dazu kann auf die folgende Aussage von Lederman et al. (2014, S. 68) verwiesen werden: „It is valid to think that observations spark interest before a question exists and this is part of science. However, it is important to distinguish science from just walking through this world and observing“. Es kann also zwischen passivem Sehen beziehungsweise Wahrnehmen und aktivem Beobachten unterscheiden werden, wobei letzteres durch die Notwendigkeit eines gewissen Maßes an Interesse und Neugierde gekennzeichnet ist (vgl. Lederman et al., 2014, S. 68). Auch Charlie wird in diesem Beispiel durch etwas geleitet, dass Lederman et al. (2014, S. 68) beschreiben als „[a] specific knowledge that has been melded into some curious pattern or question.“ Aus diesem Grund ist seine Untersuchung sehr wohl durch eine Art Fragestellung geleitet, auch wenn diese eher aus einem allgemeinen Interesse an seiner Umwelt entspringt und nicht von Beginn zur Beantwortung eines spezifischen Sachverhalts festgelegt ist (vgl. Lederman et al., 2014, S. 68).

5. *Charlie geht an hundert verschiedenen Tagen von März bis Juni um die Mittagszeit spazieren. Er hat bei seinem Spaziergang die Sonne beobachtet. Dabei ist ihm aufgefallen, dass es immer dann besonders kalt ist, wenn die Sonne nicht scheint. Er hat auch herausgefunden, dass ihm bei strahlendem Himmel und viel Sonnenschein beim Spazieren meistens deutlich wärmer ist als bei wenig Sonne. Charlie schließt daraus, dass es einen Zusammenhang zwischen der Sonne und der Temperatur auf der Erde gibt. Ist diese Untersuchung ein Experiment? Warum / warum nicht? Ist diese Untersuchung naturwissenschaftlich? Warum / warum nicht?*

Das vierte Item des Fragebogens stellt eine Abwandlung eines VOSI-Items dar, das sich im Original auf die Beobachtung der Kieferbeschaffenheit unterschiedlicher Tierarten bezieht (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 14). Dieses wurde inhaltlich abgeändert, um dem Thema der Lernumgebung besser zu entsprechen. Die Fragestellung spricht die Kernidee an, dass im Gegensatz zu einer Beobachtung natürlicher Phänomene Experimente mittels Variablenkontrolle durchgeführt werden (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 15). Darüber hinaus zeigt das Beispiel auf, dass Experimente nicht die einzige Möglichkeit bilden, naturwissenschaftliche empirische Forschung zu betreiben. Auch Beobachtungen natürlicher Phänomene, die keine Manipulation der Variablen vorsehen, stellen ebenfalls eine wissenschaftliche Vorgehensweise darstellen (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 5). Die Autor_innen erläutern dazu:

„This example is not an experiment (as described above) but it can be considered scientific because of the use of repeated observations, identification of a pattern, and inferred correlation based on the observations. Thus, the conclusions are based on observations of the natural world. Such a response is consistent with a broader and more acceptable view of scientific inquiry as consisting of many methods of science“ (Schwartz et al., 2008, S. 15).

Im Hinblick auf die in der Experimentierphase angesprochenen Inhalte wird die Unterscheidung zwischen empirischer Beobachtung und Experiment auf dem Informationsblatt „*Experimente in der Forschung*“ angesprochen, und auch im Leitfaden für Lehrkräfte ist die Grundidee angeführt, dass Untersuchungen gezielte Variation und Kontrolle von Variablen mit sich bringt. Jedoch sollte der dortigen Formulierung der explizite Zusatz ‚ein Phänomen **experimentell** zu untersuchen‘ angefügt werden, um die oben genannte Unterscheidung zu verdeutlichen. Korrespondierende Schülervorstellungen sind die Gleichsetzung von Experimentieren mit „bloße[r] empirische[r] Beobachtung“ (Ertl, 2013, S. 17) und die Fehlinterpretation des Experimentierprozesses als reines Datensammeln (vgl. Höttecke, 2001, S. 20-21).

6. *Naturwissenschaftler_innen versuchen, mit Untersuchungen bzw. Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden. Denkst du, dass Naturwissenschaftler_innen ihre Phantasie und Kreativität benutzen, wenn sie diese Untersuchungen bzw. Experimente durchführen? Falls NEIN, erkläre bitte warum. Falls JA, in welchem Teil / welchen Teilen ihrer Untersuchungen (Planung, Durchführung, Beobachtung, Datenauswertung, Interpretation der Daten, Bericht der Ergebnisse etc.) denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität?*

Dieses Item stammt aus dem VNOS-D+ Fragebogen und beschäftigt sich mit der Tatsache, dass im Zuge von naturwissenschaftlichen Forschungsprozessen oftmals die eigene Kreativität und Vorstellungskraft der Naturwissenschaftler_innen involviert ist, da unter Umständen nach individuellen Lösungen gesucht werden muss, um das gewünschte Experimentiersetting zu generieren (vgl. Ertl, 2013, S. 18). Auch im Zuge der Dateninterpretation im Hinblick auf die Erklärungsfindung und Theoriebildung sowie in der Entwicklung von Modellen wird Fantasie und Ideenreichtum benötigt (vgl. Lederman et al., 2002, S. 500-501). Lederman, Abd-El-Khalick, Bell und Schwartz (2002, S. 508) zeigen auf, dass eine kompetente Beantwortung dieser Frage auf Expert_innenniveau die Grundannahme beinhaltet, dass der gesamte Untersuchungsprozess in einem gewissen Maß durch Kreativität bestimmt wird. Dieser Kernaspekt der NdN findet sich auch in der angegebenen Key Idea im Leitfaden für Lehrpersonen wieder. Die korrespondierende Lernendenvorstellung besagt, dass der Untersuchungs- oder Experimentierprozess nicht durch kreative Experimente beeinflusst werde und der/die Forscher_in dabei die Rolle eines „Datenerfasser[s]“ (Höttecke, 2001, S. 9) einnehme. Diese sollte ebenfalls noch im Leitfaden explizit angeführt werden.

6.3. Methoden der Datenanalyse

Um die mittels unterschiedlicher Methoden gewonnenen Daten gezielt zu reduzieren und für die weitere Optimierung der Unterrichtsmaterialien nutzbar zu machen, werden die ausgefüllten Fragebögen und die Unterrichtsbeobachtungen und -aufnahmen den Methoden der Qualitativen Inhaltsanalyse und der Key Incident Analyse zufolge analysiert.

6.3.1. Key Incident Analyse

Die Analyse der Audio- und Videodaten erfolgt nach dem „analytische[n] Konzept des *key events* oder *key incidents*“ (Hervorh. im Original) (Kroon & Sturm, 2002, S. 98), das nach Kroon und Sturm nicht nur der Datenanalyse, sondern darüber hinaus der „kontrollierten Datenreduzierung“ dient. Da während der geplanten Unterrichtssequenz mehrere Stunden an Videomaterial und eine noch größere Menge an Audiomaterial erhoben werden, bietet diese Methode eine Möglichkeit, aus dieser Fülle von Daten diejenigen Daten herauszufiltern, die für die Beantwortung der Forschungsfragen sowie für die Optimierung der Lernumgebung relevanten sind und diese in weiterer Folge sinnvoll zu analysieren. Nach diesem Vorgang werden zunächst in den schriftlichen Unterrichtsbeobachtungen der Studierenden „key events or incidents (e.g. recurrent events, events that have sustaining influence)“ (Green & Bloome, 1997, S. 186, zitiert nach Kroon & Sturm, S. 98) ermittelt. Auf Basis dieser Ereignisse wird anschließend das Audio- und Videomaterial ausgewählt, das im weiteren Verlauf der Analyse beachtet werden soll: findet sich in den ausgefüllten Beobachtungsbögen und den Resümees ein solcher zentraler Vorfall, wie beispielsweise Hinweise auf Probleme mit Fachbegriffen im Text, so wird ebendiese Sequenz auf den Audio- und Videoaufnahmen identifiziert und es können genauere Informationen dazu erhalten werden. Durch Aussagen oder nonverbale Hinweise von Lernenden oder der Lehrkraft kann somit der Kontext der jeweiligen Problemstelle ermittelt und diese dadurch genauer interpretiert und mit Hilfe einzelner transkribierter Passagen deutlicher dargestellt werden.

Darüber hinaus können die aufgenommenen Audio- und Videodaten im Hinblick auf weitere Einzelfälle durchsucht werden, um mögliche Regelmäßigkeiten und Verbindungen zu anderen Vorkommnissen derselben Art zu identifizieren (vgl. Green & Bloome, 1997, S. 186, zitiert nach Kroon & Sturm, S. 98). Wilcox (1980, S. 9, zitiert nach Kroon & Sturm, 2002, S. 98) merkt an, dass die Key Incident Analyse ein gewisses Maß an Schlussfolgerungen und weiterer Datensammlung benötigt, um von solchen zentralen Ereignissen auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten, und in diesem Fall in weiterer Folge auf die Anwendbarkeit der entwickelten Lernumgebung zu schließen. Aus diesem Grund werden auch die von den Schüler_innen ausgefüllten Arbeitsblätter eingesammelt, um weitere Hinweise in Bezug auf mögliche Verständnisschwierigkeiten zu erhalten.

6.3.2. Qualitative Inhaltsanalyse

Die Analyse der Fragebögen erfolgt nach dem Schema der „strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse“ nach Mayring (2002, S. 118). Der Autor beschreibt diesen Prozess folgendermaßen:

„Ziel der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse ist es, eine bestimmte Struktur aus dem Material herauszufiltern. Das können formale Aspekte, inhaltliche Aspekte oder bestimmte Typen sein; es kann aber auch eine Skalierung, eine Einschätzung auf bestimmten Dimensionen angestrebt werden [...] Das Herzstück dieser Technik ist nun, dass das aus den Strukturierungsdimensionen zusammengestellte Kategoriensystem so genau definiert wird, dass eine eindeutige Zuordnung von Textmaterial zu den Kategorien immer möglich ist“ (Mayring, 2002, S. 118).

Die Analyse der Antworten erfolgt für jedes Item und für jede Testklasse separat. Basierend auf den in Kapitel 2.2.1. beschriebenen Key Ideas sowie den zugehörigen Lernendenvorstellungen, die in Kapitel 3.3.4. bereits thematisiert wurden, werden Kategorien erstellt, die in einem ‚Kodierleitfaden‘ unter einem kurzen Titel angeführt werden (vgl. Ramsenthaler, 2013, S. 30). Ist eine Zuordnung einer Antwort in eine der Kategorien möglich, so wird der Code des jeweiligen Schülers oder der jeweiligen Schülerin im Kodierleitfaden notiert und aus der Nummer der Testklasse (1 für 4B und 2 für 4A) und der Nummer des jeweiligen Fragebogens (1-20 in der 4A Klasse und 1-21 in der 4B Klasse, die Reihenfolge ist dabei zufällig) zusammengesetzt. Gleichzeitig werden ein oder mehrere „Ankerbeispiele“ (Mayring, 2002, S. 118) im Leitfaden angeführt, welche repräsentativ für die jeweilige Kategorie sind. Dabei handelt es sich laut Ramsenthaler (2013, S. 30) um „konkrete Textstellen, die prototypisch die Kategorie beschreiben“. Die Ankerbeispiele werden paraphrasiert, um eine Definition für die jeweilige Kategorie zu erhalten (vgl. Ramsenthaler, 2013, S. 30). Für die Zuordnung weiterer Aussagen zu einer bestehenden Kategorie werden sogenannte „Kodierregeln“ (Mayring, 2002, S. 119) formuliert und ebenfalls im Kodierleitfaden festgehalten. Diese fassen diejenigen Kriterien zusammen, die eine Antwort erfüllen muss, um der jeweiligen Kategorie zugeordnet werden zu können und beginnen mit den Worten „Immer dann, wenn...“ (vgl. Mayring, 2002, S. 119). Im Zuge der Materialdurchsicht können überdies neue Kategorien erstellt werden, falls eine Antwort nicht in eine bereits bestehende Kategorie eingeordnet werden kann (vgl. Mayring, 2002, S. 119). Um die Antworten im Prä- und Post-Fragebogen miteinander vergleichen zu können, beinhaltet der Kodierleitfaden zwei unterschiedliche Spalten mit den Titeln „PRÄ“ und „POST“, in die der jeweilige Schüler_innencode eingetragen werden kann. Der nach diesen Schritten erstellte Leitfadens bietet eine Übersicht über die unterschiedlichen Vorstellungen der Lernenden und dient als Grundlage der Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse.

7. Auswertung der Unterrichtsbeobachtungen und des Feedbacks

Die Erprobung in zwei vierten Klassen am Erich Fried Realgymnasium fand unter Anwendung von Audio- und Videoaufnahmen als Mittel zur Datensammlung statt. Darüber hinaus wurden ebenfalls Daten über die positiven und negativen Aspekte sowie die Entwicklungspotentiale der Lernumgebung aus Sicht der Lehrerinnen und der Schüler_innen erhoben. Diese werden nun einer Analyse unterzogen, deren Ergebnisse anschließend interpretiert und in weiterer Folge als Ausgangspunkt für mögliche Optimierungen des Materials dienen werden.

7.1. Key Incident Analyse der Beobachtungen und Aufnahmen

Wie in Kapitel 6.3.1. bereits erläutert, orientiert sich die Auswertung der Unterrichtsbeobachtungen sowie des gesammelten Audio- und Videomaterials an der Methode der Key Incident Analyse, wobei in den Beobachtungsbögen genannte Problemstellen oder interessante Vorfälle identifiziert und mit Hilfe der Audio- und Videoaufnahmen anschließend genauer analysiert werden. Aus den verfügbaren Daten werden einige Key Incidents ohne Anspruch auf Vollständigkeit ausgewählt, die im Sinne der Optimierung der Unterrichtsmaterialien besonders interessant erscheinen. Deren Auflistung ist dabei nicht nach Testklassen, sondern vielmehr nach dem Vorkommen der einzelnen Aktivitäten im Verlauf der Unterrichtssequenz geordnet. Die Schüler_innen werden nach Geschlecht (m oder w) gekennzeichnet und anschließend durchnummeriert. Da es nicht möglich war, die Stimmen der Lernenden in den Einzelgesprächen jenen in den Unterhaltungen in den Experimentiergruppen zuzuordnen, kann die Nummerierung die tatsächliche Anzahl an Schüler_innen übersteigen, da einzelne Personen eventuell doppelt gezählt wurden.

7.1.1. Unbekanntheit des Photovoltaikbegriffs

Eine erste Schlüsselsituation ereignete sich in der 4A Klasse während des Brainstormings zum Begriff ‚Photovoltaik‘. Auf die Frage hin, welche Begriffe die Schüler_innen mit Photovoltaik assoziieren würden, nannte ein Junge „Windenergie“, was im Gelächter seiner Mitschüler_innen resultierte. Die Antwort der Lehrerin dazu lautete „Wir sind bei Photovoltaik, ja?“ Der Schüler meinte daraufhin verunsichert: „oder - das ist jetzt nur Sonne? Ok, ja ja ich – ich war mir nicht sicher, was das jetzt ...“ Frau Mag.^a Kolb erklärte dazu: „Dass die Sonnenenergie direkt übergeführt wird in elektrische Energie, darum geht’s.“ Der Schüler nickte und diskutierte daraufhin leise mit seinem Sitznachbar weiter:

- 09:56: Sm1: Ja ok, es ist nur Sonne, passt. Ich hab keine Ahnung. Ich hab wirklich keine Ahnung, ob das jetzt- Ich mein, da war ja, man sagt ja erneuerbare Energie. Ich hab keine Ahnung, was jetzt Photovoltaik – ob’s jetzt nur Sonne ist oder halt auch komplett.
- 10:11: Sm2: [unverständlich]
- 10:12: Sm1: Ja, das weiß ich jetzt, aber das wusst‘ ich vorher nicht
- 10:18: Sm2: [...] **Solar**auto, **Solar**panele
- 10:19: Sm1: Ja schon, aber ich meine es ist ja eine **Art** von erneuerbare Energie [...] Ja eh, ich hab halt keine Ahnung, ob die anderen...

Dies deutet auf ein gewisses Maß an Unsicherheit bezüglich der exakten Bedeutung des Photovoltaikbegriffs hin, wobei der Schüler offenbar nicht genau wusste, ob es sich dabei um eine Bezeichnung für erneuerbare Energie im Allgemeinen oder für die Umwandlung von Sonnenlicht im Speziellen handelt. Um herauszufinden, ob auch andere Lernende diese Schwierigkeit beim Brainstorming hatten, wurden die Audioaufnahmen der einzelnen Bankreihen berücksichtigt. Dabei wurde ersichtlich, dass diese Verständnisschwierigkeiten offenbar mehrfach in der Klasse vorkamen. Dies wird beispielsweise durch die folgende Unterhaltung zwischen zwei Schüler_innen deutlich, die auf die Frage von Frau Mag.^a Kolb folgte, welche Assoziationen die Lernenden zum Thema Photovoltaik besitzen:

- 03:48: Sw1: Keine Ahnung.
[unverständlich]
03:59: Sm3: Ich hab noch nie von ein *Fototaik* gehört
[unverständlich]
04:05: Sw2: Ich glaub, ich hab's schon mal gehört.
[...]
04:42: Sm4: [flüstert] Ich weiß nicht mal was das ist...
04:45: Sw2: Ich hab' das Wort noch nie gehört

Auch andere Schüler_innen schienen sichtlich verwirrt, wobei zwei Mädchen leise Fragen wie „Was ist das?“, „Was ist Photovoltaik?“ und „Was ist das eigentlich?“ stellten, während ein Junge meinte „Ja, ich hab' keine Ahnung, was ...“. Dies zeigt, dass der Begriff ‚Photovoltaik‘ vielen Lernenden scheinbar zu Beginn der Einheit nicht geläufig war und aus diesem Grund beim Brainstorming großer Erklärungsbedarf herrschte. Bei diesen Szenen handelt es sich um leise Gespräche zwischen einzelnen Schüler_innen. Die Aktivität wurde jedoch direkt im Plenum unter Anleitung der Lehrperson durchgeführt, indem sie die Schüler_innen nach Wortmeldungen fragte, wobei diese Verständnisprobleme nicht aufgegriffen und daher auch nicht gemeinsam geklärt werden konnten. In der 4B Klasse hingegen ergaben sich keine derartigen Probleme beim Brainstorming, da dort das Wort ‚Solarzelle‘ anstelle des Photovoltaikbegriffs im Fokus stand. Dieser Begriff schien ihnen geläufiger zu sein, da die Schüler_innen zahlreiche bedeutungsverwandte Begriffe an der Tafel notierten und aus den Audioaufnahmen keine Verwirrung auf Seiten der Schüler_innen identifiziert werden konnte.

7.1.2. Verständnisprobleme beim Filmstreifen

Im Zuge der Unterrichtsbeobachtung während der ersten Einheit in der 4B Klasse notierte eine Studentin, dass es bei der Bearbeitung des Filmstreifens auffällig war, dass viele Schüler_innen die Darstellungen vom Infoblatt einfach abgezeichnet hatten. Die dabei zu bearbeitende Aufgabe lautete:

Wiederholt mit Hilfe der folgenden Vorlage den Ablauf der Umwandlung von Licht in elektrische Energie in einer Solarzelle. Skizziert diesen Ablauf im leeren Filmstreifen und beschreibt auf der rechten Seite in euren eigenen Worten, was im Bild passiert.

Um herauszufinden, ob diese Beobachtungen Hinweise dafür darstellten könnten, dass diese Aufgabenstellung zu schwierig ist, wurden die Audioaufnahmen für diesen Zeitraum berücksichtigt. Es zeigte sich, dass viele Lernende scheinbar einige Probleme beim Ausfüllen des Filmstreifens hatten. Exemplarisch soll zunächst der folgende Austausch zwischen drei Schülern genannt werden:

- 20:22: Sm5 Wie zeichnen wir das? Wie sollen wir das formulieren? [...] Fang an, du bist doch klug.
[...]
22:15: Sm6 Hä, was sollen wir da zeichnen? Was ist das? Was ist das? Was ist das?
[...]
26:06: Sm5 Ich check das nicht.
26:07: Sm7 Ich auch nicht.
26:14: Sm6 Ich kann das nicht [...]. Ich versteh‘ das nicht.

Die Schüler hatten offensichtlich sowohl mit der schriftlichen als auch mit der grafischen Darstellung des Umwandlungsprozesses von Licht in elektrische Energie Probleme. Ähnliche Unterhaltungen fanden sich auch zwischen anderen Schüler_innen in der 4B Klasse, wobei zum Beispiel in einer anderen Kleingruppe mehrmals leise Fragen wie „Wie soll man das zeichnen?“ oder „Wie soll man das aufzeichnen?“ gestellt wurden. Ein anderer Schüler fragte „Wie mach ich das jetzt? [...] Soll ich jetzt den Text abschreiben?“ und adressierte somit explizit die Möglichkeit, die Texte für den Filmstreifen nicht selbst zu formulieren, sondern vom Infoblatt zu übernehmen, da ihm die selbstständige Formulierung aufgrund von Verständnisschwierigkeiten scheinbar nicht möglich war. Diese Probleme schienen vor allem durch die Abstraktheit des beschriebenen Sachverhaltes zu resultieren, wie die folgende Unterhaltung zwischen zwei Schüler_innen zeigt:

- 20:58: Sw3: Ich versteh‘ nicht, was wir machen müssen.
21:00: Sm8: Du musst skizzieren, wie der funktioniert... wie das –
21:01: Sw3: - aber ich weiß ja nicht, wie das aussieht.
21:04: Sm8: Ja skizzier‘ einfach so wie du’s glaubst, dass es aussieht.
21:07: Sw3: Ich versteh ja nicht mal – was muss man hier... den... Ablauf
[...]
21:52: Sw3: Könnten wir nicht theoretisch das da einfach abzeichnen?

Auch hier wurde das direkte Übernehmen von Inhalten des Infoblatts von einer Schülerin in Betracht gezogen, um die Aufgabenstellung lösen zu können. Ähnliche Schwierigkeiten konnten auch in der 4A Klasse mit Hilfe der Audioaufnahmen identifiziert werden, wobei eine Schülerin beispielsweise ihre Banknachbarin fragte, wie sie denn Silizium zeichnen solle. Auch eine Unterhaltung zwischen zwei Mädchen der 4A Klasse zeigt, welche Unsicherheit bezüglich der grafischen und schriftlichen Zusammenfassung der gelesenen Inhalte herrschten, wobei eine der beiden meinte „Wir haben jetzt ungefähr alles angestrichen“, während die andere antwortete „Ich hab‘ keine Ahnung, was ich zeichnen soll“. Dies deutet darauf hin, dass es den beiden Schülerinnen offenbar schwerfiel, die zentralen Informationen aus dem Text herauszufiltern und den zuvor gelesenen Prozess nun auch noch grafisch darzustellen. Mehrere Lernende vermittelten ähnliche Schwierigkeiten beim Identifizieren der wichtigsten Informationen des Textes. Auch die Aufteilung der Bilder stellte sich als eine

anspruchsvolle Aufgabe heraus, da vielen Schüler_innen scheinbar nicht klar war, welche einzelnen Schritte sie im Filmstreifen darstellen sollten. Ein Junge merkte an, dass sie nichts schreiben können, wenn sie nicht wissen, welche Bilder wohin gehören. Er schlug anschließend die folgende Aufteilung vor: „Im ersten Bild können wir beschreiben, aus was sie besteht. Dann im zweiten, wie’s funktioniert. Wenn die Sonne kommt, dann lösen sich diese ... und dann im dritten „durch diese Verbindung fließt dann Strom [...]“. Als ihn ein Kollege nach dem vierten Schritt fragte, sagte er, dass er in seinem Filmstreifen einfach keinen vierten Schritt abbilden würde.

7.1.3. Schwierigkeiten mit dem Infoblatt 2

Ein weiterer Key Incident ergab sich in der 4B Klasse beim Lesen des Infoblatts über Experimente in der physikalischen Forschung, wobei von einer Studentin notiert wurde, dass die Schüler_innen dabei deutlich unruhiger gewesen waren als beim vorherigen Infoblatt über die Funktionsweise der Solarzelle. Mit Hilfe der Audioaufnahmen konnte festgestellt werden, dass einige Schüler_innen unkonzentriert und desinteressiert wirkten, da sie viel mit dem Aufnahmegerät spielten. Ein Schüler meinte nach dem Lesen des Infoblatts „Ich hab keine Ahnung“ und seufzte laut, während ein anderer Junge auf die Bitte der Lehrerin hin, sich den Text ganz kurz durchzulesen, ungläubig die Worte „ganz kurz?!“ wiederholte. Im Plenum wurden die Inhalte des Infoblattes von Frau Mag.^a Schimon anschließend kaum aufgearbeitet, da sie nur sehr wenig auf Wortmeldungen im Plenum einging und die Aussagen der Schüler_innen scheinbar größtenteils auf Vermutungen und Vorwissen basierten und nicht auf dem, was sie zuvor gelesen hatten, da keine der Aussagen den Inhalten des Textes entsprach. Auf die Frage der Lehrerin „Was ist ein wissenschaftliches Experiment? Worum geht’s?“ meinte eine Schülerin „Naja vielleicht Neues zu erforschen?“, während ein Junge sagte „Manchmal kann man Forschung ein wenig verbessern, weil die Technik weiter fortgeschritten ist.“. Der dritte Beitrag lautete „Vielleicht eine Theorie zu belegen oder eben gegen- dass es nicht geht“. Nach diesen drei Meldungen ging Frau Mag.^a Schimon kurz auf die Rolle einer Forschungsfrage ein, indem sie die Notwendigkeit von Fragestellungen als Ausgangspunkt einer Untersuchung mit der Vorwissenschaftlichen Arbeit verknüpfte. Am Ende fügte sie hinzu: „Und das ist auch das, was ihr im kleinen Rahmen auch für eure Experimente machen sollt“ und ging zur Einteilung der Experimentiergruppen über.

Auch in der 4A Klasse schien es teilweise negative Reaktionen auf das Infoblatt zu geben, was beispielsweise in der folgenden Unterhaltung zwischen drei Schüler_innen der Experimentiergruppe B2 deutlich wird:

- 04:14: Sw4: Komm wir teilen Fifty-Fifty. Einer kriegt [unverständlich] dann du [unverständlich] [...]
- 04:49: Sm9: Ich will das nicht durchlesen.
- 04:53: Sw5: Ich will das auch nicht durchlesen. [lesen leise]
- 06:51: Sw5: [seufzt] Wozu brauchen wir das?
- 06:54: Sw4: Das ist die eine Frage.

Alle drei wirkten in ihrer Konversation etwas frustriert über das Infoblatt. Die Aktivität schien für sie wenig ansprechend zu sein, da ihnen einerseits der Text offenbar zu lange war und andererseits der Sinn des Geschriebenen nicht ganz klar war. Zur Reduktion des Arbeitsaufwands schlug das Mädchen daher vor, dass sie und ihr Banknachbar jeweils nur einen Teil des Textes lesen und sich dann darüber austauschen. Eine ähnliche Reaktion fand sich auch bei einem Schüler einer anderen Gruppe, der sarkastisch meinte „Wow, das war interessant“, während ein anderer Junge ebenfalls in einem gelangweilten Tonfall während des Lesens mehrmals „Sehr interessant“ wiederholte. Abgesehen von der Länge und der Attraktivität des Textes schienen auch einige der Fachbegriffe Probleme zu verursachen. Eine Schülerin fragte beispielsweise ihre Kollegin, während sie das Infoblatt lasen, ob das schon Deutsch sei.

Für das gemeinsame Bearbeiten des Infoblatts im Plenum wurde in der 4A Klasse deutlich mehr Zeit investiert als in der 4B Klasse, wobei ein Schüler gleich zu Beginn meinte „Ja als ob wir das jetzt alles nochmal lesen? Wieso? Why?“. Die einzelnen Texte wurden nochmals laut vorgelesen, wobei ein Schüler über die Begriffe ‚verifizieren‘ und ‚falsifizieren‘ stolperte, während ein anderer Junge mehrmals versuchte, ‚variiert‘ auszusprechen, dann aber scheiterte und scheinbar frustriert „Keine Ahnung“ sagte. Im Zuge der Besprechung ging Frau Mag.^a Kolb lediglich auf die Rolle der Forschungsfrage, die Bedeutung des Begriffs ‚Parameter‘ und die Notwendigkeit der Wiederholbarkeit eines Experiments ein. Im Hinblick auf die Forschungsfrage wählte sie einen ähnlichen Zugang wie Frau Mag.^a Schimon und bezog sich dabei auf die Vorwissenschaftliche Arbeit, jedoch erklärte sie die Relevanz dieser Fragestellung ausführlicher und merkte an: „Die Forschungsfrage ist sozusagen die erste Auseinandersetzung mit dem Thema und sie ist aber auch der rote Faden [...] die sollte sich dann durch die ganze Arbeit ziehen“. Bei den Parametern erinnerte sie die Schüler_innen an die Faktoren, welche die Leistung einer Solarzelle beeinflussen, wobei diese den Lernenden scheinbar nur schwer wieder in Erinnerung gerufen werden konnten, da sich hier nur wenige Wortmeldungen ergaben und viel Nachfragen durch die Lehrerin notwendig war. Die letzten beiden Absätze des Infoblatts wurden am Ende der Besprechung, scheinbar aufgrund von Zeitdruck, sehr knapp von Frau Mag.^a Schimon selbst zusammengefasst und anschließend nicht weiter besprochen.

7.1.4. Probleme beim Aufstellen einer Forschungsfrage

Eine weitere Schlüsselszene ereignete sich während der Messplanung in der Gruppe B2 der 4A Klasse. Dabei stellte sich der Planungsprozess als relativ frustrierend heraus, da die Schüler_innen Schwierigkeiten damit hatten, eine Forschungsfrage zu formulieren. Zunächst gab es scheinbar Verständnisprobleme, da die Bestrahlungsstärke als Eigenschaft der Solarzelle beschrieben wurde:

- 28:11: Sm9: Was genau wollt ihr herausfinden?
28:15: Sw5: Was die Bestrahlungsstärke ist?
[...]
28:43: Sm10: Wir wollen herausfinden, was Bestrahlung und Solarzellenleistung ist. Kann vielleicht echt stimmen.

- 28:52: Sw4: Viellei- ja... Diese Frage, wieviel Lichtenergie pro Sekunde auf eine bestimmte Oberfläche trifft, ist das unsere Forschungsfrage?
- 29:01: Sm10: Schreiben wir einfach beide Möglichkeiten hin.
- 29:05: Sw4: Was war deine?
- 29:06: Sm10: Was Bestrahlungsstärke und Solarzellenleistung ist.
- 29:15: Sm9: Ja wir können einmal dieses „wieviel Lichtenergie pro Sekunde auf eine bestimmte Oberfläche trifft“ schreiben.
[...]
- 29:29: Sw4: Stopp, nein, das stimmt nicht. Nehmen wir die erste Frage: Was ist Bestrahlungsstärke und Solarzellenleistung?
[...]
- 31:07: Sw4: Was ist, wenn wir uns fragen, wie viel... wie viel Bestrahlungsstärke eine Solarzelle maximal haben kann?
[...]
- 31:23: Sw4: Wie wärs mit ner anderen Frage? Wie viel Bestrahlungsstärke eine Solarzelle maximal ertragen kann? Ist das logisch?
- 31:33: Sm9: Ich glaub. Ich weiß es nicht.
- 31:34: Sw4: Ja machen wir das.

Diese Diskussion wurde noch eine Zeit lang weitergeführt, dann beschlossen die Schüler_innen der Experimentiergruppe schließlich, eine andere Forschungsfrage zu wählen:

- 31:47: Sm10: Wir können ja auch irgendwie was ganz Simple nehmen, zum Beispiel...aber das können wir nicht messen, das ist das einzige Problem. Also sowas wie äääähm... wie lang eine Solarzelle – Ding- braucht, um ein Auto aufzuladen, oder sowas. Ein Elektroauto.
- 32:06: Sw4: Das wär cool, das wär cool.
- 32:08: Sm9: Ja wir können halt ... herausfinden wieviel Energie ein Auto braucht und dann ähm schauen wie viel wie...
- 32:14: Sw4: Das mit dem Handy könnten wir machen.
- 32:15: Sm10: Ja das könnten wir sogar messen.
[...]
- 32:23: Sw4: Ja, wieviel Bestrahlungsstärke ein Handy braucht, um aufgeladen zu werden.
- 32:27: Sm10: Ja genau, und dann noch wie schnell es aufgeladen wird, mit so und so viel Bestrahlung.
[...]
- 32:38: Sm9: Nicht, wieviel Solarenergie ein Haus braucht?
- 32:40: Sw4: Aber mit dem Handy - das können wir ja... mit'm Handy können wir's machen.
[...]
- 32:49: Sw4: Wieviel Bestrahlungsstärke ein Handy braucht... [schreibt] und wie lange es dauert, kann man das so schreiben?
- 33:12: Sm9: Ich schreib jetzt grad wieviel Bestrahlungsstärke braucht es, um ein Handy schnell aufzuladen.

Diese Unterhaltung zeigt nur einen kleinen Ausschnitt des gesamten Planungsprozesses, im Zuge dessen die Schüler_innen einen Versuch planen wollten, um herauszufinden, wie lange es dauert, ein Smartphone bei einer bestimmten Bestrahlungsstärke aufzuladen. Dieser wäre jedoch im Rahmen der vorgesehenen Experimente sowie der verfügbaren Materialien nicht durchführbar gewesen. Die aufgestellte Fragestellung wurde aber nicht gemeinsam mit der Lehrerin direkt zu Beginn besprochen, sondern lediglich am Ende des gesamten Planungsprozesses verglichen, weshalb diese Gruppe im Zuge der Messplanung keine realistische Forschungsfrage und auch keine richtige Hypothese über den

Ausgang ihres Experiments und keine konkrete Planung aufstellen konnte. Aus diesem Grund mussten sie während der Durchführung der Experimente eine neue Forschungsfrage aufstellen und ohne Planung arbeiten.

Auch in der 4B Klasse gab es Probleme beim Aufstellen einer Forschungsfrage hinsichtlich des Einflusses der Bestrahlungsstärke auf die Solarzellenleistung, die mit Hilfe der vorgesehenen Experimente beantwortbar ist. Hier ergab sich ebenfalls eine Diskussion in der B2 Gruppe bezüglich der aufzustellenden Frage. Einer der Schüler meinte dabei „Meine Frage wäre wie stark ist...sind die Strahlen der Bestrahlungsstärke“, wobei sein Kollege der Meinung war, es würde dabei um die maximale Leistungsabgabe der Solarzelle gehen. Er setzte sich schließlich durch mit der Aussage „Nein! [...] Wie intensiv [...] wie stark muss eine Solarzelle bestrahlt werden, damit man die maximale Leistungsausgabe heraus...holt. Fertig“. Daraus ergab sich die Hypothese „Wir erwarten, die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle zu erreichen“. Sowohl die formulierte Fragestellung als auch die daraus aufgestellte Hypothese wurde von Frau Mag.^a Schimon nicht kommentiert. Schlussendlich hatte die Frage nichts mit dem eigentlichen Experiment zu tun, in dem sie mit unterschiedlichen Wolken oder Abständen arbeiten sollten und nicht die Möglichkeit gehabt hätten, die maximale Leistungsabgabe ihrer Solarzelle zu bestimmen. Auch die F2 Gruppe der 4A Klasse hatte scheinbar Schwierigkeiten beim Aufstellen einer Forschungsfrage, da sie die gesamte Zeit für die Planung damit verbrachten, sich zu überlegen, was sie genau mit Hilfe ihres Experiments herausfinden wollen. Die Lehrerin hatte an der Tafel notiert, dass es bei den Versuchen um die Leistung geht, weshalb die Schüler_innen der Gruppe relativ schnell annahmen, dass es sich beim Experiment um die Untersuchung der Leistung und der Lichtfarbe handeln würde. Sie scheiterten jedoch beim Formulieren einer entsprechenden Frage und wählten eine andere Forschungsfrage, die jedoch nichts mehr mit der Lichtfarbe zu tun hatte:

- 29:15: Sw6: Okay, was wollen wir wissen.
29:17: Sw7: Ja wir müssen ja irgendwas mit F wissen, oder? Farbspektrum.
[...]
29:52: Sm11: Wir wollen auch die Solarzellenleistung wissen, das wollen wir auf jeden Fall. Was wollt ihr konkret messen? Wir müssen...was genau wollen wir wissen, was ist die Forschungsfrage?
[...]
31:21: Sw7: Die wollen wissen, wie viel Leistung... Oh ja, steht an der Tafel.
31:28: Sm11: Wollen wir nicht einfach die Farbe des Lichtes nehmen?
31:30: Sw7: Es steht an der Tafel, worum es geht. Okay dann... ähm... wie viele Solarzellen brauchen wir, um...
31:43: Sw6: Eine Mikrowelle, nein, einen Fernseher?
31:48: Sm11: Machen wir eine Glühbirne, das ist das einfachste.
31:50: Sw6: Nein, das ist zu einfach
31:57: Sw7: Ok machen wir Glühbirne. Wie viel Solarzellen braucht man...
32:01: Sw6: ...ja, um die Leistung einer Glühbirne zu bewerkstelligen.
[schreiben]
32:40: Sm11: Kann man nicht einfach machen „um eine Glühbirne zum Leuchten zu bringen“?
[...]
32:58: Sw6: [schreibt] ...die Leistung einer Glühbirne zu...
33:02: Sw7: ... zu bewerkstelligen, zu garantieren oder was auch immer.

- 33:09: Sm11: Warum nicht zu messen?
[...]
- 33:16: Sm11: Warum Leistung einer Glühbirne, warum können wir nicht einfach „um eine zum Leuchten zu bringen“?
- 33:27: Sm12: Das ist was anderes.
- 33:32: Sw7: [schreibt und liest vor] Wie viele Solarzellen braucht man, um eine Glühbirne zum Leuchten zu bringen?
[...]
- 34:58: Sm12: Welches Ergebnis erwartet ihr? Was erwarten wir? Ich glaub‘ man braucht so 2 Solarzellen.
[...]
- 35:30: Sw6: Dass eine Glühbirne ziemlich wenige Solarzellen braucht, das erwarten wir, oder?

Der gesamte restliche Planungsprozess baute auf dieser Frage auf und war daher für die späteren Experimente nicht nutzbar, da der Versuch so nicht durchführbar gewesen wäre. Direkt anschließend an diese Szene fragte eine Schülerin der Gruppe die Lehrerin, ob ihr Vorhaben realisierbar sei, wobei sie diese auf den späteren Vergleich im Plenum verwies und nicht weiter auf ihre Forschungsfrage einging. Nachdem sie gegen Ende der Einheit den ersten Hinweis gelesen hatten, formulierten sie schließlich eine passende Forschungsfrage. Da sie so lange dafür gebraucht und zunächst entlang einer nicht durchzuführenden Ausgangsfrage geplant hatten, hatten sie anschließend jedoch nur sehr wenig Zeit, um vor dem Experimentieren eine ausführliche Planung ihres Versuchs zu erstellen.

7.1.5. Hinweise ident zu den Fragestellungen auf dem Arbeitsblatt

In der 4B Klasse konnte im Zuge der Messplanung in der Gruppe W2 eine weitere interessante Situation beobachtet werden. Dabei holte ein Schüler eine Hilfekarte, um Unterstützung zur Beantwortung der zweiten Frage auf dem Arbeitsblatt zu erhalten. Während er vom Pult zurücklief, begann er bereits, die Karte in seiner Hand durchzulesen. Verwundert sagte er laut: „Aber das steht ja aufm Zettel auch drauf! Hä? [Zur anderen Gruppe] Das was auf dieser Hilfe draufsteht steht aufm Zettel drauf! Als er zurückkam, fragte ihn ein Mädchen aus der Gruppe: „Und, hast du eine Antwort bekommen?“ Seine Antwort darauf lautete: „Ne, da steht genau dasselbe drauf. Also, so in etwa,“ Sie machten daraufhin mit der nächsten Aufgabe weiter. Dieselben Gruppenmitglieder holten sich später einen weiteren Hinweis und hatten erneut dasselbe Problem, wobei der Junge wieder bemerkte: „Da steht eins zu eins dasselbe oben“.

Ähnliche Schwierigkeiten ergaben sich auch in der 4A Klasse, was durch Reaktionen auf die Hilfekarten wie „Das ist doch ´ne Verarsche, das steht genau da!“ oder „He des ist...des is so...Das bringt niemandem was!“ gezeigt wird. In der W1 Gruppe holte eine weitere Schülerin den ersten Hinweis, wobei ihre Gruppenkollegin verwundert anmerkte: „Hä? Das ist einfach die Frage!“. Als das Mädchen, dass die Hilfekarte geholt hatte, diese den anderen Gruppenmitgliedern gab, kommentierten auch zwei Jungen in der Gruppe den Hinweis mit „Das ist halt die Frage“. Diese Aufnahmen zeigen, dass die Ähnlichkeit der Hinweise mit den Fragestellungen auf dem Arbeitsblatt offensichtlich als wenig hilfreich empfunden wurde.

7.1.6. Probleme mit den Lösungstexten der Lernhilfen

Die Audioaufnahmen des zuvor beschriebenen Key Incidents in der 4B Klasse, in dem ein Schüler der Gruppe W2 eine Hilfekarte geholt und frustriert festgestellt hatte, dass sich darauf derselbe Text fand wie auf dem Arbeitsblatt, gaben Aufschluss über den weiteren Verlauf der Situation in der Experimentiergruppe. Dabei hatten die Schüler_innen die entsprechende Lösungskarte geholt:

Wir sollen gemeinsam ein Experiment planen und durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie sich die Bestrahlungsstärke auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle auswirkt. Wir werden dafür die Bestrahlungsstärke bei der Messung verändern, um herauszufinden, wie sie die Leistung der Solarzelle dadurch verändert.

Diese wurde von einem der Schüler der Gruppe vorgelesen, woraufhin sich die folgende Unterhaltung entwickelte:

- 34:54: Sm13: So viel zur Lösung es steht ein halber Roman drauf!
[lesen leise]
35:12: Sm13: Ja das haben wir aber auch aufgeschrieben.
35:14: Sm14: Nur deutlich verkürzt.
35:18: Sm13: Ja. Aber die Frage soll ja verkürzt sein, da schreib ich ja nicht so einen Satz hin.

Der Lösungstext zu Hinweis 1 war für die Schüler_innen offenbar deutlich zu lange. In der Gruppe F1 ergab sich eine ähnliche Reaktion im Hinblick auf denselben Lösungstext, wobei eine Schülerin meinte: „Wir haben eh das gleiche, nur stark vereinfacht“ und ein Schüler aus derselben Gruppe hinzufügte: „Sehr stark vereinfacht.“ In der 4A Klasse konnte eine ähnliche Situation im Hinblick auf die Lösungskarte 2 identifiziert werden, die den folgenden Text enthält:

Es gibt noch eine Reihe anderer Faktoren, die einen Einfluss auf die elektrische Leistung einer Solarzelle haben.

- *Die Bestrahlungsstärke, also die Intensität des Lichts, das auf die Solarzelle trifft*
- *Der Einstrahlwinkel des Lichts*
- *Abschattung durch Objekte, die im Weg stehen*
- *Verschmutzung der Solarzelle*
- *Die Temperatur der Solarzelle*
- *Der Widerstand, der sich im Stromkreis befindet.*

Wir müssen darauf achten, dass sich diese Faktoren nicht verändern

Ein Schüler reagierte auf diesen Text mit der Aussage „Okay, und jetzt nochmal auf Deutsch, bitte“, nachdem sein Kollege die Lösung auf der entsprechenden Karte vorgelesen hatte.

7.1.7. Verwirrung bei der Nummerierung der Hilfekarten

Auf Basis der oben beschriebenen Vorfälle wurde im Audiomaterial nach weiteren Hinweisen auf mögliche Probleme mit den Hilfe- und Antwortkarten gesucht. Dabei konnte in der 4B Klasse eine

augenscheinliche Schwierigkeit in der Experimentiergruppe W1 im Hinblick auf die Nummerierung der Karten identifiziert werden:

- 33:18: Sw8: Das heißt, wir brauchen die nächste. Die Lösung von der zweiten.
33:27: Sw9: [liest laut vor] Überlege, welche Faktoren einen Einfluss auf die Messung haben könnten. Das ist das da. [liest weiter] Das ist Hinweis 4!
33:45: Sw8: Hä?
33:50: Sw9: Ich schau mal nach vorne.
[...]
34:40: Sm15: Du hast jetzt Hinweis 5! Können wir uns auch alle holen?
[...]
35:06: Sw9: So, dann ist da die Lösung von Hinweis 1.
35:19: Sw8: Aber das macht doch gar keinen Sinn!
35:20: Sw9: Ja, wirklich nicht!
35:22: Sm15: Was macht keinen Sinn?
35:24: Sw9: Wir müssen darauf achten, welche Faktoren sich nicht ändern. Das ist Frage 4!
[...]
36:47: Sw9: Das sagt gar nichts aus, das ist Frage... das ist...
36:52: Sw8: Das hängt gar nicht zusammen.
[...]
37:06: Sw9: Ja, aber die passen nicht zusammen. Das ist ja nicht unsere Frage. Hey, du musst das lesen – das ist nicht unsere Frage.
[...]
42:00: Sw9: Ah, vielleicht sind die Hinweise nicht auf die Nummern zugewiesen, sondern auf die Hinweise.
42:04: Sm15: Das würd' aber wenig Sinn machen, warum steht denn 'ne Nummer da?

Diese Szene fand gegen Ende des Planungsprozesses statt und konnte in mehreren anderen Experimentiergruppen in ähnlicher Form identifiziert werden. Es scheint, als ob die Schüler_innen davon ausgingen, dass die Hilfen analog zu den Fragen auf dem Arbeitsblatt nummeriert seien und aus diesem Grund verwirrt waren, als sie keine passende Antwort auf der entsprechenden Karte fanden. Dieselbe Annahme wurde scheinbar auch in der Gruppe F1 getroffen. Diese bearbeiteten gerade die zweite Frage, woraufhin ein Schüler fragte: „Hol'ma schon eine [Hilfekarte]?“ Seine Mitschülerin antwortete daraufhin mit „Ja, nimm mal die zweite“.

Analog zur 4B ergaben sich auch in der 4A Klasse Probleme mit der Nummerierung der Hilfekarten, da hier ebenfalls von den meisten Schüler_innen angenommen wurde, die Kartennummern würden der jeweiligen Aufgabennummer entsprechen. Dies stiftete in einigen Gruppen Verwirrung. Die Gruppe B2 bearbeitete die zweite Frage auf dem Arbeitsblatt, die lautete:

Was wollt ihr konkret messen?

Welche Größen/Parameter können gemessen werden?

Welcher Parameter soll variiert werden?

Eine Schülerin holte die zweite Lösungskarte für die Beantwortung dieser Frage. Nach dem Lesen dieser Karte beschwerte sie sich bei ihren Gruppenmitgliedern: „Das ist doch keine Antwort!“ Ein Junge aus ihrer Gruppe fragte dabei unschlüssig: „Ist das die Antwort für was wollt ihr konkret messen? Ich mein

wir werden doch nicht den Einstrahlwinkel oder die Abschattung messen oder?“. Ein ähnlicher Fall ergab sich dabei auch in W1 Gruppe der 4A Klasse:

- 40:15: Sm16: [liest die Lösungskarte zu Hinweis 4 vor]
40:25: Sw10: Das hat ja trotzdem irgendwie keinen... Ich versteh das nicht ganz.
40:28: Sm16: Ja es hat ja nich' irgendwas mit der 4 zu tun, oder?
40:30: Sw10: Ja is' ja so, es hat echt nichts mit der 4 zu tun.

Diese Missverständnisse führten in weiterer Folge zu Verzögerungen im Planungsablauf und resultierten in Unsicherheiten bezüglich der Antworten auf die einzelnen Fragen im Arbeitsblatt.

7.1.8. Schwierigkeiten mit dem Parameterbegriff

Ein weiterer Key Incident wurde in der 4B Klasse im Zuge der Messplanung beobachtet. Die Gruppe B2 bearbeitete dabei erneut die zweite Aufgabe auf dem Arbeitsblatt. Ein Schüler fragte dabei: „Was ist ein Parameter?“, woraufhin sein Kollege ihm erklärte: „Ein Parameter ist die... glaub ich die Größeneinheit, oder? [...] Zum Beispiel bei Längenmaßen Meter oder so.“ Die Frage des Schülers deutet auf mögliche Verständnisprobleme im Hinblick auf den Parameterbegriff im Arbeitsblatt hin. Auch die Erklärung des Mitschülers entspricht nicht unbedingt der physikalisch korrekten Definition des Terms, sondern er beschreibt Parameter lediglich als ein Synonym für Größeneinheit. Diese Unterhaltung beschränkt sich jedoch keinesfalls auf diese Planungsgruppe, denn in der Gruppe T spielte sich beinahe exakt dieselbe Situation ab, wobei ein Schüler fragte: „Was sind nochmal Parameter?“ und eine Gruppenkollegin daraufhin meinte: „Parameter sind die Einheiten, in denen das gemessen wird.“ Ein weiteres Beispiel für Schwierigkeiten mit dem Parameterbegriff konnte in der Gruppe F1 der 4B Klasse identifiziert werden:

- 41:14: Sw11: Was ist nochmal ein Parameter?
41:18: Sw12: Ja Parameter sind ja die Messungsfehler.
41:20: Sw13: Nein, Parameter ist die Größe.
41:23: Sm17: Die Größe von der Stromstärke oder? Und die Größe vom Volt.

Die Schüler_innen assoziierten den Term nicht nur mit physikalischen Einheiten, sondern auch mit Messunsicherheiten, wobei sich beides in diesem Zusammenhang als ungünstig erweist, da die Definition nicht dabei hilft, die Fragestellung zu bearbeiten. Analog dazu gab es auch in der 4A Klasse Verständnisprobleme im Hinblick auf den Parameterbegriff, da auch hier mehrere Aussagen wie „Ich versteh' immer noch nicht, was es heißt, einen Parameter zu variieren“ oder Fragen wie „Was ist ein Parameter?“ oder „Was sind Parameter?“ in den Aufnahmen zu hören waren.

7.1.9. Annahme: Eine Solarzelle liefert 0,5 Volt

Eine Schlüsselszene, die sich in ähnlicher Form wiederholt in der 4A und der 4B Klasse ergab, bezieht sich auf einen Satz im Infoblatt 1, der von mehreren Schüler_innen im Zuge der Planung und der Durchführung ihrer Experimente wieder aufgegriffen wurde, nämlich: „*Eine Solarzelle erzeugt nur eine sehr kleine Spannung (ungefähr 0,5 V)*“. Beim Experimentieren in der 4B Klasse gingen die Schüler

der Gruppe B1 beispielsweise davon aus, dass sich der Elektromotor nicht drehe, weil ihre Solarzelle nur 0,5 Volt liefere. Auch in der Gruppe F1 der 4B wurde angenommen, dass die Spannung der Solarzelle im Zuge ihres Experiments konstant 0,5 Volt betrage. Eine Schülerin stellte dabei die Frage: „Ja Leistungsstärke das ist die Frage... müssen wir die Stromstärke oder die Stromspannung messen?“, wobei ihr ein Kollege entgegnete: „Is‘ ja egal, wir müssen ja beides. [...] auf jeden Fall sind das die 0,5V die auftreten“. In der F2 Gruppe derselben Klasse wurde dieser Wert sogar mit der Leistung und nicht mit der Spannung assoziiert, da ein Schüler meinte „Die Leistung ist 0,5. Hat sie ja gesagt“. Er traf somit scheinbar die Annahme, dass eine Solarzelle liefere eine Leistung von 0,5 Watt und nannte dies als Argument für seine Annahme, dass die Leistung im Verlauf des Experiments nicht mit Hilfe von Messgeräten bestimmt werden müsse, sondern konstant sei. Daher blieb seiner Meinung nach lediglich die Bestrahlungsstärke als zu messender Parameter übrig. Etwas später bezog sich ein anderer Schüler derselben Experimentiergruppe erneut auf diesen Wert von 0,5, diesmal jedoch in Bezug auf die Spannung einer Solarzelle, indem er betonte: „[...] weil wir haben letztes Mal ja gesagt, eine Zelle hat normalerweise ja 0,5V. [unverständlich] Das heißt, wenn wir das jetzt mit verschiedenen Spannungen ausprobieren können wir sehen, ob’s [unverständlich]“, während sein Kollege antwortete „Ja aber... wie sich das Volt verändert, ja...“ Auf Basis der Informationen aus dem Infoblatt 1 nannte der Schüler lediglich die elektrische Spannung als die zu messende Größe. Obwohl er anmerkte, dass eine Solarzelle normalerweise eine Spannung von einem halben Volt liefere, schien er dies keinesfalls als einen fixen Wert anzusehen, sondern als einen veränderbaren Parameter, im Zuge dessen Variation sie mehr über ihre Forschungsfrage herausfinden können. Die Gruppe B1 der 4B Klasse kam ebenfalls im Zuge der Messung wieder auf den Wert von 0,5 Volt zurück. Dabei schien ein Schüler der Gruppe unsicher, ob die von ihnen aufgenommenen Werte realistisch sind oder nicht:

- 49:00: Sm18: Nein, aber auf diesem einen Blatt stand doch, dass eine Solarzelle – nein – dass eine Solarzelle nur 0,5V hat. Das ergibt ja dann keinen Sinn.
 49:13: Sm19: Vielleicht ist das so ´ne spezielle, die liefert 6.
 49:16: Sm18: Hä, aber das ergibt –
 49:17: Sm20: [unverständlich]
 49:19: Sm19: Hängt vom Licht ab. Keine Ahnung.
 49:23: Sm18: Hä das muss dann ein Solarmodul sein.

Aufgrund dieser mangelnden Übereinstimmung mit den vorherigen Informationen vom Infoblatt 1 ergaben sich offenbar Unsicherheiten bezüglich der Richtigkeit ihrer gesammelten Daten sowie der Annahme, dass sie mit einer einzelnen Solarzelle arbeiten würden. Auch ein Schüler der Gruppe B2 der 4A Klasse merkte im Zuge der Versuchsplanung an: „Es stand ja auf dem Zettel, dass eine Solarzelle ca. 0,5V liefert“. Bei der Durchführung der Experimente verwies ein Mädchen derselben Gruppe erneut auf den Wert von einem halben Volt, als sie sich uneinig waren, welchen Anschluss und welche Messbereiche sie für die Spannungsmessung am Multimeter wählen sollten.

7.1.10. Schwierigkeiten bei der Auseinandersetzung mit dem Messgerät

Eine weitere Situation, die zunächst in der 4B Klasse und anschließend auch in der 4A Klasse in leicht abgewandelter Form mehrfach während der Versuchsdurchführung beobachtet werden konnte, ereignete sich im Zuge der Auseinandersetzung mit den zu verwendenden Messgeräten, die aus den folgenden zwei Aufgabenstellungen bestand:

1. *Macht euch mit den Messgeräten vertraut. Wie könnt ihr das Messgerät einschalten, wie die geeignete Messgröße wählen? Welche Messbereiche werdet ihr einstellen, damit das Gerät nicht beschädigt werden kann?*
2. *Welche Ablesegenauigkeit ist möglich? Entspricht sie der Genauigkeit des Messgeräts?*

Unter den beiden Punkten fand sich jeweils ein leeres Feld für Notizen. In der 4B Klasse schienen alle Gruppen Probleme mit dieser Aufgabe zu haben. Eine interessante Unterhaltung dazu ergab sich dabei zum Beispiel in der Gruppe B2:

- 23:38: Sm19: Welche Messbereiche werdet ihr wählen, damit das Gerät nicht beschädigt werden kann? Mach mal ne Skizze damit geht das am besten, glaub ich.
- 23:46: Sm18: Wir sollen das jetzt nicht ernsthaft aufschreiben, wie das Gerät nicht beschädigt werden kann?
- 23:50: Sm19: Nein, wie das Gerät funktioniert.
- 23:54: Sm18: Das wissen wir doch auch so.
- 23:55: Sm19: Ja trotzdem [unverständlich].
- 23:58: Sm18: Was sollen wir denn aufschreiben?
- 24:00: Sm19: Frag nich' mich.
[...]
- 27:22: Sm18: [liest] Welche Ablesegenauigkeit ist möglich? Entspricht sie der Genauigkeit des Messgeräts?
- 27:27: Sm18: Was heißt denn das? Das ist widersprüchlich.
- 27:29: Sm20: Welche Ablesegenauigkeit... also es geht ja 5,03-
- 27:32: Sm19: Wie genau ist das?
- 27:35: Sm20: Auf zwei Nachkommastellen.
- 27:39: Sm19: Und entspricht sie der Genauigkeit des Messgeräts? Was soll das heißen?
[...]
- 29:44: Sm18: Drei Nachkommastellen, also schon halbwegs.
- 29:48: Sm19: Ja es ist nicht genau... ganz genau aber...
- 29:51: Sm18: Ich würd' sagen mindestens ein Volt weniger mal durch die Kabel von ähm... ähm... Steckdose zu Lampe. Von Lampe zur Dings könnt's nochmal weniger sein, weil...
- 30:10: Sm20: Ja schreiben wir einfach nein hin, ok?

Zunächst war den Schüler_innen scheinbar unklar, ob und warum sie überhaupt aufschreiben mussten, wie sich das Gerät einschalten lässt und wie sie die geeignete Messgröße wählen können, da sie das ja so oder so auch ohne Aufschreiben wüssten. Die Frage zur Ablesegenauigkeit erschien bereits etwas klarer, wobei sich anschließend Probleme mit dem Begriff ‚Genauigkeit des Messgeräts‘ ergaben. Die Schüler_innen der Gruppen improvisierten daraufhin und nahmen an, dass es sich bei diesem Vergleich um die Ermittlung des Spannungsverlustes durch den Innenwiderstand der Kabel und der Messgeräte handelt. In der Gruppe W1 derselben Klasse wirkte ein Schüler bereits sehr erfahren im Umgang mit

den Messgeräten, da er die ersten beiden Fragen sehr schnell beantworten konnte und seinen Kolleginnen anschließend seine Lösung vorlas: „Also ich habe geschrieben erst mal auf die gewünschte Einheit einstellen. Das Messgerät besitzt eine Autorange Funktion. Ich hoff^e ich muss das nicht genauer erklären... Und bei den Messbereichen Volt und Milliampere, weil ich nehm^e nicht an, dass eine Solarzelle in der Größe mehr als ein Ampere ausgibt. [...]“. Jedoch blieb auch in dieser Gruppe die zweite Frage unbeantwortet, wobei der Junge lediglich seufzte: „Ja, wenn ich das Datenblatt vom Multimeter hätt^e!“ Ein Mädchen der Gruppe merkte noch an: „Ja vielleicht [unverständlich] mit Kommastellen wird's ja immer genauer“, jedoch wurde eine Lösung zur Frage, ob die Ablesegenauigkeit der Genauigkeit des Messgeräts entspricht, anschließend nicht weiter verfolgt. Auch in der Gruppe F2 der 4B Klasse ergaben sich Verständnisprobleme, da hier davon ausgegangen wurde, bei den einzustellenden Messbereichen handle es sich um Gleichstrom oder Wechselstrom:

- 17:43: Sm21: Nein, da steht wie könnt ihr das Gerät einschalten, wie eine geeignete Messgröße wählen. Wir machen Voltmeter. Alles klar.
 17:50: Sm22: [lacht] Na das Voltmeter schalten wir parallel und das Amperemeter schalten wir in Serie.
 18:00: Sm21: Ja aber die Frage ist halt trotzdem... das ist ja keine Antwort, da steht ja nicht welches Messgerät verwenden wir, sondern welche Messbereiche werdet ihr einstellen damit das Gerät nicht beschädigt werden kann und so. [...]
 18:14: Sm22: Wir brauchen- wir brauchen Gleichstrom.

Diese Gruppe beachtete die Aufgabenstellung anschließend ebenfalls nicht mehr weiter und begann direkt mit dem Aufbau des Versuchs. In der Gruppe T der 4B Klasse ergaben sich ähnliche Verständnisprobleme im Hinblick auf die Auseinandersetzung mit dem Messgerät:

- 25:19: Sm23: Also Thermometer hält 1,5 Volt aus, Widerstand maximal 35 Volt und das Ding da 12 Volt. [...]
 25:28: Sw13: Ich glaub das kommt ins erste Kästchen. [...]
 25:51: Sm23: Steht das, dass wir das dahin schreiben sollen?
 25:55: Sw13: Lies^e drüber. [liest Aufgabenstellung vor] Welche Messgeräte werdet ihr einschalten, damit das Gerät nicht beschädigt werden kann? Widerstand maximal 35 Volt... [...]
 27:09: Sm24: Ja Widerstand 12 Volt.
 27:11: Sm25: Nein, maximal 35.
 27:12: Sm24: Ja und dann darunter 12 Volt.

Die Schüler_innen schienen sehr unsicher darüber, was sie genau in die erste Leerstelle schreiben sollten und entschieden, dass es sich um die Spannung handle, die jedes Gerät ‚aushält‘ – d.h. der maximal zulässige Spannungswert, unter dem das Gerät erwartungsgemäß und gefahrenlos funktioniert, und der auf dem jeweiligen Gerät notiert ist. Ein Mädchen in der Gruppe wiederholte etwas später nochmals die Frage „Welche Ablesegenauigkeit ist möglich?“, erhielt jedoch keine Antwort von ihren Gruppenmitgliedern. Die Fragestellung wurde nicht mehr thematisiert und die jeweiligen

Spannungswerte aus der obigen Unterhaltung im Arbeitsblatt notiert. Mehrere Experimentiergruppen ließen die gesamte Phase 2 zunächst aus und kehrten entweder am Ende ihrer Messungen zur Aufgabenstellung zurück oder ignorierten sie überhaupt vollständig. Beispielsweise fragte ein Mädchen ihren Gruppenkollegen „Weißt du, was man da oben schreiben muss? So eine komische Frage“. Sie bekam jedoch keine eine Antwort und ging anschließend auch nicht mehr auf die Aufgabenstellung ein.

Analoge Probleme ergaben sich auch in der 4A Klasse, obwohl hier Herr Mag. Göbel zuvor im Zuge der Besprechung der Versuchsplanungen bereits kurz auf die Messgeräte und die Wahl der geeigneten Messgrößen eingegangen war. Die Gruppe W1 wusste beispielsweise nicht, worum genau es sich bei den Begriffen ‚Ablesegenauigkeit‘ und ‚Genauigkeit des Messgeräts‘ handelt und suchten deshalb bei den Hilfekarten nach weiteren Hinweisen. Sie mussten jedoch feststellen, dass es für diese Aufgabe keine Lösung gibt:

- 1:09:19: Sw10: [liest halblaut] Die Ablesegenauigkeit... entspricht sie der Genauigkeit des Messgeräts? [...] Zweite Frage – gibt's das bei den Hinweisen? Bei den Hinweiskarten?
- 1:09:33: Sw14: Ich schau mal kurz.
[Sw2 holt einen Hinweis und kommt zurück]
- 1:10:18: Sw14: Nee gibt's nicht.
- 1:10:20: Sw10: Gibt's nicht?
- 1:10:21: Sw14: Das nächste ist- da steht dann schon das mit der Tabelle aber vielleicht kommt's danach noch.
- 1:10:25: Sw10: Na, glaub nicht. Was ist denn das für ein Scheiß? Welche Ablesegenauigkeit ist möglich?
- 1:10:33: Sw14: Vor allem welche Ablesegenauigkeit? Woher soll ich wissen, wie genau das jetzt ist? Warte mal, Ablesegenauigkeit und Genauigkeit des Messgeräts?
- 1:10:48: Sw10: Hä ja ich versteh's auch gar nicht.

Sie gingen anschließend nicht mehr auf die Aufgabe ein und machten mit dem Versuchsaufbau weiter. Auch in der Gruppe W2 hatten die Schüler_innen Schwierigkeiten mit der Aufgabe, wobei sie nach einiger Diskussion Millivolt und Milliampere als jene Messbereiche wählten, bei denen das Messgerät auf keinen Fall beschädigt werden kann, und gaben an, dass die Ablesegenauigkeit der Genauigkeit des Messgeräts entspräche. Die beiden Gruppen B1 und B2 beachteten die Aufgabe kaum, notierten jedoch im Zuge des Experiments zumindest die verwendeten Messbereiche. Eine Schülerin der Gruppe B2 las die Frage „Welche Ablesegenauigkeit ist möglich, entspricht sie der Genauigkeit des Messgeräts?“ und wirkte sogleich frustriert: „Man liest ja vom Messgerät ab, es ist... es ist unlogisch“. Auch einer ihrer Kollegen schien verwirrt: „Woher sollen wir das wissen?! Soll'ma da jetzt schreiben auf vier Kommastellen?“ Schlussendlich taten sie genau das und beschäftigten sich nicht weiter mit der Genauigkeit des Messgeräts. Auch die restlichen Gruppen hatten Probleme mit dem Begriff der Ablesegenauigkeit, wobei eine Schülerin der Gruppe F1 beispielsweise meinte: „Die Ablesegenauigkeit ist schwer möglich, da es zwischen den ähm verschiedenen Mess-... da es große Intervalle als Abstand sind [...]“. Auch die restlichen Lernenden der Gruppe gingen davon aus, dass die Ablesegenauigkeit dem kleinsten einstellbaren Messbereich entspräche. Sowohl in der 4A als auch in der 4B Klasse sorgte

die Phase 2 des Arbeitsblatts somit größtenteils für Missverständnisse und Unklarheiten, wobei die Schüler_innen in diesen Fällen nicht auf Hilfekarten zurückgreifen konnten und somit entweder auf die Hilfe der Lehrpersonen, auf ihr eigenes Vorwissen oder auf reines Raten angewiesen waren.

7.1.11. Unsicherheit bezüglich Schaltskizze, Tabelle und Koordinatensystem

Ein weiterer interessanter Aspekt, der während der Planung der Experimente in beiden Testklassen aufkam, ist die Tatsache, dass einige Schüler_innen bei Aufgabe 5 des Arbeitsblatts zur Planung nicht wussten, ob sie eine Schaltskizze zeichnen sollen oder nicht:

Wie wollt ihr konkret messen?

Wie wollt ihr das Experiment konkret aufbauen?

Was braucht ihr dafür? Wie werde ihr konkret vorgehen?

In der 4A Klasse fragte ein Junge aus Gruppe B1 „Sollen wir beim [unverständlich] auch einen Schaltkreis zeichnen? oder sollen wir’s einfach schreiben?“. Auch ein Schüler der Gruppe B2 wandte sich an die Lehrerin mit der Frage „Frau Professor, müssen wir alle diese Schaltskizze machen?“. Dieselbe Verwirrung herrschte ebenfalls in der Gruppe F1, wobei ein Schüler sich wunderte: „Müssen wir bei Frage 5 - müssen wir da alle... also sollen wir da einfach mal ´ne Schaltzeichnung zeichnen?“. Anschließend stellten sich die meisten Lernenden jedoch die Frage, wie das Schaltzeichen für eine Solarzelle aussieht, wobei die Schüler_innen sich dazu entweder selbst eines überlegten („Keine Ahnung, wahrscheinlich ein Kreis mit einem X drin oder so“) oder Hilfestellungen in der entsprechenden Lösungskarte fanden oder durch die Lehrkraft erhielten.

Im Zuge des Vergleichs der Messplanungen im Plenum zeichnete Herr Mag. Göbel in der 4A Klasse eine entsprechende Schaltskizze an der Tafel auf und beim Experimentieren hatten allem Anschein nach alle Gruppen eine solche Skizze erstellt. In der 4B Klasse hingegen wurde die Schaltskizze nicht verglichen, weshalb einige Schüler_innen erst während der Durchführung eine Skizze anfertigten. Eine Schülerin der Gruppe W1 meinte beispielsweise „Ich muss jetzt mal eine Schaltskizze zeichnen, ansonsten tu ich mir viel zu schwer!“, während ein Schüler der Gruppe W2 überrascht schien, dass sie überhaupt eine Schaltskizze zeichnen mussten und anschließend nach dem Schaltzeichen für eine Solarzelle fragte. Auch die Mitglieder der Gruppe B1 hatten beim Experimentieren noch keine Schaltskizze gezeichnet, weshalb ein Schüler verwundert fragte: „Wir haben ´ne Schaltskizze?“ Sein Kollege klärte ihn darüber auf, dass sie noch keine Schaltskizze gezeichnet hätten, woraufhin er lediglich meinte, dass das egal sei. Während also in der 4A Klasse vor allem Verwirrung bezüglich der Schaltskizze während der Planungsphase herrschte, kamen in der 4B Klasse diese Unsicherheiten bezüglich der Skizze vor allem in der Durchführung des Experiments auf.

Ähnliche Missverständnisse kamen in der 4A Klasse auch im Hinblick auf die zu erstellenden Tabellen und Koordinatensysteme beziehungsweise Diagramme auf, während in der 4B Klasse keinerlei derartige Vorfälle beobachtet werden konnten. Beispielsweise erkundigte sich ein Schüler aus der Gruppe W2 bei

den Mitgliedern der anderen Winkelgruppe nach der ersten Messung, wie die Messwerte notiert werden sollten: „Hä, was muss man jetzt aufschreiben?!“ Ein Mädchen aus Gruppe W1 antwortete ihm, dass sie eine Tabelle machen. Ein weiterer Schüler derselben Experimentiergruppe merkte an, dass das verpflichtend sei, woraufhin der Schüler aus Gruppe W2 verwundert fragte: „Was für ´ne Tabelle? Nein, mit den Grad?!“ Ähnliche Verwirrung kam ebenfalls in Bezug auf das Koordinatensystem auf, wobei die zweite Winkelgruppe erneut von einem Mitglied der W1 Gruppe um Auskunft darüber gebeten würde, ob sie ein Koordinatensystem gezeichnet haben. Dieselbe Schülerin der W2 Gruppe wie zuvor schien nun verunsichert, als sie antwortete: „Nein, wir haben kein Koordinatensystem zu machen. Nein... nein... bitte kein Koordinatensystem... da- ähm... Koordinatensystem“. Ein Mitglied der Gruppe B1 fragte kurz darauf einen Schüler der Gruppe W2, ob sie auch ein Koordinatensystem gemacht hätten, wobei dieser selbstsicher antwortete, dass kein Koordinatensystem zu machen sei. Etwas später rief ein Schüler der zweiten Winkelgruppe „Schau, die machen auch kein Koordinatensystem!“ Dies resultierte augenscheinlich in Verwirrung bei der Gruppe B2:

- 1:26:41: Sw4: Was für ein Koordinatensystem?!
 [...]
 1:27:00: Sm9: [liest Aufgabenstellung zur Durchführung der Experimente] Leute da steht halt wirklich Koordinatensystem.
 1:27:12: Sw5: Was?
 1:27:13: Sm9: Da steht Koordinatensystem.
 1:27:16: Sw5: Was sollen wir da machen?
 1:27:17: Sm9: Ähmm die Leistung irgendwie darstellen.

Es zeigt sich, dass in mehreren Experimentiergruppen Unklarheit darüber herrschte, was genau im Zuge der Datenprotokollierung zu leisten war, wobei die Erstellung eines Koordinatensystems deutlich öfter vernachlässigt wurde als die Tabelle.

7.1.12. Verwirrung durch Beispielwerte in den Hilfekarten

In den Audioaufnahmen der 4A Klasse konnte eine weitere interessante Situation identifiziert werden. Dabei beschäftigten sich die Schüler_innen der Gruppe F1 mit der grafischen Darstellung ihrer Messwerte und holten sich zur Unterstützung Lösungskarte 4, die eine Schülerin ihren Kolleg_innen vorlas. Auf dieser ist exemplarisch dargestellt, wie man ein Wertepaar aus einer Tabelle in ein Säulendiagramm überträgt, wobei es sich um Beispielwerte handelt, die nicht auf den Solarzellen beruhen, mit denen die Schüler_innen gearbeitet haben. Nach dem Lesen der Lösungskarte meinte die Schülerin „Scheiße, uns kommt da viel mehr raus“, woraufhin ein anderes Mädchen der Gruppe fragte „Ist nicht richtig?“ und die Schülerin erklärte „Schau mal, bei denen kommt 0,51 bei Blau raus“. Diese Unterhaltung zeigt, dass diese zwei Gruppenmitglieder ihre eigenen Messwerte in direkten Vergleich mit den Beispielwerten auf der Karte stellten und deutlich verunsichert waren, als sie sahen, dass sich diese Werte nicht glichen. Dieses Missverständnis, die angegebenen Werte sollten den eigenen Messwerten entsprechen, ergab sich auch in der Gruppe B2. Einem Schüler fiel dabei ebenfalls auf, dass ihre Werte deutlich von den Werten auf der Lösungskarte abwichen: „Ja bei uns kommt nicht 30, bei

uns kommt 30.000 raus“. Als Begründung dafür nannte seine Gruppenkollegin jedoch die Tatsache, dass sie ihre Werte zuvor in Ampere umgerechnet hätten, woraufhin dies nicht mehr thematisiert wurde.

7.1.13. Negative Erfahrungen mit Solarzellen

Ein Key Incident, der an dieser Stelle ebenfalls thematisiert werden soll, ereignete sich in der 4B Klasse in jener Experimentiergruppe, die sich mit der Solarzellentemperatur beschäftigte. Relativ am Ende der Experimentierphase hatten die Schüler_innen dieser Gruppe noch immer keine Daten aufgenommen, da ihr Multimeter bisher keine Messwerte angezeigt hatte. Unschlüssig darüber, was diese Fehlfunktion verursachte, drückten zwei Schüler der Gruppe ihren Frust aus. Der erste meinte dabei „Ich hab‘ bis jetzt wirklich nicht so gute Erfahrungen mit Solarzellen“, während ihm sein Kollege entgegnete „Ich auch nicht, ich kauf mir nicht so ´ne Powerbank“. Somit schien keiner der Schüler mit Hilfe der Experimente eine positive Einstellung im Hinblick auf Solarzellen beziehungsweise eine Powerbank, die mit Solarzellen betrieben wird, entwickelt zu haben. Stattdessen ging einer der Jungen sogar so weit, festzustellen, dass eine solche Powerbank für ihn keine realistische Möglichkeit zum Laden seines Smartphones darstellen würde.

7.1.14. Verwirrung beim Concept Cartoon

Die letzte Schlüsselszene, die im Rahmen der Datenanalyse beschrieben werden soll, fand im Zuge der Bearbeitung des dritten Arbeitsblatts in der 4B Klasse statt. Die Schüler_innen der Gruppe W1 besprachen dabei die erste Aufgabenstellung des Aushandelns für den Concept Cartoon. Die Fragestellung lautete dabei:

Die Schüler_innen unten haben genau dieselbe Untersuchung durchgeführt wie ihr und diskutieren nun darüber, was das mit Forschung zu tun hat. Wer hat Recht? Warum? Warum nicht?

Beantwortet die Frage alleine und notiert dabei eure Vermutung / These sowie die Begründungen dazu.

Nach dem Lesen dieser Aufgabe erscheint ein Mädchen verwirrt darüber, welche Fragen genau zu beantworten sind und welche Meinung dabei gefragt ist:

- 1:25:55: Sw8: Auf welche Fragen muss man jetzt antworten? [...] Beantworte die Fragen alleine – Welche Fragen?
- 1:26:12: Sw9: Äh, die da. Hä ja... was du halt glaubst. Begründe halt, warum du das glaubst.
[...]
- 1:26:02: Sw8: Ich glaube, dass der linke Bursche und das linke Mädchen...
- 1:27:05: Sm1: Ich denke, wir haben heute geforscht da wir uns eine Forschungsfrage überlegt haben und mit Experimenten versucht haben, diese zu beantworten.
[...]
- 1:27:47: Sw8: Aber die Frage ist ja, wer hat Recht. Warum und warum haben sie nicht recht.
- 1:28:00: Sm15: Ich glaub‘ die Linken haben Recht.
- 1:28:02: Sw8: Diese Aufgabenstellung alleine... versteh ich [nicht?] [unverständlich]

- [...]
- 1:28:59: Sw8: [Fragt einen Studenten] Tschuldigung, wir müssen die Frage beantworten, das heißt diese Frage, oder? Welche recht haben und warum. Oder – oder muss man seine Meinung schreiben, ob wir geforscht haben oder nicht?
- 1:29:10: Stud.: Das sind halt verschiedene Meinungen dazu und du sollst halt – warum hat der jetzt Recht [unverständlich]
- 1:29:18: Sw8: Das heißt, man soll nicht seine eigene Meinung schreiben, sondern seine Meinung, warum die...
- 1:29:25: Stud.: Wennst dei eigene Meinung schreibst, ist es sicher auch ned schlecht. Aber die Fragestellung bezieht sich auf des ja, also welcher von den Leuten hat recht oder nicht recht...

Die Schülerin hatte offenbar Schwierigkeiten beim Verständnis der Aufgabenstellung, wobei ihre Kollegin sie darauf hinwies, sie solle einfach schreiben, was sie glaube. Als dann einer der Burschen aus der Gruppe erklärte, wie seine Meinung bezüglich ihres eigenen Forschungsprozesses aussehe, unterbrach sie ihn und merkte an, dass es darum ginge, wer aus dem Cartoon recht habe. Schließlich fragte sie einen Studenten um Hilfe, wobei auch dieser nicht klar sagen konnte, auf welche Meinung sich die Aufgabenstellung genau bezieht, diejenige zum eigenen Forschungsprozess oder die im Hinblick auf den Concept Cartoon.

7.2. Rückmeldungen der Teilnehmer_innen

Frau Mag.^a Schimon und Frau Mag.^a Kolb wurden im Zuge eines abschließenden Interviews zu den positiven und negativen Aspekten der Lernumgebung sowie deren Entwicklungspotentiale befragt und konnten dabei Rückmeldungen abgeben, während die Lernenden ihr Feedback schriftlich auf einem Feedbackzettel festhalten konnten.

7.2.1. Feedback der Lehrerinnen

Im Zuge eines kurzen, informellen Interviews teilten die beiden Lehrerinnen ihre Eindrücke über positive sowie negative Aspekte der entwickelten Lernumgebung und mögliche Entwicklungspotentiale mit. Sowohl Frau Mag.^a Schimon als auch Frau Mag.^a Kolb merkten an, dass der Vorbereitungsaufwand für die Unterrichtssequenz sehr hoch sei und vor allem die Anzahl an Kopien ein Problem für die Umsetzung im Regelunterricht darstelle. Ein Vorschlag von Frau Mag.^a Schimon dazu lautete, dass sich die Schüler_innen die wichtigsten Informationen von den Infoblättern selbst zusammenschreiben, damit die Zettel nach dem Unterricht immer wieder abgesammelt und somit mehrfach verwendet werden oder auch mehrere Schüler_innen mit einem Infoblatt arbeiten können. Die vier Unterrichtsstunden, welche im Zuge der ersten Testung in der 4B Klasse aufgewendet worden waren, waren nach Angaben von Frau Mag.^a Schimon relativ knapp bemessen, da der Zeitplan innerhalb der einzelnen Stunden sehr straff durchgezogen werden müsse, damit sich alles ausginge. Besonders die Einführungseinheit könne in ihren Augen auf eine Doppelstunde ausgeweitet werden. In der 4A Klasse wurden im Gegensatz dazu beinahe sechs Schulstunden in die Unterrichtssequenz investiert, wobei Frau Mag.^a Kolb anmerkte, dass dies deutlich zu umfangreich für den Regelunterricht sei. Die zusätzliche Zeit wurde vor allem in die

Vor- und Nachbereitung der Experimente investiert, was der Lehrerin zufolge in einer zu starken Theoriebasiertheit der Sequenz resultiere, in der nur verhältnismäßig wenig Gelegenheit zum Experimentieren sei.

Ein weiterer Punkt, der von beiden Lehrpersonen genannt wurde, ist das Anforderungsniveau der ersten Einheit, wobei sowohl Frau Mag.^a Schimon als auch Frau Mag.^a Kolb anmerkten, dass das Infoblatt zur Funktionsweise einer Solarzelle inhaltlich und sprachlich deutlich zu anspruchsvoll für die Zielgruppe sei. Frau Mag.^a Schimon zufolge handle es sich bei den Inhalten des Infoblatts eher um Oberstufenstoff, da die dafür relevanten Grundlagen wie zum Beispiel die Halbleitertechnik nicht so genau in der vierten Klasse gelernt würden und darüber hinaus viele Schüler_innen an diesem Punkt noch immer Schwierigkeiten mit den Grundbegriffen der Elektrizitätslehre besäßen. Auch Frau Mag.^a Kolb merkte im Interview an, dass die Schüler_innen in der Regel sehr wenig Vorwissen in diesem Bereich hätten. Im Hinblick auf die sprachliche und inhaltliche Passung des zweiten Infoblatts merkte sie überdies an, dass dieses deutlich zu lange und der Text zu anspruchsvoll sei, da sich viele lange Sätze und Fachbegriffe fänden, die den meisten Schüler_innen nicht unbedingt geläufig seien. Ein Vorschlag von Frau Mag.^a Kolb lautete, mehr mit Bildern zu arbeiten, um die Inhalte anschaulicher und interessanter zu gestalten, und die Texte auf ihre sprachliche Komplexität hin zu überarbeiten. Frau Mag.^a Schimon erwähnte in Bezug auf das inhaltliche Anforderungsniveau auch die Aufgabe zur Genauigkeit der Messgeräte, wobei sie anmerkte, dass die Unterscheidung zwischen Ablesegenauigkeit und Messgenauigkeit an dieser Stelle deutlich zu schwierig gewesen sei, auch wenn die Auseinandersetzung mit der Genauigkeit der Messungen prinzipiell als äußerst sinnvoll angesehen wurde.

Sowohl Frau Mag.^a Schimon als auch Frau Mag.^a Kolb drückten im Zuge des Interviews ihre Überraschung darüber aus, dass sich die meisten Schüler_innen trotz ihres geringen und größtenteils noch überhaupt nicht vorhandenen Vorwissens bereitwillig auf das Projekt eingelassen haben und die Planung, Durchführung und Nachbereitung teilweise sehr ernst genommen haben. Frau Mag.^a Schimon betonte in diesem Zusammenhang auch, dass ihr ein paar Schüler während der Stunde mitgeteilt hätten, dass es ihnen sehr gefallen habe, ohne vorgegebene Schaltskizze zu arbeiten und das Experimentiersetting selbst zu bestimmen. Die Lehrerin merkte jedoch an, dass vor allem das viele Schreiben für ihre Klasse zum Teil etwas motivationshemmend gewirkt habe und sie während der Messungen einige Gruppen mehrmals darauf hinweisen musste, dass sie alles protokollieren sollten. In der 4B Klasse war es beim Experimentieren besonders überraschend, dass die Schüler_innen trotz der Probleme mit den Elektromotoren deutlich weniger frustriert waren als erwartet und trotzdem ihre Messungen durchgeführt hatten. Für Frau Mag.^a Schimon zeigte dieser Umstand, dass es den Lernenden in ihren Versuchen tatsächlich um die Aufnahme von Messwerten ging, und nicht nur um qualitatives Prüfen, wobei letzteres für die Lehrerin vor der Testung besonders im Vordergrund stand. Im Interview zog sie somit das Fazit, dass die Elektromotoren gar nicht notwendig gewesen wären und sich die reine Messung den Schüler_innen unerwarteterweise nicht als zu langweilig herausgestellt habe.

In Bezug auf die Experimente merkte Frau Mag.^a Kolb an, dass die Lernhilfen sehr geholfen hätten, da sie den Schüler_innen sehr viel Unterstützung boten und die Lehrkräfte dadurch entlasteten. Sie betonte jedoch auch, dass die Verwendung solcher Hilfen ein gewisses Maß an Training auf Seiten der Lernenden erfordere, da sie die sich an diese Art der Unterstützung gewöhnen müssen und die Disziplin haben sollten, wirklich immer nur ein Kärtchen auf einmal zu nehmen und zwischendurch auch selbst versuchen sollten, die Aufgabe zu bewältigen. Sehr positiv wurde von Frau Mag.^a Kolb auch das Aufstellen einer Forschungsfrage und einer Hypothese aufgenommen. Im Interview erzählte sie, dass sie das nun auch im Chemieunterricht in die Messplanung aufnehmen möchte, damit dieser Prozess für die Lernenden etwas vertrauter würde, da sie spätestens im Rahmen ihrer Vorwissenschaftlichen Arbeit mit diesen Aspekten wissenschaftlichen Arbeitens konfrontiert werden.

7.2.2. Feedback der Lernenden

Was die positiven Aspekte der Unterrichtssequenz betrifft, so wurde in beiden Klassen das Experimentieren in unterschiedlichen Gruppen genannt von den meisten Schüler_innen genannt, wobei elf Personen in der 4A Klasse und vierzehn in der 4B Klasse diesen Punkt in ihrem schriftlichen Feedback nannten. Mit sieben beziehungsweise acht Nennungen bildet der Umstand, dass die Schüler_innen im Zuge des Experimentierens den jeweiligen Faktor selbst erforschen und dabei auch viel selbstständig nachdenken mussten, um die unterschiedlichen Aufgaben zu erfüllen, einen weiteren häufig genannten positiven Aspekt der Lernumgebung. In der 4B Klasse merkten darüber hinaus sieben Schüler_innen an, dass ihnen das Thema der Unterrichtssequenz gefallen habe, während dieser Punkt nur von einer Person in der 4A Klasse genannt wurde. Auch die Idee hinter dem Projekt und dessen Aufbau beziehungsweise Planung wurde von mehreren Schüler_innen in beiden Klassen als durchaus positiv empfunden. Weitere Aspekte, die an dieser Stelle genannt wurden, sind die Abwechslung zum normalen Unterricht mit zwei Nennungen in der 4A und drei Erwähnungen in der 4B Klasse, die Erklärung der Funktionsweise einer Solarzelle und Arbeit in verschiedenen Kleingruppen Gruppenarbeiten im Allgemeinen, wobei die letzten beiden Punkte jeweils von zwei Personen in der 4A und einer Person in der 4B genannt wurden. Ein weiterer positiver Aspekt, der von einem/r Schüler_in in beiden Testklassen angemerkt wurde, war die Vorbereitung auf das Experimentieren. Die Hilfskärtchen wurden hingegen lediglich in der 4B Klasse und dort nur von vier Lernenden erwähnt, während es fünf Schüler_innen der 4A Klasse besonders gefallen hat, dass sie einen Einblick in die Arbeitsweise von Naturwissenschaftler_innen bekamen. Ein/e Schüler_in in der 4A Klasse nannte im Feedback überdies das Dokumentieren als positiven Aspekt der Lernumgebung. Auch das Arbeitsblatt mit dem Filmstreifen zur Funktionsweise einer Solarzelle wurde von einer Person aus der 4B Klasse als gelungen beschrieben.

Im Hinblick auf die Aspekte, die weniger gut gelungen sind, nannten acht Lernende der 4B Klasse die Zeiteinteilung als problematisch, da sie gerne mehr Zeit fürs Experimentieren gehabt hätten oder generell das Gefühl hatten, dass die Zeit für die einzelnen Aktivitäten zu kurz war. Dieser Punkt wurde

in der 4A Klasse nicht erwähnt, höchstwahrscheinlich, da sie mehr Zeit für die einzelnen Aktivitäten hatten. Jeweils drei Schüler_innen in beiden Klassen kritisierten an dieser Stelle, dass sie sehr viel schreiben mussten, und die Lernhilfen wurden in der 4A von einer und in der 4B von zwei Personen als teilweise unverständlich beschrieben. In der 4B Klasse ergab sich im Zuge des Experimentierens vor allem der Umstand, dass einige Geräte nicht so funktioniert hatten wie erwartet, wobei sich vor allem die Elektromotoren als problematisch herausgestellt hatten, was von fünf Lernenden als negativ genannt wurde. Vier Personen derselben Klasse merkten überdies an, dass sie während der Experimentierphase manchmal nicht weitergewusst hätten und ihnen der Aufbau der Experimente teilweise unklar gewesen sei. Zwei Lernende der 4B empfanden die gestellten Fragen überdies als zu kompliziert oder ungenau, eine Person beschrieb die Inhalte als zu detailliert und ein/e weitere/r Schüler_in merkte an, dass die Lernumgebung etwas zu theorielastig sei.

Mehrere Entwicklungspotentiale wurden im schriftlichen Feedback genannt. In der 4B Klasse schlugen dreizehn Schüler_innen vor, die Zeiteinteilung zu optimieren, wobei die meisten sich für mehr Zeit für die Experimente aussprachen, während sich zwei Personen dabei auf die Zeit für das Ausfüllen der Arbeitsblätter bezogen. Fünf Personen aus der 4A und eine aus der 4B Klasse empfanden es als sinnvoll, mehr mündlich zu machen und die Arbeitsblätter auf ein Minimum zu reduzieren. Aufgrund der Schwierigkeiten mit den Materialien merkten vier Schüler_innen der 4B Klasse an, dass das nächste Mal besser funktionierende Geräte verwendet werden sollen. Im Hinblick auf die Hinweise wurde in der 4A Klasse von zwei Personen der Vorschlag gemacht, die Hinweise etwas leichter und hilfreicher zu gestalten, während sich ein/e Schüler_in in der 4B Klasse mehr Tipps wünschte. Ein weiteres Entwicklungspotential liegt in der Optimierung der Fragestellungen, was von einer Person der 4B genannt wurde. Was die Experimente angeht, so wünschte sich jeweils ein/e Schüler_in in beiden Klassen zumindest ein weiteres Experiment, ebenso wie mehr persönliche Unterstützung beim Experimentieren. Zwei Personen der 4B Klasse merkten überdies an, dass eine genauere Erklärung der Experimente in Zukunft besser sei.

7.3. Dateninterpretation und Optimierungsvorschläge auf Basis der Beobachtungen und Aufnahmen

Im Lichte der Datenanalyse kann nun eine Interpretation der erhaltenen Informationen erfolgen, auf Basis derer Optimierungsmöglichkeiten für die ausgetestete Lernumgebung abgeleitet werden können. Dabei sind zwei Bereiche von Interesse, nämlich die sprachliche und inhaltliche Passung der Materialien im Hinblick auf die Zielgruppe und die Ermöglichung einer selbstständigen Planung und Durchführung der Experimente mittels gestufter Lernhilfen. Die Vermittlung angemessener Vorstellungen über die NdN wird in Kapitel 8 thematisiert. Der Optimierungsprozess beschränkt sich auf die Materialien für Schüler_innen, d.h. die verwendeten Arbeits- und Infoblätter sowie die Hilfe- und Antwortkarten, da

eine zusätzliche Überarbeitung des Leitfadens für Lehrkräfte den Rahmen dieser Diplomarbeit übersteigen würde.

7.3.1. Sprachliche/inhaltliche Passung und Optimierung

Im Hinblick auf die sprachliche und inhaltliche Passung der Materialien zeigen die in Abschnitt 7.1.1. beschriebenen Verständnisprobleme in Bezug auf den Photovoltaikbegriff, dass eine Klärung dieses Terms notwendig ist. Es erscheint daher sinnvoll, gleich zu Beginn des ersten Infoblatts eine Definition von ‚Photovoltaik‘ zu geben, um die Schüler_innen mit dem Begriff vertraut zu machen und somit zu verhindern, dass dieser im weiteren Verlauf der Unterrichtssequenz zu weiteren Verständnisproblemen führen könnte. Das einführende Brainstorming sollte stattdessen zum Begriff ‚Solarzelle‘ durchgeführt werden, da dieser den Schüler_innen im Zuge der Testung deutlich geläufiger war. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass es nicht zu einer Verwechslung der Photovoltaik mit der Solarthermie kommt, da hier möglicherweise eine Vermischung beider Begriffe vorliegen kann, die ebenfalls für die begrifflichen Schwierigkeiten im Key Incident verantwortlich sein könnte.

Auf die Rückmeldung beider Lehrpersonen hin übersteigt das erste Infoblatt teilweise das Vorwissen und das sprachliche Niveau der Zielgruppe, weshalb Optimierungen im Bereich der Reduktion unnötiger Komplexität notwendig sind. Zunächst erscheint es förderlich, keine Fachbegriffe im Text zu verwenden, die nicht zum zentralen Verständnis der Funktionsweise einer Solarzelle beitragen, wie ‚innerer Photoeffekt‘. Außerdem können einige Sätze oder Phrasen gekürzt oder aufgeteilt werden, damit der Text für die Zielgruppe einfacher zu lesen ist. Beispielsweise ist der Satz *„Dazwischen liegt eine Übergangsschicht aus reinem Silizium, in der sich (aufgrund der beiden unterschiedlich geladenen Randschichten) ein elektrisches Feld bildet“* deutlich besser verständlich, wenn er in zwei separate, simplere Sätze aufgeteilt wird: *„Dazwischen liegt eine Übergangsschicht aus reinem Silizium. Wegen den beiden unterschiedlich geladenen Randschichten bildet sich in der neutralen Siliziumschicht ein elektrisches Feld, dessen Feldlinien vom Pluspol zum Minuspol führen“*. Überdies ist es sinnvoll, bereits beim Aufbau der Solarzelle auf die beiden Kontakte zu verweisen und diese auch in der Grafik zu inkludieren.

Weitere Optimierungspotentiale ergeben sich den in Abschnitt 7.1.2. beschriebenen Problemen zufolge im Hinblick auf das erste Arbeitsblatt. Viele Schüler_innen hatten Schwierigkeiten damit, den abstrakten Prozess der Energieumwandlung auf vier Bildern darzustellen und übernahmen die meisten Aussagen deshalb direkt aus dem Text. Eine Durchsicht der ausgefüllten Arbeitsblätter zeigte, dass vor allem das erste Bild von den meisten Schüler_innen dazu genutzt wurde, den Aufbau einer Solarzelle zu reproduzieren, anstatt dazu, den Beginn des Umwandlungsprozesses darzustellen. Um dieses bloße Reproduzieren von Informationen zu verhindern und die selbstständige Formulierung des bereits Gelesenen zu fördern, erscheint es günstig, für jedes Textfeld einen Satzanfang vorzugeben, der den Schüler_innen als Orientierung dient und eine Anwendung der Informationen aus dem Text notwendig macht. Unterstützung bildet dabei die Vorgabe einzelner Abbildungselemente wie der Schichtaufbau

der Solarzelle inklusive der Kontakte und dem Anschluss an die Glühlampe. Somit wird nicht nur Zeit gespart, sondern die Schüler_innen können sich dahingehend orientieren, was von der Abbildung ungefähr erwartet wird. Einige Lernende füllten beispielsweise das letzte Bildfeld aus, indem sie die Serienschaltung von Solarzellen zu einem Solarmodul zeichneten, wobei dies nicht unbedingt der Aufgabenstellung entspricht. Die Vorgabe einzelner Text- und Bildelemente kann derartigen Missverständnissen vorbeugen. Auch die Rolle des elektrischen Felds sollte im Zuge des Arbeitsauftrags hervorgehoben werden, da dieses nur selten in den Beschreibungen als zentraler Aspekt des Umwandlungsvorgangs genannt wurde. Ein Satzanfang, der den Begriff ‚elektrisches Feld‘ enthält, ermöglicht eine explizite Auseinandersetzung mit der Rolle dieses Feldes im Hinblick auf den photovoltaischen Effekt.

Die Situationsbeschreibungen in Abschnitt 7.1.9. zeigen im Hinblick auf das erste Infoblatt außerdem, dass die Erwähnung von 0,5 V als typischer Spannungswert einer Solarzelle ungünstig ist. Dieser Wert stellt eine stark vereinfachte Annahme dar, die weder die Beschaffenheit noch die Größe der Solarzelle berücksichtigt und den Einfluss äußerer Faktoren wie Temperatur und Bestrahlungsstärke vernachlässigt. Diese Zahl, die lediglich als Zusatzinformation für Interessierte gelten sollte, führte im Zuge der Planung und Durchführung der Experimente jedoch mehrfach zu Missverständnissen, da einige Schüler_innen annahmen, dieser Wert sei für jede Solarzelle konstant oder müsse zumindest der von ihrem Solarmodul oder ihrer Solarzelle gelieferten Spannung entsprechen. Aus diesem Grund sollte auf diesen ungenauen und schwer nachvollziehbaren Zahlenwert im Infoblatt verzichtet und stattdessen entweder überhaupt kein Wert oder die Eckdaten einer Solarzelle angegeben werden, die einem solchen Spannungswert entsprechen. In Anbetracht der Zielgruppe und der mangelnden Relevanz für den eigentlichen Arbeitsauftrag wird für die Optimierung der Materialien die zweite Option gewählt, da der Text bereits eine relativ hohe Informationsdichte enthält.

Für das zweite Infoblatt ergeben sich ebenfalls Möglichkeiten zur sprachlichen Überarbeitung des Textes. Frau Mag.³ Kolb beschrieb den Text des Infoblatts im Zuge ihres Feedbacks mehrmals als zu anspruchsvoll für die Zielgruppe, was durch die in Abschnitt 7.1.8. beschriebenen Schlüsselsituationen bestätigt wird, in denen sich mehrere Begriffe wie ‚Parameter‘ als problematisch herausstellten. Obwohl es sinnvoll erscheint, Fachbegriffe wie ‚Forschungsfrage‘ oder ‚Hypothese‘ an dieser Stelle einzuführen, da sie für das Lernen über physikalische Forschung im Zuge der Unterrichtssequenz von Relevanz sind und später mehrmals im Zuge der Experimentierphase vorkommen, sollten anspruchsvolle Begriffe wie ‚Parameter‘ oder ‚variieren‘ hingegen durch bedeutungsgleiche Wörter ersetzt werden, die für Schüler_innen in dieser Altersstufe besser verständlich sind. Da derartige Begriffe nicht unbedingt eingeführt werden müssen, um ein Verständnis von naturwissenschaftlicher Forschung zu fördern und auch für die weitere Experimentierphase nicht unbedingt von Relevanz sind, können durch ihre Vereinfachung eine unnötige sprachliche Komplexität des Textes und damit verbundene Gefühle der Frustration auf Seiten der Leser_innen vermieden werden.

Im Hinblick auf das Arbeitsblatt zur Messplanung wird auf Basis der Key Incident Analyse ebenfalls ein gewisses Optimierungspotential erkennbar. Auch hier gilt es, Fachbegriffe wie ‚Parameter‘ und ‚variieren‘ im Arbeitsblatt durch geläufigere Begriffe zu ersetzen, da auch hier in einigen Gruppen diesbezüglich Verständnisprobleme aufkamen. Die Tatsache, dass mehrere Schüler_innen in ihrem Feedback unpräzise und komplizierte Fragestellungen als Entwicklungspotential der Lernumgebung nannten, bildet einen weiteren Ansatzpunkt für die Weiterentwicklung der Materialien. Daher scheint es förderlich, jeder Aufgabe zur Planung nur eine einzelne Frage zuzuordnen, die dem Sprachniveau der Schüler_innen entspricht und klar verständlich ausdrückt, was verlangt wird. Die zu Beginn des Abschnitts 7.1.11. beschriebenen Schlüsselsituationen zeigen außerdem, dass es mehrere Missverständnisse darüber gab, ob die Erstellung einer Schaltskizze für die Messplanung notwendig sei. Aus diesem Grund sollte das Arbeitsblatt um die explizite Anweisung erweitert werden, eine Schaltskizze vom geplanten Versuchsaufbau zu zeichnen. Dazu wird ein entsprechendes leeres Feld eingefügt, in dem ausreichend Platz für die Zeichnung herrscht. Dasselbe gilt für das Erstellen einer Materialliste, da ein separates Textfeld zum Eintragen aller benötigten Geräte und Materialien in Form einer Bedarfsliste die Übersichtlichkeit der Planung erhöhen würde.

Die größten Schwierigkeiten bei der Messplanung ergaben sich jedoch im Hinblick auf das Festlegen einer Forschungsfrage und im weiteren Verlauf auch beim Aufstellen einer Hypothese. In beiden Testklassen wurde die Forschungsfrage nicht direkt nach deren Formulierung in den Experimentiergruppen gemeinsam besprochen, wie es im Ablaufplan eigentlich vorgesehen wäre. Stattdessen arbeiteten die Schüler_innen ihre gesamte Planung zur erstellten Forschungsfrage aus, ohne dabei zu wissen, ob diese überhaupt sinnvoll und im Rahmen der vorgesehenen Experimente und unter Berücksichtigung der verfügbaren Materialien auch realisierbar ist. Um frustrierende Planungserlebnisse wie diejenigen in Abschnitt 7.1.4. zu vermeiden, empfiehlt es sich zunächst, die Aufgaben zur Forschungsfrage und zur Hypothese direkt nacheinander zu stellen. Weiters sollten beide von den restlichen Fragestellungen abgegrenzt werden, um es auch den Lehrkräften leichter zu machen, diese als erste Phase des Planungsprozesses zu behandeln, deren Ergebnisse zuerst verglichen und diskutiert werden, bevor zum Rest der Planung übergegangen werden kann. Die Lehrkraft kann dabei gezielte Unterstützung bieten, indem sie den Schüler_innen Rückmeldungen auf ihre Fragestellungen und Hypothesen gibt und indem diese gemeinsam im Plenum diskutiert und verglichen werden. Findet die Aktivität am Stundenende statt, so ergibt sich überdies die Möglichkeit, die notierten Forschungsfragen und Hypothesen abzusammeln und in der nächsten Stunde mit den Lernenden zu besprechen. Die restliche Planung wird dann zu Phase 2, die Auseinandersetzung mit den Messgeräten entspricht Phase 3, die Durchführung des Experiments wird zu Phase 4 und die Ergebnispräsentation stellt Phase 5 dar. Darüber hinaus sollte im Einleitungstext die Phrase ‚maximale Leistungsabgabe‘ durch den Begriff ‚Leistung‘ ersetzt werden, denn wie die beschriebenen Diskussionen beim Aufstellen einer Forschungsfrage zeigen, gingen einige Schüler_innen aufgrund des kurzen Einführungstextes davon aus, dass sie die maximale Leistung bestimmen müssen, anstatt einfach nur den Einfluss dieses

Faktors auf die Leistungsabgabe der Zelle zu ermitteln. Diese Maßnahmen besitzen das Potential, in einer effektiveren Nutzung der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit zu münden, da somit vermieden wird, dass die Schüler_innen sozusagen ins Nichts planen und stattdessen ein zielgerichteter Planungsprozess gefördert wird.

Auch die Auseinandersetzung mit den Messgeräten bedarf aufgrund mehrerer Schwierigkeiten in beiden Testklassen einer Optimierung. Diese Probleme beziehen sich einerseits auf Verständnisschwierigkeiten im Hinblick auf die eigentliche Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 7.1.10.). Die mehreren aufeinanderfolgenden Fragen wirkten offenbar verwirrend, da die meisten Schüler_innen nicht wussten, was sie genau niederschreiben sollten, obwohl das freie Textfeld ursprünglich nur für die letzte Frage gedacht war. Die ersten beiden Fragestellungen sollten dabei lediglich als Leitlinien zur Auseinandersetzung mit dem Messgerät dienen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, Anweisungen zur praktischen Auseinandersetzung mit den Geräten von jenen Fragen zu trennen, die schriftlich beantwortet werden sollen. Anschließend an die Aufforderung, sich mit den Messgeräten vertraut zu machen, können daher zusätzliche Anweisungen der Form „*Findet heraus, wie ihr...*“ folgen. Die schriftlich zu beantwortenden Fragen können dabei abgegrenzt werden, indem sie durch den Satz „*Beantwortet die folgenden Fragen*“ eingeleitet werden und mittels Aufzählungszeichen klar erkennbar gekennzeichnet werden. Andererseits war kaum jemandem klar, worum es sich beim Zusammenhang zwischen Ablesegenauigkeit und der Genauigkeit des Messgeräts handelt. Zwar betonte Frau Mag.^a Schimon im Gespräch, dass der Aspekt der Messgenauigkeit einen wichtigen Schritt im Experimentierprozess darstellt, jedoch übersteigt die Unterscheidung zwischen Ablese- und Messgenauigkeit den Entwicklungs- und Wissensstand der Zielgruppe und sollte somit vernachlässigt werden. Stattdessen bieten sich etwas einfachere Fragen an wie „*Welche Messbereiche werdet ihr einstellen?*“ und „*Wie genau werden die Werte angezeigt, die ihr dabei ablesen könnt?*“, die direkt auf die einzustellenden Messbereiche und die Anzeige der Messgeräte eingehen. Die Frage nach der Vermeidung einer Beschädigung des Geräts scheint aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten ebenfalls einige Personen in die Irre geführt zu haben. Dieser Anstoß kann stattdessen auf eine Hinweiskarte verlagert werden (siehe Abschnitt 7.3.2.).

Im Zuge der Versuchsdurchführung gab es den in Abschnitt 7.1.11. beschriebenen Key Incidents zufolge offenbar mehrere Schwierigkeiten aufgrund von Unübersichtlichkeit. Offensichtlich hatten mehrere Schüler_innen die Aufgabenstellung zur Versuchsdurchführung nicht gelesen, denn sie waren sich nicht sicher, ob sie für die Dokumentation ihrer Messwerte eine Tabelle erstellen sollten. Vor allem die Aufgabenstellung für die Erstellung des Koordinatensystems wurde scheinbar besonders häufig überlesen, da einigen Schüler_innen nicht klar war, dass sie ihre Messwerte nach deren Erhebung und Notierung auch grafisch darstellen sollten. Aus diesem Grund scheint eine übersichtliche Auflistung aller Punkte, die bei der Messung beachtet beziehungsweise durchgeführt werden sollen, besser geeignet. Darüber hinaus bietet sich die optische Hervorhebung der Begriffe ‚Tabelle‘ und ‚grafisch‘ an, damit für die Lernenden auf den ersten Blick klar ersichtlich ist, in welcher Form die Messwerte

festzuhalten sind. Durch eine Nummerierung der einzelnen Punkte kann eine gewisse Reihenfolge impliziert werden und somit den Schüler_innen mehr Orientierung geboten werden, ohne dabei ungewollt in ein Experimentieren nach Kochrezept abzugleiten (vgl. Hopf & Berger, 2011, S. 112). Darüber hinaus ermöglicht dies eine eindeutige Zuordnung von entsprechenden Hilfekarten (siehe Abschnitt 7.3.2.).

7.3.2. Optimierung der gestuften Lernhilfen

Zunächst zeigen die Probleme in Abschnitt 7.1.5., dass die praktisch idente Formulierung der Hinweise zu den Fragestellungen auf dem Arbeitsblatt zur Messplanung wenig sinnvoll ist und die Bereitschaft der Schüler_innen, mit den Hilfe- und Lösungskarten zu arbeiten, dadurch offenbar deutlich reduziert wurde. Aus diesem Grund empfiehlt sich die dahingehende Überarbeitung aller Hinweise, dass sie mehr Informationen liefern als die Fragestellungen auf dem Arbeitsblatt und somit eine zusätzliche Hilfestellung bieten, anstatt lediglich eine Zuordnung zur passenden Frage zu ermöglichen. In Abhängigkeit der zu beantwortenden Frage können dabei Tipps oder weitere Informationen zur Verfügung gestellt oder Erinnerungshilfen gegeben werden.

Weiters lassen die Schlüsselszenen in Abschnitt 7.1.7. den Rückschluss zu, dass die Nummern der Hinweis- und der Lösungskarten an die Nummerierung der einzelnen Fragen angepasst werden sollten, da die mangelnde Passung Verständnisschwierigkeiten auslöste und somit die Motivation im Umgang mit den Hilfen scheinbar reduzierte. Ursprünglich war sehr wohl gedacht, dass die Reihenfolge der Hilfekarten aufbauend auf den einzelnen Schritten eines Planungsprozesses basiert, jedoch wurden nicht zu allen Fragen entsprechende Lernhilfen entwickelt, weshalb die Nummerierungen nicht den Fragennummern entsprachen, was im weiteren Verlauf zu beachtlicher Verwirrung auf Seiten der Lernenden führte. Dieser Umstand wird auch im schriftlichen Feedback der Lernenden reflektiert, da mehrere Schüler_innen bessere Hilfestellungen sowie mehr Tipps als mögliche Entwicklungspotentiale der Lernumgebung nannten. Eine entsprechende Anpassung ist sowohl für die Planungsphase als auch für die einzelnen Punkte der Durchführung der Experimente notwendig, wobei letztere erst in der überarbeiteten Version durch Nummerierungen gekennzeichnet werden muss. Durch eine passende Nummerierung ist es für die Lernenden einfacher, gezielte Unterstützung zu einzelnen Aspekten des Planungs- und Experimentierprozesses zu erhalten, ohne dabei zunächst in den Hilfen nach der passenden Karte suchen zu müssen. Um die Nummerierung auf dem Arbeitsblatt zu verdeutlichen, wird neben jeder Frage, für die es eine Hilfekarte gibt, ein Symbol eingefügt, welches auf die jeweilige Hinweiskarte mit der entsprechenden Nummer verweist.

Ein weiteres Problem in der selbstständigen Planung und Durchführung der Experimente ergab sich darin, dass für mehrere anspruchsvolle Aufgaben- beziehungsweise Fragestellungen keine Hinweis- oder Lösungskarten zur Verfügung standen. Dies trifft vor allem auf die in Abschnitt 7.1.10. beschriebenen Schwierigkeiten bei der Auseinandersetzung mit dem Messgerät zu, wobei diese mit Hilfe einer geeigneten Hinweiskarte mit vertiefenden Fragen möglicherweise reduziert werden könnten.

Zum einen kann nach den eigenen Erwartungen der Schüler_innen im Hinblick auf die von einer Solarzelle abgegebene Stromstärke und Spannung gefragt werden. Für den Fall, dass keine begründete Vermutung aufgestellt werden kann, dient die Frage „*Welche Messwerte könnt ihr am Anfang einstellen, damit das Gerät auf keinen Fall durch zu hohe Spannung / Stromstärke beschädigt wird?*“ dazu, die Schüler_innen auf den Sicherheitsaspekt im Umgang mit Messgeräten und Generatoren aufmerksam zu machen. In der Lösung kann ein Richtwert für Stromstärke und Spannung gegeben werden, der als Orientierung dienen soll, ebenso wie eine kurze Erläuterung dazu, wie beim Einstellen des Messbereichs vorgegangen wird, wenn man nicht weiß, mit welchen Stromstärken oder Spannungen zu rechnen ist. Zu guter Letzt findet sich in der Lösungskarte die Lösung zur Ablesegenauigkeit der Geräte und ein Beispiel, wie man diese bestimmen kann. Zunächst wurde vor dem Hintergrund der in Kapitel 7.1.4. genannten Probleme in Betracht gezogen, auch für das Aufstellen einer Forschungsfrage und einer Hypothese Lernhilfen zu erstellen. Dies wurde jedoch wieder verworfen, da diese vom Rest der Messplanung separiert behandelt werden und die Lehrkraft selbst dabei Orientierung und Hilfestellungen bieten kann.

Ein letztes Optimierungspotential wird durch die negativen Reaktionen verdeutlicht, die im Sinne des Key Incidents 7.1.6. mehrfach aufkamen, da sich einige Lösungstexte als einerseits zu lange und andererseits als zu kompliziert herausstellten. Dieser Aspekt wurde von drei Personen auch im schriftlichen Feedback genannt, indem die Lernhilfen als teilweise wenig hilfreich beschrieben wurden, da sie nicht immer verständlich waren. Aus diesem Grund gilt es im Zuge der Überarbeitung der Materialien, die Texte auf den Lösungskarten so prägnant wie möglich zu halten und gleichzeitig auf die Verwendung unnötig langer und komplizierter Sätze zu verzichten, um das Gelesene für die Schüler_innen verständlicher zu gestalten. Obwohl sich die beschriebenen Vorfälle auf die Lösungskarten 1 und 2 beziehen, empfiehlt es sich nichtsdestotrotz, alle anderen Lösungskarten ebenfalls im Hinblick auf diesbezügliche Entwicklungspotentiale zu überprüfen, da manche dieser Karten höchstwahrscheinlich nicht von allen Gruppen genutzt wurden. Dasselbe gilt für die Lernhilfen zur Durchführung der Experimente, für deren Passung deutlich weniger Daten vorliegen als für jene zur Versuchsplanung. Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit, in ausgewählten Lösungskarten Fotos einzufügen, um lange, umständliche Beschreibungen zu vermeiden und damit beispielsweise den Versuchsaufbau oder das Ausrichten der Solarzelle beim Winkelexperiment exemplarisch darzustellen.

7.3.3. Optimierungsvorschläge, die über die Diplomarbeit hinausgehen

Aus der Fülle der gesammelten Daten ergeben sich zahlreiche weitere Optimierungspotentiale, die jedoch den Rahmen der Diplomarbeit weit übersteigen. Nichtsdestotrotz soll an dieser Stelle auf einzelne Vorschläge für eine potentielle Überarbeitung des Leitfadens für Lehrkräfte eingegangen werden, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu stellen. Bereits in Kapitel 3 und 6 wurden einzelne Key Ideas und Schülervorstellungen genannt, die im Leitfaden noch zu ergänzen sind, da sie in der Unterrichtssequenz zwar von Bedeutung sind, jedoch nicht explizit genannt werden.

Unter Berücksichtigung der Key Incident Analyse und der Rückmeldungen der Beteiligten ergibt sich als weiterer Ansatzpunkt für Optimierungen das Zeitmanagement, besonders im Hinblick auf die Planung und das Experimentieren. Viele Experimentiergruppen hatten nämlich nicht die Gelegenheit, ihre Planung fertigzustellen, bevor der gemeinsame Vergleich und anschließend die Experimente folgten. Auch bei der Besprechung der Versuchsplanungen war es in beiden Klassen zeitlich nicht möglich, dass die einzelnen Gruppen ihre Planungen vorstellen. Stattdessen wurde der Vergleich in beiden Fällen stark von der Lehrperson geleitet, wobei sich die Lernenden lediglich durch einzelne Wortmeldungen einbringen konnten. So wurde beispielsweise in der 4B Klasse keine gemeinsame Schaltskizze erstellt, während in der 4A Klasse nicht alle Gruppen die Gelegenheit hatten, ihre Forschungsfrage ausführlich zu begründen und mit ihren Mitschüler_innen darüber zu diskutieren, ob diese angemessen ist.

Den Rückmeldungen der Schüler_innen zufolge hatten mehrere Lernende der 4B Klasse Schwierigkeiten bei der Durchführung der Experimente und hätten mehr Unterstützung zum Aufbau des Versuchs benötigt, nicht zuletzt vielleicht deshalb, weil viele von ihnen keine Schaltskizze während der Planungsphase gezeichnet hatten. Auch in der 4A Klasse gab es mehrere Situationen, in denen sowohl Frau Mag.^a Kolb und Herr Mag. Göbel viel bei der Verschaltung der einzelnen Geräte helfen mussten. Um den Aufbau etwas zu erleichtern und Problemen mit Serien- und Parallelschaltungen von Messgeräten entgegenzuwirken, empfiehlt sich die Verwendung eines ‚Ausstellungsstücks‘, also eines fertig aufgebauten Stromkreises, welches den schwachen Schüler_innen als Modell für ihren eigenen Versuchsaufbau dienen kann, wenn sie nicht mehr weiterwissen. Dies würde auch die Notwendigkeit persönlicher Unterstützung etwas reduzieren.

Ein weiterer Punkt, auf den hier eingegangen werden soll, ist der schriftliche Arbeitsaufwand, der in den Rückmeldungen als deutlich zu hoch angesehen wurde. Für die Lehrerinnen kam zudem hinzu, dass eine solch hohe Anzahl an Kopien im Unterrichtsalltag unrealistisch ist. Als Alternative schlugen mehrere Schüler_innen aus den beiden Testklassen vor, mehr mündlich zu arbeiten und die Zahl an ausgeteilten Zetteln zu reduzieren. Aus diesem Grund ergibt sich die Möglichkeit, die Arbeitsblätter für die Versuchsplanung und Durchführung im Sinne von Gruppenprotokollen nur einmal pro Gruppe auszuteilen. Die Lernenden der Experimentiergruppen entscheiden dann gemeinsam, wer welchen Teil protokolliert und füllen somit insgesamt nur ein Protokoll pro Gruppe aus. Im Hinblick auf die Infoblätter erscheint der Vorschlag von Frau Mag.^a Schimon, die Infoblätter nach der Stunde wieder abzusammeln, ebenfalls als sinnvolle Alternative.

Zu guter Letzt deutet der Key Incident in Abschnitt 7.1.13. darauf hin, dass anschließend an die Experimentierphase eine Aktivität notwendig ist, im Zuge derer den Schüler_innen die Gelegenheit geboten wird, ebensolche Reaktionen zu teilen und über die Nachhaltigkeit von Solarzellen-Powerbanks zu diskutieren. Zunächst war geplant, dies im Rahmen der Nachbesprechung in Phase 5 durch den Punkt „Was spricht dafür, sich eine Powerbank mit Solarzelle zu kaufen, was dagegen?“ zu realisieren.

Aufgrund der Wichtigkeit dieses Aspektes für die Lernumgebung erscheint es jedoch weitaus sinnvoller, diese Aktivität von der Experimentierphase zu lösen und anschließend mit den Überlegungen zur Planung einer PV-Anlage an der eigenen Schule zu verknüpfen. Dies bedarf jedoch einer Umgestaltung der vierten und fünften Einheit der Lernumgebung, was über den Rahmen dieser Diplomarbeit hinausgeht. Nichtsdestotrotz wurde eine Erstversion für ein Arbeitsblatt zur Bearbeitung der Vor- und Nachteile für den Kauf einer Solar-Powerbank erstellt, welches sich im Anhang findet. Dieses könnte von den Schüler_innen entweder in Form von Partnerarbeit oder in Kleingruppen bearbeitet werden. Dabei ergibt sich eine Internetrecherche, um weitere Informationen über den Preis, die Bestandteile und die Eigenschaften des Geräts zu erhalten.

8. Auswertung der Fragebögen zur NdN

Beide Testklassen bestanden aus 27 Schüler_innen, in der 4B Klasse waren zehn davon weiblich und 17 männlich, während sich in der 4A Klasse 13 Mädchen und 14 Jungen befanden. Der Prä- und Post-Fragebogen wurde in der 4B Klasse von 20 und in der 4A Klasse von 21 Schüler_innen ausgefüllt, wobei die restlichen Lernenden, die nur einen der beiden Fragebögen beantwortet hatten, nicht berücksichtigt wurden.⁴ Die Antworten der Schüler_innen werden nun zunächst einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen, deren Ergebnisse anschließend interpretiert werden. Auf Basis der Datenanalyse und -interpretation können weitere Optimierungsvorschläge für die entwickelten und erprobten Unterrichtsmaterialien abgeleitet werden.

8.1. Qualitative Inhaltsanalyse der Antworten

Die größte Schwierigkeit im Zuge der Datenanalyse bestand vor allem darin, die oftmals sehr unterschiedlichen und vielfältigen Antworten der Schüler_innen derart zu kategorisieren, dass zwar eine klare Einordnung jeder Aussage in eine bestimmte Kategorie erfolgen kann, dies jedoch nicht auf Kosten der Übersichtlichkeit geschieht (vgl. Mayring, 2002, S. 118). Zunächst wurden für jedes Item zahlreiche kleine Kategorien erstellt, denen lediglich jeweils eine bis zwei Aussagen zugeordnet werden konnten. Um die Kodierleitfaden für die Datenanalyse kompakter zu gestalten, erfolgte daher eine Bündelung abgegrenzter, jedoch bedeutungsverwandter Unterkategorien in größere Oberkategorien, welche die entsprechenden Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen, kleineren Unterkategorien hervorheben, wie beispielsweise die Tatsache, dass alle Antworten ein teilweise angemessenes Verständnis von Forschung vermitteln. Die schriftliche Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgte auf Basis des erstellten Kodierleitfadens für das jeweilige Item und die entsprechende Testklasse. Für Item 1 soll der Vorgang der qualitativen Inhaltsanalyse auf Basis des Leitfadens exemplarisch dargestellt werden, während sich die Analyse der restlichen Items aufgrund des limitierten Umfangs der Diplomarbeit auf eine Zusammenfassung der Ergebnisse beschränkt.

8.1.1. Item 1: Arbeitsweisen in der Forschung

Was machen NaturwissenschaftlerInnen (z.B. Physiker, Chemiker, Biologen ...), um etwas über die Natur zu lernen? Beschreibe, wie NaturwissenschaftlerInnen bei ihrer Arbeit vorgehen.

a. 4B Klasse⁵

Der vollständige Kodierleitfaden für das erste Item in der 4B Klasse befindet sich in Tabelle 7 im Anhang. Tabelle 5 zeigt die erste Kategorie des Kodierleitfadens. Im Prä-Fragebogen verwiesen die

⁴ Das ursprüngliche Vorhaben, die Antworten der weiblichen und männlichen Lernenden miteinander zu vergleichen, konnte in Ermangelung einer Namensliste für die Zuordnung von Personen und Codes in der 4B Klasse nicht durchgeführt werden.

⁵ Im Zuge der Analyse werden die Ergebnisse der 4B Klasse immer zuerst vorgestellt, da in dieser Klasse die erste Testung durchgeführt wurde.

Aussagen von insgesamt acht Lernenden – und somit beinahe der Hälfte der Klasse – auf eine sehr unbestimmte Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung. Zwei der betroffenen Antworten vermittelten dabei den Eindruck, dass die jeweiligen Schüler_innen kein spezifisches Verständnis forschender Tätigkeiten besitzen. Ein Ankerbeispiel dazu findet sich in Tabelle 5: „Sie forschen, um die Natur besser kennen lernen und auch verstehen zu können“ (S1/10). Zwei weitere Schüler_innen der ersten Kategorie verstanden naturwissenschaftliches Arbeiten als praktisches Ausprobieren, während ein anderes Schüler_innenpaar die Auffassung vermittelte, Naturwissenschaftler_innen würden sich in ihrer Arbeit auf empirische Tätigkeiten wie Beobachtungen und Experimente beschränken. Die restlichen Antworten dieser Kategorie brachten eine Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung als ein Erforschen der Natur zum Ausdruck, im Zuge dessen Wissenschaftler_innen in direktem Naturkontakt stehen. Die zweite Kategorie beschreibt Experimente als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und umfasste vor der Testung ebenfalls acht Antworten. Die ersten beiden Kategorien machten somit bereits 80 Prozent der vermittelten Vorstellungen aus. Die betroffenen Schüler_innen vermittelten ein Verständnis von Experimenten als Ankerpunkt von Forschung, welcher die Grundlage für Beweise, Antworten und neues Wissen bilde. Die dritte Kategorie des Kodierleitfadens beinhaltet die Antworten zweier Schüler_innen, die einerseits die Natur selbst und andererseits das Labor oder das Büro als Arbeitsplätze von Forscher_innen ansahen und somit eine Vorstellung von zwei gegensätzlichen Wirkungsbereichen naturwissenschaftlicher Tätigkeit darstellten. Die vierte und letzte Kategorie umfasst jene Aussagen, in denen ein teilweise angemessenes Verständnis von naturwissenschaftlicher Forschung charakterisiert wurde. Im Prä-Fragebogen fielen darunter zwei Aussagen, wobei ein/e Schüler_in dabei den Aspekt der Theoriebasiertheit nannte, wonach Naturwissenschaftler_innen „das Wissen das schon gesammelt wurde anschauen, und mit dem Gesammelten [sic] Wissen die Natur beobachten. Natürlich muss man schauen, ob man Muster erkennt“ (S1/17), während eine andere Person eine Auffassung von Forschung als Antrieb für technische Innovation und neue Entdeckungen vertrat.

Betrachtet man die Ergebnisse des Post-Fragebogens in Tabelle 3, so ist zu erkennen, dass nach der Testung deutlich weniger Antworten der ersten Kategorie zugeordnet werden konnten. Im Anschluss an die Experimentierphase besaßen vier von ursprünglich acht Schüler_innen eine nicht vorhandene oder diffuse Vorstellung von Forschung, wobei die Auffassung von naturwissenschaftlicher Forschung als Naturforschung nicht mehr genannt wurde. Die restlichen Unterkategorien wurden auf jeweils eine Antwort reduziert. Bei der Person, die keine vorhandene Vorstellung aufzeigte, handelte es sich jedoch nicht um eine der beiden Personen, die im Prä-Fragebogen bereits in diese Unterkategorie gefallen war. Auch die Vorstellung von Forschen als Ausprobieren wurde nach der Testung von einer anderen Person beschrieben als im Prä-Fragebogen. Kategorie 1 musste im Post-Fragebogen um die Unterkategorie 1.5. erweitert werden, da eine Person nun die Auffassung vertrat, naturwissenschaftliche Forschung bestünde in der Nachstellung beziehungsweise Abbildung der realen Natur. Auch Kategorie 2 verlor nach der Testung etwas an Stärke und beinhaltete noch sechs Antworten, wobei sich darunter die Aussagen von

zwei Personen befanden, die zuvor in eine andere Kategorie gefallen waren. Kategorie 3 blieb unverändert, da dieselben Schüler_innen erneut bedeutungsgleiche Antworten gaben. Im Post-Fragebogen konnten außerdem deutlich mehr Antworten identifiziert werden, die Teilaspekte einer angemessenen Vorstellung von Forschung vermittelten. Wie aus dem Kodierleitfaden im Anhang ersichtlich ist, wurde die Theoriebasiertheit naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen nach der Testung von keiner Person mehr genannt, dafür verknüpfte jedoch ein/e Schüler_in mehr als zuvor naturwissenschaftliche Forschung mit Innovation. Der größte Zuwachs konnte aber im Hinblick auf die Vorstellung identifiziert werden, Forschungsprozesse seien durch Fragestellungen geleitet. Während diese Auffassung vor der Durchführung der Lernumgebung von keiner Person der 4B Klasse genannt worden war, vertraten nun sechs Schüler_innen diesen Standpunkt. Nach der Testung brachten somit insgesamt acht Personen der dieser Klasse ein teilweise angemessenes Verständnis von Forschung zum Ausdruck, während die Anzahl an vagen Antworten halbiert wurde.

b. 4A Klasse

Dem Kodierleitfaden für das erste Item in der 4A Klasse in Tabelle 6 kann entnommen werden, dass im Gegensatz zur 4B Klasse deutlich mehr Schüler_innen vor Beginn der Testung überhaupt keine oder lediglich eine unscharfe Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung besaßen, da im Prä-Fragebogen 17 Antworten und somit rund 80 Prozent der Lernenden in diese Kategorie fielen. Während auch in dieser Klasse zwei Antworten keinen Schluss über konkrete Vorstellungen zum Thema zuließen, wurde die Auffassung von Forschen als Ausprobieren im Prä-Fragebogen in der 4A Klasse nicht genannt. Naturwissenschaftliche Forschung wurde von drei Personen als Naturforschung angesehen, während neun Schüler_innen dieselbe allgemeine, empirisch geprägte Vorstellung wie die Schüler_innen der 4B Klasse ausführten. Überdies mussten drei neue Unterkategorien für Kategorie 1 gebildet werden. Zwei Schüler_innen der 4A Klasse verknüpften nämlich Forschung mit Experimenten und Beobachtungen, fügten jedoch hinzu, dass auch die Recherche eine Aufgabe von Naturwissenschaftler_innen darstelle. Eine weitere Person vermittelte ein stark durch Schulerfahrungen geprägtes Bild von Forschung, welches sich in der Aussage „[...] Durch Experimente merkt man sich nämlich die Sachen auch besser“ (S2/8) widerspiegelt. Die letzte Unterkategorie der Kategorie 1 beinhaltet die Antwort „Sie bringen uns bei, wie wir bei Gefahren oder lebenswichtigen Situationen reagieren oder was wir machen müssen“ (S2/20) und repräsentiert eine Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung als Leitung. Kategorie 2 wurde im Prä-Fragebogen in zwei Antworten vertreten, während die Vorstellung in Kategorie 3 von Natur und Labor/Büro als gegensätzliche Arbeitsplätze von einer Person genannt wurde. Teilaspekte einer angemessenen Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung fanden sich vor Beginn der Testung lediglich in einer Antwort, die Forschung mit Innovation verknüpfte.

Die Ergebnisse des Post-Fragebogens im Kodierleitfaden zeigen, dass nach der Testung noch neun Antworten identifiziert werden konnten, die eine unkonkrete Auffassung von naturwissenschaftlicher

Forschung repräsentierten und somit in die erste Kategorie fielen. Eine dieser Antworten ließ dabei keinen Aufschluss über die Auffassung von Forschung auf Seiten des/der Lernenden zu, wobei es sich nicht um dieselbe Person handelte wie im Prä-Fragebogen. Ein/e Schüler_in verknüpfte nach der Durchführung der Lernumgebung Forschung mit Ausprobieren und sechs Schüler_innen vertraten im Anschluss an die Testung eine empirisch geprägte Vorstellung von Forschung. Lediglich zwei dieser Lernenden hatten im Prä-Fragebogen bereits diesen Eindruck vermittelt. Die Auffassung von Forscher_innen als leitende Autoritäten wurde wieder von derselben Person genannt wie zuvor. Kategorie 2 beinhaltete eine Antwort, während die Vorstellung von Labor und Natur als gegensätzliche Arbeitsplätze nach Durchführung der Lernumgebung nicht mehr erwähnt wurde. Im Hinblick auf die Teilaspekte einer korrekten Auffassung von naturwissenschaftlicher Forschung ging zwar niemand mehr auf eine mögliche Verknüpfung von Forschung und Innovation ein, jedoch beschrieb eine Person die Arbeit von Naturwissenschaftler_innen als planvolles Vorgehen: „Sie planen etwas sehr ausführlich und die Ergebnisse dokumentieren sie und interpretieren sie auch“ (S2/13). Zehn Schüler_innen nannten überdies die Bedeutung von Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschungsprozessen und vermittelten somit ebenfalls eine teilweise angemessene Vorstellung von Forschung.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

Vergleicht man die beiden Klassen miteinander, so zeigt sich, dass eine allgemeine, empirisch geprägte Vorstellung von Forschung in der 4A Klasse deutlich stärker vertreten war als in der 4B Klasse. Umgekehrt hat sich herausgestellt, dass in der 4B Klasse sehr viel häufiger eine Auffassung von Experimenten als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisse vermittelt wurde als in der 4A Klasse, wo diese nach der Testung lediglich von einer Person genannt wurde. Was die Erlangung von teilweise realistischen Vorstellungen über Forschungsprozesse angeht, so konnten nach Durchführung der Unterrichtssequenz in der 4B Klasse 40 Prozent der Antworten dieser Kategorie zugeordnet werden, während in der 4A Klasse bereits rund die Hälfte der Schüler_innen diese Meinung vertraten. Obwohl somit in der 4A Klasse mehr Schüler_innen nach der Testung angemessene Vorstellungen vermitteln konnten, so repräsentierten jedoch gleichzeitig doppelt so viele Antworten eine vage Vorstellung von Forschung als in der 4B Klasse.

Tabelle 5. Kodierleitfaden für die erste Kategorie zu Item 1 in der 4B Klasse

Kategorie	Unterkategorie	Definition	Ankerbeispiele	PRÄ	POST	Kodierregeln
1. Keine oder vage Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung	1.1. Keine konkrete Vorstellung von Forschung	Die Schüler_innen besitzen keine konkrete Vorstellung vom Forschungsprozess und beschränken sich in ihrer Antwort auf sehr vage Begriffe und Aussagen.	„Sie forschen, um die Natur besser kennen lernen und auch verstehen zu können.“ „Zuerst eine Frage stellen und dies probieren zu beantworten.“	S1/10 S1/16	S1/17	Immer dann, wenn die Antwort sehr unspezifisch ist und keine Aussagen über konkrete Vorstellungen über Forschung zulässt.
	1.2. Forschen als Ausprobieren	Naturwissenschaftliche Forschung wird mit einem Prozess des Ausprobierens verknüpft, der nicht nach Plan verläuft.	„Sie probieren sicher selber viel aus und experimentieren viel. Dabei versuchen sie, etwas zu lernen und herauszufinden. Sie untersuchen Sachen.“ „Beobachten, fotografieren, probieren, experimentieren“	S1/15 S1/18	S1/19	Immer dann, wenn die Antwort eine Auffassung des praktischen Probierens vermittelt.
	1.3. Allgemeine empiristische Vorstellung von Forschung	Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden ausschließlich mittels empirischer Tätigkeiten gewonnen (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„Sie beobachten und experimentieren.“ „Sie beobachten und untersuchen über was sie lernen wollen. Führen auch Experimente durch.“	S1/7 S1/14	S1/7	Immer dann, wenn der Forschungsprozess vage mit empirischen Aktivitäten wie z.B. Beobachten oder Experimentieren assoziiert wird.
	1.4. Naturwissenschaftliche Forschung als Erforschen der Natur	Naturwissenschaftler_innen gehen in ihrer Forschung in die Natur hinaus und lernen durch Beobachtung oder Interaktion mit der Natur etwas über dieselbe (vgl. Ertl, 2013, S. 18).	„Sie untersuchen die Natur und experimentieren mit ihr.“ „In direkter [sic] Berührung mit der Natur treten.“	S1/12 S1/19	-	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit direktem Naturkontakt gleichgesetzt wird.
	1.5. Naturwissenschaftliche Forschung als Abbilden der Natur	Naturwissenschaftliche Forschung strebt danach, natürliche Vorgänge nachzubilden.	„Sie versuchen bereits in der Natur vorkommende Experimente in möglichst gleicher Form nachzustellen.“	-	S1/1	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit einem Nachahmungsprozess verknüpft wird.

Tabelle 6. Kodierleitfaden für die erste Kategorie zu Item 1 in der 4A Klasse

Kategorie	Unterkategorie	Definition	Ankerbeispiele	PRÄ	POST	Kodierregeln
1. Keine oder sehr vage Vorstellung von Forschung	1.1. Keine konkrete Vorstellung von Forschung	Die Schüler_innen besitzen keine konkrete Vorstellung vom Forschungsprozess und beschränken sich in ihrer Antwort auf sehr vage Begriffe und Aussagen.	„Sie ermitteln oder untersuchen etwas zu dem Thema was sie studieren.“ „Sie forschen über Physik, Chemie und Biologie. Erstmal Überlegung und dann durchführen.“	S2/1 S2/15	S2/2	Immer dann, wenn die Antwort sehr unspezifisch ist und keine Aussagen über konkrete Vorstellungen über Forschung zulässt.
	1.2. Forschen als Ausprobieren	Naturwissenschaftliche Forschung wird mit einem Prozess des Ausprobierens verknüpft.	„Sie probieren viele Sachen aus, experimentieren viel & versuchen, aus den Ergebnissen Schlüsse zu ziehen.“	-	S2/9	Immer dann, wenn die Antwort eine Auffassung des praktischen Probierens vermittelt.
	1.3. Allgemeine empiristische Vorstellung von Forschung	Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden ausschließlich mittels empirischer Tätigkeiten gewonnen (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„Sie müssen genau beobachten und alles dokumentieren was sie sehen. Und sie machen auch viele Experimente, z.B. wie verschiedene Stoffe aufeinander reagieren.“	S2/2 S2/9 S2/10 S2/11 S2/16 S2/17 S2/18 S2/19	S2/5 S2/3 S2/17 S2/7 S2/16 S2/4	Immer dann, wenn der Forschungsprozess vage mit empirischen Aktivitäten wie z.B. Beobachten oder Experimentieren assoziiert wird.
	1.4. Forschen als Empirie und Recherche	Naturwissenschaftliche Forschung beinhaltet sowohl empirische Tätigkeiten als auch Recherche.	„Sie untersuchen, beobachten und recherchieren bestimmte Themen.“	S2/5 S2/12	-	Immer dann, wenn zusätzlich zur Empirie Recherche als forschende Tätigkeit genannt wird.
	1.5. Schulische Vorstellung von Forschung	Der Forschungsprozess gleicht einem Lernprozess in der Schule, wobei Experimente dazu dienen, das Gelernte zu vertiefen.	„Sie machen ein Kapitel nach dem anderen das heißt sie lernen nicht auf einmal, sondern beschäftigen sich genauer nach einander mit den Themen. Zu den verschiedenen Bereichen machen sie sicher auch Experimente. Durch Experimente merkt man sich nämlich die Sachen auch besser.“	S2/8	-	Immer dann, wenn eine stark durch Schulerfahrung geprägte Vorstellung von Forschung besteht.

	1.6. Naturwissenschaftliche Forschung als Erforschen der Natur	Naturwissenschaftler_innen gehen in ihrer Forschung in die Natur hinaus und lernen durch Beobachtung oder Interaktion mit der Natur etwas über dieselbe (vgl. Ertl, 2013, S. 18).	„Suchen Sachen zum Beobachten und schauen z.B. wie Pflanzen wachsen oder Tiere sich fortpflanzen = Biologen.“ „Sie gehen raus in die Natur und erforschen, z.B. man forscht über Fische.“	S2/3 S2/4 S2/7	-	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit direktem Naturkontakt gleichgesetzt wird.
	1.7. Naturwissenschaftliche Forschung als Leitung	Naturwissenschaftler_innen bieten durch ihre Forschung Autorität und wegweisende Informationen für Nicht-Naturwissenschaftler_innen.	„Sie bringen uns bei, wie wir bei Gefahren oder lebenswichtigen Situationen reagieren oder was wir machen müssen.“	S2/20	S2/20	Immer dann, wenn Forschung mit Autorität und Führung verknüpft wird.

8.1.2. Item 2: Naturwissenschaftliche Experimente

Was ist ein naturwissenschaftliches Experiment? Nenne auch ein Beispiel und erkläre, warum es sich dabei um ein Experiment handelt!

a. 4B Klasse

Zwei Schüler_innen der 4B Klasse beantworteten das Item im Prä-Fragebogen nicht. Im Hinblick auf die Eigenschaften eines naturwissenschaftlichen Experiments vermittelten 15 der übrigen 18 Schüler_innen den Eindruck, keine konkrete oder nur eine sehr unbestimmte Vorstellung von Experimenten zu besitzen. Fünf dieser Antworten bezogen sich auf Experimente als ein Prozess des Ausprobierens und Entdeckens, vier andere Lernende identifizierten Experimente mit Beobachtungen. Drei Schüler_innen vermittelten ebenfalls eine diffuse Vorstellung von naturwissenschaftlichen Experimenten, indem sie Experimentieren als Abbilden der Natur interpretierten. Die allgemeine Auffassung, es handle sich bei Experimenten „um eine Untersuchung die sich auf eine naturwissenschaftliche Frage bezieht und versucht einen Vorgang aus der Natur nachzuahmen und zu verstehen, um ihn für Menschen nützlich oder begreiflich macht“ (S1/3), wurde dabei von derjenigen Person vertreten, die bei Item 1 bereits Forschung als Nachahmung der Natur beschrieben hatte. Zwei weitere Lernende dieser Kategorie waren der Meinung, Experimente würden dazu dienen, etwas zu lernen oder mehr über etwas Bestimmtes herauszufinden. Die letzte der 15 Personen, die ein unbestimmtes Verständnis von naturwissenschaftlichen Experimenten vermittelten, setzte diese mit Freilandexperimenten gleich. Zwei Schüler_innen vertraten im Gegensatz dazu eine konkretere Ansicht von naturwissenschaftlichen Experimenten, indem sie in ihren Antworten die Vorstellung zum Ausdruck brachten, Experimente würden der Verifizierung von Theorien oder Behauptungen dienen. Diese Auffassung gleicht stark der in Item 1 thematisierten Beschreibung von Experimenten als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Eine Person der 4B Klasse vermittelte vor der Testung bereits eine teilweise angemessene Auffassung von Experimenten, indem er/sie die Knallgasprobe mit der Begründung „Weil man eine Frage hat die naturwissenschaftlich ist und die Antwort sucht“ (S1/17) als naturwissenschaftliches Experiment beschrieb.

Nach der Testung wurde das Item von 19 der 20 Schüler_innen beantwortet. 13 dieser Antworten und somit über die Hälfte der Testgruppe führten ein diffuses Verständnis von Experimenten an. Im Gegensatz zum Prä-Fragebogen konnten nach der Testung zwei Antworten identifiziert werden, die zwar ein Beispiel für ein naturwissenschaftliches Experiment beinhalteten, jedoch keine Erklärung dazu boten. Bei den ursprünglichen vagen Vorstellungen ergab sich größtenteils eine Umverteilung der betroffenen Schüler_innen. Das Bild von Experimenten als Naturversuche und die Auffassung von Experimentieren als Abbilden der Natur wurden dabei noch immer von derselben Anzahl an Schüler_innen wie im Prä-Fragebogen genannt. Die Vorstellung des Ausprobierens wurde von zwei Lernenden weniger vertreten als zuvor. Nach der Testung identifizierte überdies eine Person

Experimente mit Beobachtungen: „Experimente sind wenn man etwas ausprobiert oder auch wenn z.B. eine Reaktion von Stoffen stattfinden [sic] und dabei ein Ergebnis rauskommt. Experimente können aber auch nur Beobachtungen von z.B. Planeten sein bei denen es Unterschiede gibt“ (S1/4). Dies stellt eine gemischte Vorstellung von Experimenten als Ausprobieren oder als Beobachten dar. Noch immer beschrieben zwei Lernende naturwissenschaftliche Experimente als Beweise von Theorien oder Sachverhalten. Die Anzahl an Schüler_innen, die eine teilweise angemessene Vorstellung von Forschung vermittelten, stieg im Anschluss an die Unterrichtssequenz auf vier Personen an. Die Auffassung von Experimenten als Mittel zur Beantwortung von Fragestellungen wurde dabei von derselben Person genannt wie im Prä-Fragebogen. Zwei weitere Schüler_innen vertraten nun ebenfalls diese Meinung. Eine weitere Person beschrieb im Post-Fragebogen naturwissenschaftliche Experimente im Sinne eines planvollen Vorgehens: „Bei einem Experiment muss man alles planen. Ausgegangen von einer Frage (Forschungsfrage), die man sich überlegt oder die einen beschäftigt, bis zu den Dingen die man benötigt um das Experiment durchzuführen“ (S1/15).

b. 4A Klasse

In der 4A Klasse brachten 18 der 20 Schüler_innen, die das Item beantwortet hatten, keine oder lediglich eine sehr allgemeine Vorstellung von naturwissenschaftlichem Experimentieren zum Ausdruck. Eine dieser Antworten vermittelte keine identifizierbare Auffassung von Experimenten, während zwei Lernende zwar ein Beispiel nannten, jedoch keine Begründung dafür anführten, warum dieses ein Experiment darstelle. Sechs weitere dieser 18 Schüler_innen verbanden Experimente mit einer Auffassung des Ausprobierens und Entdeckens. Auch die Meinung, dass naturwissenschaftliche Experimente mit Naturexperimenten gleichzusetzen seien, wurde in der 4A Klasse von drei Personen genannt. Die sechs übrigen unbestimmten Antworten vermittelten die Vorstellung, Experimente seien dasselbe wie Beobachtungen. Außerdem fanden sich in den Fragebögen zwei Antworten, die Experimente als Beweise von „Sachen“ (S2/11) oder „Dingen“ (S2/12) beschreiben. Teilweise angemessene Vorstellungen von naturwissenschaftlichen Experimenten wurden von keiner Person vermittelt.

Im Post-Fragebogen repräsentierten 14 Schüler_innenantworten eine unscharfe Auffassung von naturwissenschaftlichen Experimenten, wobei sich hier analog zur 4B Klasse eine Umverteilung der Antworten in den vagen Kategorien ergab. Zwei dieser 14 Personen notierten eine Aussage, die keine Auskunft über eine mögliche Vorstellung von Experimenten ermöglichte. Die Kategorie ‚Beispiel ohne Erklärung‘ umfasste nach der Testung mit fünf Erwähnungen mehr Antworten als zuvor. Darunter befanden sich mehrere Aussagen wie „Wie sich verschiedene Farben wie z.B. rot (das Langwelligste) auf eine Solarzelle von dem weißen Licht unterscheidet“ (S2/4), die sich explizit auf Experimente mit Solarzellen als naturwissenschaftliche Experimente bezogen. Die Vorstellung von Experimenten als Ausprobieren und Entdecken wurde im Gegensatz zum Prä-Fragebogen noch von zwei Personen

genannt, die zuvor jedoch nicht diese Auffassung vertreten hatten. Noch immer verstanden drei Schüler_innen naturwissenschaftliche Experimente als Naturversuche. Die Auffassung von Experimenten als Beobachtungen umfasste nach der Testung mit zwei Aussagen deutlich weniger Schüler_innen als zuvor und zeigte somit eine ähnliche Entwicklung wie in der 4B Klasse. Die Vorstellung von Experimenten als Beweise wurde von keiner Person mehr erwähnt. Im Hinblick auf teilweise angemessene Vorstellungen von naturwissenschaftlichen Experimenten ergaben sich nach der Testung dieselben Unterkategorien wie in der 4B Klasse, in die insgesamt sieben Schüler_innen eingeordnet werden konnten. Eine Person vertrat dabei die Ansicht, Experimente würden zur Beantwortung von Fragestellungen dienen, während die sechs restlichen Schüler_innen der Meinung waren, Experimente würden ein strukturiertes, planvolles Vorgehen darstellen.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

In beiden Klassen gab es zu Beginn der Testung kaum konkrete Vorstellungen über naturwissenschaftliche Experimente. Drei Viertel der 4B Klasse und sogar rund 85 Prozent der 4A Klasse vermittelten eine vage Auffassung vom Experimentieren. Auch nach der Testung wurde dieser Eindruck noch von über der Hälfte der Schüler_innen in beiden Testklassen vermittelt. In der 4A Klasse war dabei der Anteil der Antworten, die lediglich ein Beispiel für ein Experiment beinhalteten, deutlich höher als in der 4B Klasse, wobei sich der Großteil dieser Beispiele im Anschluss an die Unterrichtssequenz auf Experimente mit Solarzellen bezog. Im Hinblick auf angemessene Vorstellungsaspekte war die Notwendigkeit einer Forschungsfrage in der 4B Klasse etwas präsenter als in der 4A Klasse, während die planvolle, strukturierte Natur des Experimentierens in der 4A Klasse deutlich öfter genannt wurde als in der 4B Klasse.

8.1.3. Item 3: Experimente in der naturwissenschaftlichen Wissensgenese

Sind Experimente notwendig für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen? Bitte begründe deine Antwort!

a. 4B Klasse

Im Prä-Fragebogen wurden vier Antworten identifiziert, die darauf schließen ließen, dass die entsprechenden Schüler_innen keine oder nur eine unbestimmte Vorstellung vom Nutzen von Experimenten besaßen. Die Aussage „Ja, da ohne sie viele Chemiker [sic] sonst nie auf ihre Ergebnisse [sic] gekommen wären“ (S1/3) bot dabei keinerlei Informationen über konkrete Vorstellungen zum Nutzen von Experimenten. Dies änderte sich im Laufe der Testung nicht, da die betroffene Person auch im Post-Fragebogen dieselbe Antwort gab. Drei weitere dieser vier Schüler_innen vermittelten vor der Testung ebenfalls eine diffuse Vorstellung von der Rolle des Experiments in der naturwissenschaftlichen Wissensgenese, indem sie Aussagen wie „Ja auf jeden Fall. Durch

experimentieren [sic] findet man über die verschiedensten Sachen etwas heraus“ (S1/13) tätigten und somit Experimente allgemein mit einem Wissenszuwachs zu verbinden schienen. Die bereits in Item 2 identifizierte Vorstellung, Experimente dienten als Beweise für Theorien, Thesen oder bestehendes Wissen, spiegelte sich auch hier in den Antworten von vier Personen wider. Insgesamt acht Schüler_innen vermittelten vor der Testung eine zum Teil angemessene Vorstellung vom Nutzen naturwissenschaftlicher Experimente. Drei davon vertraten die Meinung, Experimente würden als Praxistests dienen, um theoretische Überlegungen in der Realität zu überprüfen. Die restlichen fünf dieser acht Antworten stellten die Auffassung dar, der Nutzen von Experimenten bestünde in deren Rolle als Katalysator für Innovation – ein Aspekt, der bereits beim ersten Item des Fragebogens aufkam. Die zwei restlichen Schüler_innen der 4B Klasse vertraten die Meinung, Experimente seien für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen nicht notwendig und begründeten dies dadurch, dass man Dinge auch in der Theorie bestimmen oder beweisen könne.

Im Anschluss an die Experimentierphase zeigten sich insgesamt nur wenige Veränderungen hinsichtlich der Antworten der Schüler_innen, auch wenn mehrere Lernende nun eine andere Vorstellung vermittelten als zuvor. Eine allgemeine Auffassung bezüglich der Rolle von Experimenten in der Forschung wurde noch immer von drei der vier ursprünglichen Antworten reflektiert. Einen Zuwachs an Antworten erlebte das Verständnis von Experimenten als Verifizierung von Theorien, da im Post-Fragebogen nun sieben der 20 Schüler_innen diese Ansicht vertraten. Eine teilweise angemessene Ansicht von Experimenten in der Forschung wurde von insgesamt neun Schüler_innen vermittelt. Die Meinung, Experimente seien der Ausgangspunkt von Innovation, wurde dabei von fünf Lernenden vertreten, drei davon aus dem Prä-Fragebogen. Die Vorstellung von Experimenten als Praxistests wurde von vier Personen genannt; eine davon war bereits vor der Testung in diese Kategorie gefallen. Noch eine Person war nach der Testung der Meinung, Experimente seien nicht notwendig für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens.

b. 4A Klasse

Vor Beginn der Testung vermittelten zwölf der 21 Schüler_innen eine vage Vorstellung von der Rolle eines Experiments in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Die Antworten zweier Lernender ließen dabei kein spezifisches Verständnis vom Sachverhalt erkennen. Vier weitere der zwölf Schüler_innen beschrieben Experimente allgemein als Wissenszuwachs. Wiederum vier andere Personen vertraten die Ansicht, Experimente würden dazu dienen, die Anschaulichkeit eines Phänomens zu erhöhen und damit ein besseres Verständnis zu fördern. Zwei letzte dieser zwölf unbestimmten Antworten brachten ein stark vom Schulkontext geprägtes Bild von Experimenten zum Ausdruck, was beispielsweise durch die Aussage „Ja, da man viel dazu lernen kann was man im Unterricht nicht hört“ (S2/1) repräsentiert wird. Vier Schüler_innen waren der Meinung, Experimente würden als Beweise für Theorien oder ähnliches dienen. Drei weitere Lernende verstanden Experimente als Praxistests, während

eine weitere Person den Nutzen von Experimenten für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung als Ausgangspunkt für Innovation und neue Entwicklungen beschrieb. Somit ließen vier Schüler_innen bereits vor der Testung Teilaspekte einer angemessenen Vorstellung von der Rolle des Experiments in der Forschung erkennen. Es konnte eine Antwort identifiziert werden, die den Eindruck vermittelte, Experimente seien nicht unbedingt notwendig, da man Wissen auch allein durch Beobachtungen erhalten könne.

Nach der Testung charakterisierten insgesamt acht Antworten in der 4A Klasse eine diffuse Auffassung vom Nutzen von Experimenten. Ein Verständnis von Experimenten als Wissenszuwachs konnte in den Antworten dreier Schüler_innen identifiziert werden, wobei keine/r davon einer der vier Personen entsprach, die zuvor in diese Kategorie gefallen waren. In den anderen vagen Unterkategorien fiel lediglich eine der ursprünglichen Antworten weg, während die restlichen Schüler_innen ihre Meinung beibehielten. Einen Zuwachs erfuhr die Vorstellung von Experimenten als Verifizierung von Theorien oder Wissen, da zu den vier ursprünglichen Schüler_innen nach Durchführung der Lernumgebung sechs weitere dazukamen, die diese Ansicht vertraten. Zwei davon vertraten dabei eine durchaus angemessene Vorstellung, da sie experimentelle Beweise mit Hypothesen verknüpften, was beispielsweise in der folgenden Antwort ersichtlich wird: „Natürlich sind sie wichtig! Man kann etwas vermuten, aber man muss ein Experiment durchführen, um diese Vermutung bestätigen zu können“ (S2/10). Die Auffassung von Experimenten als Praxistests wurde nach der Testung noch von einem/einer Schüler_in genannt, während eine andere Person als im Prä-Fragebogen Experimente als Grundlage von Innovation beschrieb. Somit brachten nach der Testung noch immer insgesamt vier Lernende einen Teilaspekt einer angemessenen Vorstellung von Experimenten in der Forschung. Die Meinung, Experimente seien für das Erlangen neuen Wissens in der Naturwissenschaft nicht notwendig, wurde von derselben Person vertreten wie zuvor.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

In der 4A Klasse besaßen vor Beginn der Testung dreimal so viele Schüler_innen eine unscharfe Vorstellung von der Rolle eines Experiments in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung wie in der 4B Klasse, und auch nach der Testung war die Anzahl an vagen Antworten in der 4A Klasse noch doppelt so hoch als in der ersten Klasse. Am häufigsten wurden dabei die Vorstellung von Experimenten als Wissenszuwachs sowie die Auffassung, Experimente würden der Veranschaulichung eines Phänomens dienen, identifiziert. Letztere Verknüpfung mit dem Aspekt der Deutlichkeit oder Klarheit wurde in der 4B Klasse von keiner Person zum Ausdruck gebracht. Die Auffassung von Experimenten als Verifizierung wurde nach der Testung in der 4B von sieben der 20 Lernenden vermittelt, während diese Vorstellung in der 4A Klasse sogar von beinahe der Hälfte aller Antworten charakterisiert wurde. In der 4A Klasse befanden sich darunter jedoch zwei Schüler_innen, die diesen Verifizierungsprozess korrekterweise mit Hypothesen verknüpften und nicht mit Theorien, Wissen oder vage mit Dingen oder

Sachen. Im Gegensatz dazu wurde der Nutzen von Experimenten in der 4B Klasse weitaus häufiger im Sinne von Praxistestungen und Innovation beschrieben. Während in der 4B Klasse nach der Testung eine Person mehr als zuvor und beinahe die Hälfte der Klasse eine teilweise angemessene Vorstellung vom Experimentieren in der Forschung vermitteln konnte, waren es in der 4A Klasse gleich viele Lernende wie im Prä-Fragebogen, wobei diese nicht einmal 20 Prozent der Antworten ausmachten. Die Ansicht, experimentelle Untersuchungen seien nicht notwendig für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens, hatte sich bereits vor der Testung keines besonderen Zuspruchs erfreut und wurde in beiden Klassen nach der Testung jeweils von lediglich einer Person genannt.

8.1.4. Item 4: Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschung

Zwei SchülerInnen, Alice und Bob, diskutieren über naturwissenschaftliche Forschung. Alice sagt, dass solche Untersuchungen immer mit einer naturwissenschaftlichen Fragestellung beginnen müssen. Bob ist der Meinung, dass das nicht so ist. Wem stimmst du zu und warum?

a. 4B Klasse

Das vierte Item des Fragebogens wurde vor der Testung von 17 der 20 Schüler_innen der 4B Klasse beantwortet. 13 davon stimmten in ihrer Antwort Alice zu, die behauptet, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen immer mit einer naturwissenschaftlichen Fragestellung beginnen müssten. Sieben dieser Schüler_innen konnten nur eine diffuse Begründung für ihre Entscheidung liefern, wobei wiederum vier dieser Begründungen derart unklar waren, dass sie keinen Rückschluss über die exakten Vorstellungen der betroffenen Personen zuließen. Die drei restlichen dieser sieben vagen Antworten brachten die Ansicht zum Ausdruck, ohne Forschungsfrage könnten mit der Untersuchung keine Ergebnisse erzielt beziehungsweise keine Antworten erhalten werden. Eine weitere Person vertrat die durchaus adäquate Vorstellung, Forschung sei wissentlich und unwissentlich immer durch Fragestellungen geleitet: Antwort lautete: „Alice, weil bei Forschungen auf eine Frage eine Antwort sucht. Aber es kommt auch vor das etwas passiert und man dann darauf eine Frage sucht. Wobei man da sich auch die Frage stellt was suche ich?“ (S1/17). Drei weitere Schüler_innen brachten ebenfalls eine angemessene Auffassung durch Antworten wie „Es muss eine Fragestellung bestehen, denn sonst wüsste ich ja nicht wie ich z.B. ein Experiment gestalten müsste“ (S1/9) zum Ausdruck, in denen Fragestellungen als Motiv und Zielsetzung naturwissenschaftlicher Untersuchungen dargestellt wurden. Vier Personen vertraten im Gegensatz dazu die Meinung, Bob habe recht, wobei eine der Antworten keine Begründung beinhaltete. Die drei restlichen Lernenden dieser Kategorie begründeten ihre Ansicht dadurch, dass man sinnvoll experimentieren oder beobachten könne, ohne sich dabei eine Frage zu stellen. Auch die Auffassung, sowohl Bob als auch Alice hätten bis zu einem gewissen Maße recht, wurde von zwei Personen der 4B Klasse vertreten, wobei eine Forschungsfrage als optional angesehen wurde.

Im Anschluss an die Testung wurde das Item von 19 der 20 Schüler_innen beantwortet, wobei drei davon eine sehr allgemeine Antwort gaben. Eine davon war noch immer sehr undeutlich, während die anderen beiden der Argumentation folgten, dass es ohne Frage kein Ergebnis gäbe. Eine Person mehr als zuvor vertrat die angemessene Ansicht, Forschung sei automatisch durch Fragestellungen geleitet. Die adäquate Vorstellung, Fragestellungen würden als Motiv und Zielsetzung naturwissenschaftlicher Untersuchungen fungieren, wurde nun von neun Schüler_innen und somit von rund der Hälfte der 4B Klasse vertreten. Vier davon hatten bereits im Prä-Fragebogen diese Auffassung ausgeführt. Drei Antworten zugunsten von Bob konnten auch im Post-Fragebogen identifiziert werden. Diejenigen Schüler_innen, die zuvor geantwortet hatten, dass sowohl Alice als auch Bob recht hätten, änderten ihre Meinung auch nach der Testung nicht.

b. 4A Klasse

In der 4A Klasse stimmten 17 der 21 Schüler_innen mit ihrer Antwort Alice zu, wobei fünf dieser Antworten eine unscharfe Begründung für die Zustimmung beinhalteten. Die Unterkategorien konnten dabei analog zur 4B Klasse erstellt werden. Zwei dieser Antworten waren sehr unklar, während die restlichen drei Aussagen die Vorstellung beinhalteten, dass man ohne Frage zu keiner Antwort oder zu keinem Ergebnis komme. Die restlichen zwölf der 17 Schüler_innen vertraten die korrekte Meinung, Fragestellungen seien als Motiv und Zielsetzung von Forschung zu verstehen. Antworten zugunsten von Bob wurden von vier Schüler_innen gegeben, während keine Person vor der Testung die Meinung vertrat, beide oder keiner von beiden habe recht.

Im Post-Fragebogen konnten noch drei vage Antworten ermittelt werden, wobei zwei davon keinen Aufschluss über die dahinterliegende Vorstellung von Fragestellungen im Forschungsprozess ermöglichten. Eine/r der zwei betroffenen Schüler_innen hatte bereits im Prä-Fragebogen eine unklare Antwort gegeben. Die andere Person war zuvor in die Kategorie „Ohne Fragestellung kein Ergebnis“ gefallen. Diese Kategorie umfasste nach der Testung noch eine Antwort, wobei diese von einer Person stammte, die im Prä-Fragebogen Fragestellungen als Motiv und Zielsetzung von Forschung beschrieben hatte. Letztere angemessene Vorstellung wurde nun von 16 der 21 Schüler_innen vermittelt. Drei davon hatten zuvor Bob zugestimmt, wobei nach Durchführung der Lernumgebung nun keine Person mehr diese Meinung vertrat. Stattdessen antworteten nun zwei Schüler_innen, dass sowohl Alice als auch Bob beide teilweise recht/unrecht hätten.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

Vergleicht man beide Klassen miteinander, so ist zu erkennen, dass in der 4A Klasse mehr Schüler_innen bereits im Prä-Fragebogen Alice zugestimmt hatten und der Anteil an vagen Antworten hier etwas geringer ausfiel als in der 4B Klasse. Während nach der Testung etwas weniger als die Hälfte der 4B Klasse die Meinung vertraten, dass eine Fragestellung festlegt, was man herausfinden will und

somit bestimmt, wie das wie das Experimentiersetting realisiert und das Experiment durchgeführt wird, wurde diese Vorstellung in der 4A Klasse sogar von rund drei Viertel der Antworten reflektiert. Unschlüssigkeit bezüglich der Frage, ob Alice oder Bob recht hat, wurde in beiden Klassen nach der Testung von jeweils zwei Schüler_innen vermittelt, jedoch waren in der 4B Klasse noch immer drei Personen der Meinung, Bob habe recht, während in der 4A Klasse niemand mehr Bob zustimmte.

8.1.5. Item 5a: Unterscheidung zwischen Beobachtung und Experiment

Charlie geht an hundert verschiedenen Tagen von März bis Juni um die Mittagszeit spazieren. Er hat bei seinem Spaziergang die Sonne beobachtet. Dabei ist ihm aufgefallen, dass es immer dann besonders kalt ist, wenn die Sonne nicht scheint. Er hat auch herausgefunden, dass ihm bei strahlendem Himmel und viel Sonnenschein beim Spazieren meistens deutlich wärmer ist als bei wenig Sonne. Charlie schließt daraus, dass es einen Zusammenhang zwischen der Sonne und der Temperatur auf der Erde gibt.

a) *Ist diese Untersuchung ein Experiment? Warum / warum nicht?*

a. 4B Klasse

Das Item wurde von 17 Schüler_innen beantwortet. Vor Beginn der Testung waren sieben davon der Meinung, das genannte Beispiel sei kein Experiment. Zwei dieser Lernenden begründeten ihre Antwort mit einer relativ diffusen Aussage wie „Es ist kein Experiment weil erstens es eine Tatsache ist und es Allgemeinbildung ist zu wissen, dass die Sonne Wärme abgibt“ (S1/6) und beschrieben somit die Auffassung, es handle sich dabei um ein reines Erkennen von Fakten. Die fünf restlichen dieser sieben Schüler_innen drückten eine angemessene Unterscheidung zwischen Beobachtungen und Experimenten aus, indem sie Charlies Untersuchung entweder explizit als Beobachtung beschrieben oder betonten, dass Charlie nicht aktiv handle oder in seine Umwelt eingreife und er dabei nicht experimentiere. Im Gegensatz dazu vertraten zehn Schüler_innen die Ansicht, dass es sich bei Charlies Untersuchung sehr wohl um ein Experiment handle, wobei zwei davon ihre Meinung entweder überhaupt nicht oder nur mit einer unklaren Aussage begründeten. Eine weitere Person war der Meinung, Charlies Untersuchung sei ein Experiment, da sie nachvollziehbar und wiederholbar sei. Die restlichen sieben Lernenden begründeten diese Ansicht damit, dass Charlie seine Umgebung aufmerksam beobachte und dabei etwas herausfinde oder eine Schlussfolgerung aus seiner Untersuchung ziehe.

Im Anschluss an die Testung ließen sich nur wenige Änderungen feststellen, wobei das Item von 19 der 20 Schüler_innen beantwortet wurde. Noch immer vertraten sieben Schüler_innen die Ansicht, es handle sich bei Charlies Untersuchung nicht um ein Experiment. Die vage Auffassung, Charlies Untersuchung sei mit dem Erkennen von Tatsachen gleichzusetzen, wurde dabei lediglich von einer der

beiden Personen aus dem Prä-Fragebogen vertreten. Die korrekte Auffassung, Charlie würde lediglich beobachten und kein Experiment durchführen, wurde noch immer von fünf Antworten ausgeführt. Eine davon stammte von einer Person, die das Item im Prä-Fragebogen ursprünglich mit ‚Ja‘ beantwortet hatte. Gleichzeitig wechselte einer Person nach der Testung in ihrer Antwort von einer korrekten Vorstellung zur Meinung, Charlie habe experimentiert. 13 Schüler_innen vertraten im Gegensatz dazu die Meinung, es handle sich bei Charlies Unterfangen um ein Experiment. Dabei nannten auch im Post-Fragebogen zwei dieser Schüler_innen keine Begründung für ihre Ansicht. Zwei weitere Lernende gaben eine relativ vage Antwort und beschrieben Charlies Untersuchung als Experiment, da er damit Fragen beantworte. Weitere neun der ‚Ja‘-Antworten ließen ebenso wie im Prä-Fragebogen die Vorstellung erkennen, Charlie führe ein Experiment durch, „[...] weil er etwas beobachtet was sich vielleicht verändert und er dadurch ein Ergebnis bekommt“ (S1/4).

b. 4A Klasse

Die Ansicht, es handle sich bei Charlies Untersuchung nicht um ein Experiment, wurde im Prä-Fragebogen von zehn Schüler_innen der 4A Klasse vertreten. Zwei dieser Antworten vermittelten auch in dieser Klasse die vage Vorstellung, es handle sich bei dem untersuchten Sachverhalt um Tatsachen und Fakten und das Unterfangen stelle deshalb kein Experiment dar. Eine weitere Person argumentierte, Charlie würde im Beispiel nicht planvoll handeln und daher auch nicht experimentieren: „Nein es ist ihm ja nur aufgefallen, bei Experimenten bereitet man sich vor und schaut wie das Experiment ausgeht. Es ist nicht zufällig, Experimente sind gezielte Forschungen“ (S2/7). Sechs Schüler_innen vertraten die adäquate Ansicht, Charlie würde lediglich beobachten und nicht experimentieren. Im Gegensatz dazu waren elf Lernende der Meinung, das Beispiel entspräche einem Experiment. Die Auffassung, es handle sich um ein Experiment, da Charlie seine Umgebung beobachtet und Schlussfolgerungen zieht, wurde dabei von zehn der elf Antworten dargestellt. Eine weitere Person antwortete mit „Ich denke schon“ (S2/2), gab jedoch keine Begründung dafür an.

Im Post-Fragebogen vertraten noch neun Schüler_innen die Ansicht, es handle sich bei dem Beispiel nicht um ein Experiment, während nun zwölf Lernende die gegensätzliche Meinung zum Ausdruck brachten. Die vage Auffassung, es handle sich bei der Untersuchung um eine Feststellung von Tatsachen, wurde von einer Person weniger genannt als vor der Testung. Vier weitere dieser neun Schüler_innen begründeten ihre Antwort mit der angemessenen Vorstellung, dass es sich dabei um eine Beobachtung handle oder dass Charlie nicht aktiv eingreife. Drei davon hatten bereits im Prä-Fragebogen diese Meinung vertreten. Weitere drei der Lernenden, welche die Fragestellung verneinten, nannten als Grund dafür, dass es sich dabei nicht um ein strukturiertes Vorgehen handle: „Es ist nicht wirklich ein Experiment, da es auf keiner Fragestellung beruht, er keine Rahmenbedingungen kontrolliert oder ausgeschaltet hat und er wahrscheinlich die Experimente nicht dokumentiert hat“ (S2/10). Keine dieser Antworten stammte von der Person, die bereits im Prä-Fragebogen derart

argumentiert hatte. Von den restlichen elf Schüler_innen, die das Item mit ‚Ja‘ beantworteten, nannten im Gegensatz zum Prä-Fragebogen nur mehr acht Personen als Begründung, dass Charlie Beobachtungen machen und daraus Schlussfolgerungen ziehen würde, wobei sechs davon bereits vor der Testung diese Vorstellung zum Ausdruck gebracht hatten. Die restlichen drei Schüler_innen dieser Kategorie beschrieben Charlies Untersuchung als Experiment, da sie bestimmte Schritte eines typischen Experimentierprozesses inkludiere, was durch Antworten wie „Ja weil man sich eine Frage gestellt hat. Dazu hat man auch eine Hypothese aufgestellt und beobachtet“ (S2/18) dargestellt wird.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

Vergleicht man nun die Ergebnisse vor und nach der Testung, so zeigt sich in keiner der beiden Testklassen eine erhebliche Veränderung in den Vorstellungen der Lernenden. In der 4B Klasse blieb die Anzahl an Schüler_innen, welche der Ansicht waren, Charlie habe kein Experiment durchgeführt, auch nach der Testung unverändert, während sie in der 4A Klasse sogar um eine Person sank. Die angemessene Unterscheidung zwischen Experiment und Beobachtung wurde in der 4B Klasse dabei im Prä- und im Post-Fragebogen von fünf Personen genannt, während sie in der 4A Klasse im Anschluss an die Unterrichtssequenz von zwei Schüler_innen weniger erwähnt wurde. Mehr als die Hälfte der Schüler_innen in beiden Klassen behielten somit die Vorstellung bei, es handle sich bei Charlies Untersuchung um ein Experiment. Die im Prä-Fragebogen beliebteste Begründung für diese Annahme lautete, er habe seine Umgebung aufmerksam beobachtet und dabei etwas festgestellt oder herausgefunden und/oder eine Schlussfolgerung aus seiner Untersuchung gezogen. Während diese Antwort in der 4B Klasse nach der Testung noch mehr an Zustimmung erreichte, ergab sich in der 4A Klasse diesbezüglich ein leichter Rückgang. Etwaige Kategorienwechsel in der 4B Klasse fanden beinahe ausschließlich innerhalb der ‚Ja‘- beziehungsweise ‚Nein‘-Kategorie statt, mit der Ausnahme einer Person, die im Prä-Fragebogen mit ‚Nein‘ geantwortet hatte und im Post-Fragebogen anschließend mit ‚Ja‘ stimmte. Von den drei Schüler_innen der 4B Klasse, die das Item zu Beginn der Testung nicht beantwortet hatten, antwortete eine Person mit ‚Nein‘, während die restlichen zwei Lernenden der Meinung waren, es handle sich bei Charlies Untersuchung um ein Experiment. Vergleicht man dies mit der 4A Klasse, so zeigt sich ein etwas anderes Bild. In dieser Klasse änderten nämlich vier Lernende ihre Meinung von ‚Nein‘ zu ‚Ja‘, während drei Schüler_innen von ‚Ja‘ zu ‚Nein‘ umschwenkten.

8.1.6. Item 5b: Definition von Naturwissenschaftlichkeit

Charlie geht an hundert verschiedenen Tagen von März bis Juni um die Mittagszeit spazieren. Er hat bei seinem Spaziergang die Sonne beobachtet. Dabei ist ihm aufgefallen, dass es immer dann besonders kalt ist, wenn die Sonne nicht scheint. Er hat auch herausgefunden, dass ihm bei strahlendem Himmel und viel Sonnenschein beim Spazieren meistens deutlich wärmer ist als bei wenig Sonne.

Charlie schließt daraus, dass es einen Zusammenhang zwischen der Sonne und der Temperatur auf der Erde gibt.

b) Ist diese Untersuchung naturwissenschaftlich? Warum / warum nicht?

a. 4B Klasse

Das Item wurde im Prä-Fragebogen von lediglich 13 der 21 Schüler_innen beantwortet, wobei diese ausnahmslos die Meinung vertraten, Charlies Untersuchung sei naturwissenschaftlich. Von diesen 13 Personen begründeten elf Schüler_innen ihre Antwort vage dadurch, dass die Untersuchung etwas mit der Natur zu tun habe, wobei Aussagen wie „Ja, weil die Sonne die Natur beeinflusst“ (S1/1) oder „Ja, denn seine Untersuchung befasst sich mit der Natur“ (S1/2) typisch für diese Vorstellung waren. Vier weitere Schüler_innen vertraten die ebenso unkonkrete Meinung, Charlies Untersuchung sei naturwissenschaftlich, da sie etwas mit einem naturwissenschaftlichen Themengebiet wie der Wärmeabgabe der Sonne, der Körperwärme oder der Temperatur auf der Erde zu tun habe oder einer naturwissenschaftlichen Disziplin wie Physik, Chemie oder Biologie zuzuordnen sei. Eine letzte Antwort der 4B Klasse demonstrierte die Auffassung, Charlies Untersuchung sei naturwissenschaftlich, da sie wiederholbar sei.

Im Post-Fragebogen ergab sich eine etwas höhere Beteiligung der Lernenden, da nun 17 Schüler_innen die Frage beantwortet hatten. Eine dieser Personen gab im Fragebogen an, dass Charlie nicht naturwissenschaftlich gehandelt habe, ohne eine Begründung für diese Annahme zu nennen. Die restlichen 16 Lernenden vertraten noch immer die Meinung, die Untersuchung sei naturwissenschaftlich, wobei sich die Argumente dafür im Vergleich zum Prä-Fragebogen nur leicht verändert hatten. Zwei davon gaben nach der Testung keine Begründung mehr für ihre Meinung an, während fünf der zuvor noch acht Lernenden die Vorstellung vermittelten, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen durch Naturrelevanz gekennzeichnet seien. Die Auffassung, Charlies Unterfangen sei naturwissenschaftlich, da es sich dabei um ein naturwissenschaftliches Themengebiet handle, wurde nun von sieben und somit von drei Schüler_innen mehr als zuvor vertreten. Die Wiederholbarkeit der Untersuchung als Begründung für deren Naturwissenschaftlichkeit wurde noch immer von derselben Person genannt wie vor der Testung. Eine weitere Person beschrieb nun außerdem, dass es sich um eine naturwissenschaftliche Untersuchung handle, da man dazu eine naturwissenschaftliche Frage stellen könne, was einen Teilaspekt einer angemessenen Antwort bildet.

b. 4A Klasse

In der 4A Klasse vertraten 19 der 20 Schüler_innen, die das Item im Prä-Fragebogen beantwortet hatten, die Ansicht, Charlie habe eine naturwissenschaftliche Untersuchung durchgeführt. Eine Person gab dabei lediglich eine unverständliche Antwort an, während 16 Schüler_innen auch in dieser Klasse als Begründung nannten, dass Charlies Beobachtung etwas mit der Natur zu tun habe. Zwei weitere Lernende vertraten die Ansicht, es handle sich um eine naturwissenschaftliche Untersuchung, da diese ein naturwissenschaftliches Themengebiet umfasse. Im Gegensatz dazu vertrat eine Person der 4A Klasse die Meinung, dass Charlie nicht naturwissenschaftlich gearbeitet habe, da er „keine naturwissenschaftlich [sic] Fragestellung hatte“ (S2/17).

Vergleicht man diese Ergebnisse mit jenen des Post-Fragebogens, so lassen sich auch in dieser Klasse keine grundlegenden Veränderungen feststellen. Das Item wurde erneut von jemandem nicht beantwortet, wobei es sich um eine Person handelte, die zuvor der Meinung gewesen war, es handle sich aufgrund der Relevanz innerhalb eines naturwissenschaftlichen Themengebiets um eine naturwissenschaftliche Untersuchung. Letztere Kategorie beinhaltete nach der Testung fünf Antworten und somit drei mehr als zuvor, während die Ansicht, Naturwissenschaftlichkeit würde durch Naturrelevanz beziehungsweise Naturkontakt begründet, noch von zwölf der ursprünglich 16 Schüler_innen vertreten wurde. Zwei Personen nannten eine vage Begründung für ihre Zustimmung, wobei beide im Prä-Fragebogen der Kategorie der Naturrelevanz zugeordnet gewesen waren. Auch im Post-Fragebogen war dieselbe Person noch immer der Meinung, es handle sich nicht um eine naturwissenschaftliche Untersuchung und begründete dies nun durch die Aussage „Nein, weil er nicht in geordneter Form geforscht hat“ (S2/17).

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

Die Ergebnisse in den beiden Klassen fallen sehr ähnlich aus, wobei die Ansicht, Charlie habe eine naturwissenschaftliche Untersuchung durchgeführt, sowohl vor als auch nach der Testung deutlich überwiegt. Nur eine Person in der 4B Klasse stimmte im Post-Fragebogen mit ‚Nein‘, nachdem sie das Item zuvor nicht beantwortet hatte, während in der 4A Klasse im Prä- und Post-Fragebogen dieselbe Person diese Meinung vertrat. In beiden Klassen vermittelte der Großteil der restlichen Antworten vor der Testung die Vorstellung, Naturwissenschaftlichkeit sei mit Naturrelevanz beziehungsweise Naturkontakt gleichzusetzen. Diese Kategorie beinhaltete im Anschluss an die Testung in der 4B Klasse drei und in der 4A Klasse vier Antworten weniger als zuvor, während die Gleichsetzung von Naturwissenschaftlichkeit mit der Relevanz in einem naturwissenschaftlichen Themengebiet nach der Unterrichtssequenz in beiden Klassen von drei Schüler_innen mehr als im Prä-Fragebogen genannt wurde.

8.1.7. Item 6: Kreativität in der Forschung

NaturwissenschaftlerInnen versuchen, mit Untersuchungen bzw. Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden. Denkst du, dass NaturwissenschaftlerInnen ihre Phantasie und Kreativität benutzen, wenn sie diese Untersuchungen bzw. Experimente durchführen?

- a) Falls NEIN, erkläre bitte warum!*
- b) Falls JA, in welchem Teil / welchen Teilen ihrer Untersuchungen (Planung, Durchführung, Beobachtung, Datenauswertung, Interpretation der Daten, Bericht der Ergebnisse etc.) denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität?*
Bitte gib nach Möglichkeit Beispiele an.

a. 4B Klasse

Das letzte Item wurde im Prä-Fragebogen von fünf Schüler_innen nicht beantwortet. 14 der 16 restlichen Lernenden vertraten die Ansicht, Kreativität und Phantasie seien im Forschungsprozess zu verorten. Die Vorstellung, dass diese besonders vor dem eigentlichen Versuch zum Einsatz kämen, wenn Naturwissenschaftler_innen Fragen und Vermutungen aufstellen, Thesen formulieren oder nach Ideen für neue Experimente suchen, wurde dabei von vier Personen vertreten. Fünf weitere Schüler_innen beschrieben den Nutzen von Kreativität und Phantasie im Untersuchungsprozess darin, dass Forscher_innen dadurch besser improvisieren oder modellieren können, was durch das folgende Ankerbeispiel verdeutlicht wird: „Sie benutzen ihre Phantasie bei der Planung (braucht man um die Umstände nachzustellen) und in der Interpretation (um ihre Daten auf die reale Natur zu übertragen)“ (S1/5). Zwei weitere Lernende nannten zwar eine oder mehrere Untersuchungsphasen, in denen Kreativität und Phantasie zum Einsatz kämen, gaben jedoch keine Begründung dafür an. Die letzten drei dieser 14 Schüler_innen vertraten die Meinung, Phantasie und Kreativität seien in einer oder mehrerer Phasen des Untersuchungsprozesses von Relevanz, betonten dabei jedoch, dass dies ausschließlich für die genannten Aktivitäten gelte, während Kreativität beziehungsweise Phantasie in den restlichen Bereichen des Forschungsprozesses nicht erlaubt sei. Eine dieser Personen meinte beispielsweise: „Meist in der Planung und der Interpretation, da man bei denn [sic] anderen Bereichen nach Fakten vorgehen soll“ (S1/3). Ein/e Schüler_in der 4B Klasse vertrat im Prä-Fragebogen überdies die Meinung, dass es sich bei Naturwissenschaftler_innen um objektive Datensammler_innen handle, die keine Kreativität oder Phantasie in ihren Untersuchungen benötigen würden, da sie mit Fakten arbeiten würden.

Im Anschluss an die Testung wurde das Item von allen Schüler_innen der 4B Klasse beantwortet. Insgesamt verorteten 17 der 20 Lernenden Kreativität oder Phantasie im Forschungsprozess, d.h. drei mehr als zuvor. Sechs davon vertraten nun die Meinung, Kreativität sei vor allem für die allgemeine Ideenfindung vor dem eigentlichen Forschungsprozess einzusetzen. Drei dieser Schüler_innen sahen

Kreativität in Bezug auf Modellieren und Improvisieren als notwendig an. Fünf der 17 Lernenden (und somit deutlich mehr als im Prä-Fragebogen) nannten eine oder mehrere Phasen des Untersuchungsprozesses als Einsatzbereiche für Kreativität beziehungsweise Phantasie, ohne dafür eine Begründung zu geben. Die Ansicht, Kreativität sei nur in ausgewählten Phasen erlaubt, wurde auch nach der Testung von drei Personen vertreten. Die Vorstellung von Kreativität als Verfälschung objektiver naturwissenschaftlicher Forschung wurde im Post-Fragebogen von drei Schüler_innen zum Ausdruck gebracht. Keine/r dieser drei Lernenden entsprach derjenigen Person, die im Prä-Fragebogen diese Antwort gegeben hatte. Zwei davon hatten das Item zuvor nicht beantwortet, ein/e weitere/r hatte zuvor eine oder mehrere Phasen ohne Begründung genannt.

b. 4A Klasse

In der 4A Klasse wurde das Item im Prä-Fragebogen von einer Person nicht beantwortet, wobei diese auch nach der Testung die Frage ausließ. Vor Beginn der Unterrichtssequenz gab es zwei unklare Antworten, die keinen Aufschluss über die Vorstellung darüber gaben, in welchen Phasen des Forschungsprozesses Naturwissenschaftler_innen ihre Phantasie und Kreativität einsetzen. Grundsätzlich ließen diese Antworten jedoch eine Zustimmung erkennen. 14 der restlichen Schüler_innen vertraten die Ansicht, Kreativität und Phantasie besäßen einen berechtigten Platz im Untersuchungsprozess, wobei acht dieser Personen diese Eigenschaften mit der allgemeinen Ideenfindung vor der eigentlichen Untersuchung verknüpften. Fünf weitere Schüler_innen waren der Meinung, Phantasie und Kreativität würden dazu dienen, im Forschungsprozess zu improvisieren oder bestimmte Umstände oder Phänomene zu modellieren. Die letzte der 14 Personen nannte die Planung und Durchführung eines Experiments als Einsatzbereiche für Kreativität, wobei keine weitere Erläuterung dazu gegeben wurde. Im Gegensatz dazu vertraten vier Lernende im Prä-Fragebogen die Ansicht, dass Phantasie und Kreativität nichts im Untersuchungsprozess verloren hätten.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Antworten im Post-Fragebogen, so zeigt sich eine leichte Veränderung der Zuordnungen. Noch immer konnten zwei unbestimmte, jedoch zustimmende Antworten identifiziert werden. Diese stammten dabei nicht von denselben Schüler_innen wie im Prä-Fragebogen, sondern von einer Person, die Kreativität zuvor als Mittel zur Ideenfindung angesehen hatte und einer weiteren Person, die Kreativität als Modellieren und Improvisieren verstanden hatte. Die Auffassung, Kreativität und Phantasie würden in einer oder mehreren Phasen des Untersuchungsprozesses eine Rolle spielen, wurde von zwölf Schüler_innen und somit von zwei Schüler_innen weniger als zuvor vertreten. Von diesen zwölf Lernenden waren auch im Post-Fragebogen wieder acht der Ansicht, Kreativität und Phantasie kämen vor allem im Zuge der Ideenfindung zum Einsatz. Nur drei davon hatten auch im Prä-Fragebogen diese Ansicht zum Ausdruck gebracht. Die Auffassung des Modellierens und Improvisierens wurde von einer Person genannt, welche vor der Testung der gerade genannten Kategorie zugeordnet gewesen war. Zwei Schüler_innen mehr als

zuvor vertraten nun die Meinung, Kreativität würde in einer oder mehrerer Untersuchungsphasen eingesetzt, ohne dafür eine Begründung zu nennen. Auch ein/e Schüler_in der 4A Klasse vertrat nach der Testung den Standpunkt, Kreativität und Phantasie seien nur in bestimmten Phasen der Forschung erlaubt, und antwortete mit „Ich glaube sie können schon manchmal ihre Phantasie benutzen doch manchmal auch nicht. Bericht der Ergebnisse und Beobachtung darf man nicht die Phantasie benutzen aber sonst glaub ich schon“ (S2/16). Eine weitere Person antwortete mit „Sie könnten es überall einsetzen“ (S2/13) und ließ somit die angemessene Vorstellung erkennen, dass Kreativität den gesamten Untersuchungsprozess durchziehe. Im Vergleich zum Prä-Fragebogen änderte sich die Meinung derjenigen Schüler_innen, die Kreativität als nicht wünschenswert im Forschungsprozess beschrieben hatten, nicht; stattdessen fand sich eine weitere Antwort, die diese Vorstellung vermittelte.

c. Vergleich der Entwicklung in beiden Klassen

Die beiden Klassen zeigen ein sehr ähnliches Muster, was die Veränderung der Vorstellungen über die Rolle von Kreativität und Phantasie in naturwissenschaftlichen Untersuchungsprozessen betrifft. Auffällig ist besonders die Tatsache, dass in beiden Testklassen nach der Durchführung der Experimentierphase eine höhere Anzahl an Schüler_innen die Ansicht vertrat, Naturwissenschaftler_innen würden bei ihrer Arbeit objektiv und neutral vorgehen, ohne dabei Kreativität oder Phantasie einzusetzen. Während die 4B Klasse diesbezüglich einen Anstieg von einer auf drei Antworten verzeichnete, erhöhte sich die Anzahl an Antworten in der 4A Klasse von vier auf fünf Aussagen. Die dominanteste Vorstellung stellte in beiden Klassen jedoch die Relevanz von Kreativität in der Ideenfindung dar, wobei diese im Post-Fragebogen von sechs Schüler_innen in der 4B Klasse und von acht Lernenden in der 4A Klasse vermittelt wurde. In beiden Testklassen war diese Antwort jedoch bereits zuvor schon relativ stark vertreten gewesen. In der 4A Klasse hatte sich somit an dieser Kategorie im Laufe der Testung nichts geändert, während die Antwortzahl in der 4B Klasse nur leicht gestiegen war. Die Auffassung, Kreativität sei in bestimmten Phasen nicht erlaubt, war in der 4B Klasse bereits vor Beginn der Testung vorhanden und änderte sich ebenfalls kaum, während sie sich in der 4A Klasse nur bei einer Person nach der Testung entwickelt hatte. Lediglich eine Person der 4A Klasse vermittelte nach der Unterrichtssequenz die angemessene Auffassung, Kreativität könne überall im Forschungsprozess eingesetzt werden, während dieses Verständnis in der 4B Klasse ausblieb.

8.2. Dateninterpretation und Optimierungsvorschläge auf Basis der Fragebögen

Die Datenanalyse bietet interessante Ergebnisse, die es nun zu interpretieren gilt. Einerseits sollen auf Basis dieser Betrachtungen und den Ergebnissen der Key Incident Analyse Vorschläge für die Optimierung der Lernumgebung abgeleitet werden. Andererseits gilt es, herauszufinden, wie sich die Vorstellungen der Lernenden in der bereits bestehenden fachdidaktischen Literatur verorten lassen und inwiefern sich diese durch die Lernumgebung verändert haben.

8.2.1. Optimierung der NdN-Aktivitäten

Die Lernumgebung beinhaltet zwei Aktivitäten, die sich explizit mit den Eigenschaften naturwissenschaftlicher Forschung beschäftigen. Im Infoblatt 2, welches die Schüler_innen individuell lesen sollen, erhalten sie Auskunft über die Eigenschaften von Experimenten in der naturwissenschaftlichen Forschung. In einzelnen, nummerierten Kurztexten wird dabei neben der Rolle von Forschungsfragen und Hypothesen auf die Notwendigkeit der Parametervariation und der Kontrolle der Rahmenbedingungen während des Experiments hingewiesen. Außerdem wird der Nutzen einer Messplanung und der Auseinandersetzung mit den verwendeten Messgeräten thematisiert, ebenso wie die Dokumentation und Interpretation der Messdaten sowie die Diskussion der Ergebnisse. Vorgesehen ist anschließend, dass die Schüler_innen im Plenum gemeinsam unter Moderation der Lehrperson die wichtigsten Aspekte naturwissenschaftlichen Experimentierens wiederholen. Die zweite Aktivität im Rahmen des NdN-Lernens ist die Reflexion im Zuge des Arbeitsblatts „*Haben wir heute geforscht?*“, welche im Anschluss an die Experimentierphase folgt. Dabei sollen die Schüler_innen nach der Methode des Aushandelns auf die Aussagen, die von vier Kindern in einem Concept Cartoon getätigt werden, entlang der bereits in Abschnitt 7.1.14. genannten Aufgabenstellung reagieren:

Die Schüler_innen unten haben genau dieselbe Untersuchung durchgeführt wie ihr und diskutieren nun darüber, was das mit Forschung zu tun hat. Wer hat Recht? Warum? Warum nicht?

Zunächst beantworten die Schüler_innen die Frage individuell und notieren dabei ihre Vermutung darüber, welche der Personen im Concept Cartoon sich im Recht oder Unrecht befindet, und begründen ihre Meinung. Anschließend sollen sie zu zweit ihre Antworten vergleichen und gemeinsam versuchen, sich auf eine Antwort zu einigen sowie ihre Hypothese mit Begründung notieren. Die Schritte werden anschließend in einer Vierergruppe wiederholt und zu guter Letzt werden die Ergebnisse im Klassenplenum verglichen und diskutiert.

Die Datenanalyse zeigt, dass mehrere Optimierungen notwendig sind, um einen Lernprozess im Hinblick auf die Natur der Naturwissenschaften beziehungsweise die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Forschung zu fördern. Betrachtet man zunächst die Tatsache, dass in beiden Testklassen erst nach der Durchführung der Experimentierphase eine Forschungsfrage als Teil eines

naturwissenschaftlichen Untersuchungsprozesses angesehen wurde, so kann daraus geschlossen werden, dass die Lernumgebung einen gewissen Einfluss auf diese Entwicklung ausgeübt hat. Dieser erscheint jedoch ausbaufähig angesichts der zahlreichen Vorstellungen von Experimenten und Forschung, die ohne die Erwähnung naturwissenschaftlicher Fragestellungen auskommen. Daher empfiehlt es sich, im Infoblatt 2 ausführlicher auf die zentrale Rolle von Forschungsfragen als Ausgangspunkt und Leitfaden jeglicher naturwissenschaftlichen Untersuchungen einzugehen und diesen Umstand auch in der anschließenden Aufbereitung der Inhalte des Infoblatts gemeinsam zu besprechen. Darüber hinaus wäre es aufgrund des bisher nur begrenzten Lernerfolgs im Hinblick auf das Verständnis naturwissenschaftlicher Forschung wichtig, zu thematisieren, welche Aktivitäten Naturwissenschaftler_innen in ihrer Arbeit durchführen und welche Rolle das Experiment in diesem Prozess der naturwissenschaftlichen Wissensgenese spielt. Dabei ist es einerseits von zentraler Bedeutung, den Schüler_innen zu vermitteln, dass Experimente an sich niemals automatisch Beweise liefern, sondern stets einer Interpretation bedürfen (vgl. Heering & Höttecke, 2011, S. 13). Dies wäre im Infoblatt 2 zu ergänzen, ebenso wie die Tatsache, dass Experimente nicht die einzige Möglichkeit empirischer Datensammlung darstellen, sondern dass viele Untersuchungen in verschiedenen naturwissenschaftlichen Teilbereichen auf Beobachtungen beruhen. Andererseits erscheint es notwendig, eine explizite Abgrenzung von Experimenten und Beobachtungen herzustellen und deren Unterschiede gemeinsam aufzuarbeiten. Im Sinne einer solchen Klärung könnte auch eine Definition des Begriffs ‚Naturwissenschaftlichkeit‘ angestrebt werden, um die Verknüpfung zur von Ertl (2013, S. 18) beschriebenen „romantischen Naturbeobachtung“ zu lösen. Im Hinblick auf den Aspekt der Kreativität bietet sich ebenfalls eine kurze Textstelle im Infoblatt 2 an, welche dieses Thema anspricht, sowie eine Integration in die abschließende Reflexion, wobei das Ausmaß, in dem Forscher_innen ihre Kreativität einsetzen, diskutiert werden kann.

Diese Optimierungsvorschläge sind zwar prinzipiell sinnvoll, jedoch ist es praktisch unmöglich, derart viele zusätzliche Informationen in das ohnehin schon sehr umfangreiche Infoblatt über Experimente in der Forschung zu geben. Somit können diese Ansprüche durch das Infoblatt in seiner momentanen Form nur bedingt bis kaum erfüllt werden. Zunächst ist es notwendig, einen sinnvollen Rahmen für den Einsatz des Infoblatts zu schaffen, um dieses mehr mit dem Unterrichtsverlauf zu verknüpfen und den Aspekt des NdN-Lernens bereits zuvor in die Lernumgebung zu integrieren. Dabei könnte die Lehrkraft die Lernenden bereits im Zuge der Explore-Phase der dritten Einheit auf die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Forschung hinleiten. Im Zuge der Bearbeitung der Fragestellung „*Welche messbaren Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?*“ könnte die Lehrkraft die Schüler_innen fragen, wie Naturwissenschaftler_innen an diese Frage herangehen würden. Dies könnte in Form einer Kartenabfrage umgesetzt werden, wobei die Schüler_innen Kärtchen erhalten, auf denen sie ihre Ideen dazu notieren und die anschließend an der Tafel gesammelt und gemeinsam besprochen werden. In der Explain-Phase kann zur Frage „*Wie gehen*

Wissenschaftler_innen bei Untersuchungen bzw. Experimenten vor?“ übergegangen werden, wobei zunächst die Vermutungen der Schüler_innen gesammelt werden und dann mit dem Infoblatt über Experimente in der Forschung gestartet werden kann.

Berücksichtigt man außerdem die Probleme der Lernenden sowie der Lehrenden mit dem jetzigen Umfang des Textes, so erscheint es notwendig, eine völlige Neugestaltung des Infoblatts in Form eines Arbeitsblatts in Betracht zu ziehen. Der in Abschnitt 7.2.3. beschriebene Key Incident zeigt, dass in beiden Klassen kaum eine Nachbesprechung der Inhalte stattfand und die Lernenden die Länge des zu lesenden Textes als unangenehm empfanden. In diesem Sinne liefert der Vorschlag einer Schülerin „Komm wir teilen Fifty-Fifty“ (Sw4) einen ersten Ansatzpunkt für die Optimierung des Infoblatts, welche wiederum eine Verbesserung des NdN-Lernens nach sich ziehen könnte. Da der Text nämlich bereits in einzelne Abschnitte gegliedert ist, ergibt sich die Möglichkeit, diese Textteile in Form von Textstreifen an die Schüler_innen zu verteilen, die anschließend den Text nach Art eines Puzzles wieder zusammensetzen müssen. Dem Rat von Frau Mag.^a Kolb folgend ist dabei jedem Einzeltext ein entsprechendes Bild zuzuordnen, welches thematisch zu dessen Inhalt passt und somit visuelle Unterstützung bietet (vgl. Kircher, 2009, S. 119). Überdies soll jedem Text eine passende Überschrift zugeordnet werden. Insgesamt ergeben sich acht Textabschnitte, wobei jeder dieser Abschnitte aus einem Bild, einer Überschrift und einem Text besteht. Die Lehrkraft druckt diese mit Hilfe der entsprechenden Vorlage aus und zerschneidet sie. Jede/r Lernende erhält ein Set von 8 Textteilen, wobei immer einer dieser Teile von der Lehrkraft mit einem farbigen Punkt markiert wird. Zusätzlich wird den Schüler_innen das Arbeitsblatt ausgeteilt, auf dem sie einen kurzen Einführungstext sowie den folgenden Arbeitsauftrag finden:

Überlegt euch eine Reihenfolge für die einzelnen Textteile anhand der Bilder und Überschriften. Lest anschließend nur den markierten Text und beschäftigt euch mit diesem so, dass ihr ihn später präsentieren könnt.

Die Lernenden ordnen die Textteile in den dafür vorgesehenen Leerstellen auf dem Arbeitsblatt individuell an und lesen den markierten Text. Anschließend finden sie sich je nach Klassengröße idealerweise mit sieben anderen Schüler_innen zusammen, wobei alle zuvor einen anderen Textabschnitt gelesen haben. Gemeinsam können sie ihre Vorschläge für die Anordnung dieser Abschnitte teilen und jede/r kann auf Basis des gelesenen Textes argumentieren, warum gerade dieser Teil an einer bestimmten Stelle stehen soll. Die Lehrkraft kann nun die großen, eventuell folierten Bild- und Überschriftenkarten dazu verwenden, gemeinsam mit den Schüler_innen an der Tafel oder an einer Wand die richtige Reihenfolge zu legen, während die Expert_innen für die einzelnen Abschnitte dabei erklären, worum es in ihrem Text geht. Durch diese Umgestaltung wird ein erhöhtes Maß an Kommunikation zwischen den Lernenden einerseits und kognitiver Aktivierung andererseits ermöglicht. Die großen Karten könnten auch im Klassenzimmer aufgehängt werden und würden somit

als Orientierung für künftige Untersuchungen dienen, indem die einzelnen Elemente eines Forschungsprozesses für alle sichtbar sind und für jedes Experiment erneut angewendet werden können. Dabei kann auch diskutiert werden, inwiefern überhaupt eine fixe Reihenfolge dieser Punkte besteht und unter welchen Umständen gewisse Schritte ausgelassen oder vertauscht werden.

Optimierungen im Hinblick auf den Concept Cartoon bestehen darin, die einzelnen Personen mit Namen zu versehen, da es somit einfacher für die Schüler_innen ist, sich auf die jeweilige Aussage zu beziehen und dabei umständliche Formulierungen der Art ‚Ich bin der Meinung da von diesem Typen da links oben‘ vermieden werden können. Die beobachteten Schwierigkeiten im Hinblick auf die Abgrenzung zwischen der eigenen Meinung und den Aussagen im Concept Cartoon, die in Abschnitt 7.1.14. beschrieben wurden, zeigen außerdem, dass klar formuliert werden sollte, ob die Schüler_innen ihre eigene Meinung zum Forschungsprozess oder lediglich in Bezug auf die vier dargestellten Aussagen diskutieren sollen. Aus diesem Grund wird das Arbeitsblatt in zwei separate Aufgaben mit den Titeln ‚Was denkst du?‘ und ‚Cartoon‘ gegliedert. Im ersten Teil halten die Schüler_innen schriftlich ihre eigene Ansicht dazu fest, inwiefern die durchgeführte Untersuchung etwas mit Forschung zu tun hat. Im zweiten Teil finden sich zuerst die Aufgabenstellungen zum Concept Cartoon und dann die vier Aussagen, da viele Schüler_innen in den Testklassen den Cartoon direkt in ihren Vierergruppen besprochen hatten, anstatt zunächst alleine und dann zu zweit daran zu arbeiten. Außerdem wird bei den einzelnen Punkten klarer formuliert, was genau verlangt wird, wobei es weniger um das Ausmaß der Zustimmung im Hinblick auf eine der vier Personen im Concept Cartoon geht, sondern vor allem darum, die eigenen Meinungen über den eigenen Forschungsprozess zu vergleichen und gemeinsam herauszufinden, welche Aussagen im Cartoon wahr beziehungsweise angemessen sind und welche nicht, um diese beiden Aspekte etwas mehr zu trennen.

Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, eine Aussage im Concept Cartoon zu ergänzen, die sich mit Kreativität in der Forschung beschäftigt, um auch diesen Teilaspekt der Naturwissenschaften im Rahmen der Lernumgebung explizit thematisieren zu können. Beispielsweise ist es möglich, die beiden Sprechblasen *„Ich glaube, wir haben heute geforscht. Wir haben nicht nur einfach experimentiert, sondern unsere Messwerte dokumentiert und interpretiert. Außerdem haben wir uns auch mit den Messgeräten und ihrer Genauigkeit beschäftigt“* und *„Ich denke schon, dass wir heute geforscht haben. Wir haben uns eine Forschungsfrage überlegt und dazu selbst ein Experiment geplant und durchgeführt. Das machen Wissenschaftler auch so“* zu einer einzigen Aussage verbunden werden, die dann sowohl den Aspekt der Notwendigkeit einer Forschungsfrage als auch die Tatsache beinhaltet, dass Experimentieren über reines Messen hinausgeht. Der neue Text würde dann folgendermaßen lauten: *„Ich glaube, wir haben heute geforscht. Wir haben nicht nur einfach gemessen, sondern uns eine Fragestellung überlegt und dazu selbst ein Experiment geplant, durchgeführt und unsere Messwerte dokumentiert und interpretiert“*. Somit wäre Platz für eine neue Key Idea zum Thema Kreativität, die im Rahmen der Reflexion diskutiert werden kann und in einer Sprechblase mit dem Text *„Ich denke*

schon, dass wir geforscht haben. Wir mussten zwar immer wieder unsere Kreativität und Phantasie benutzen, um Lösungen zu finden und zu improvisieren, aber das machen Forscher doch auch“ repräsentiert ist. Dadurch kann ein direkter Vergleich aller Situationen, in denen die Schüler_innen kreativ sein mussten, und jenen Phasen des naturwissenschaftlichen Experimentierens, die typischerweise mit Kreativität verbunden werden, stattfinden und somit eine Diskussion darüber initiiert werden, inwiefern Forscher_innen objektiv sind, wenn sie ihrer Arbeit nachgehen.

8.2.2. Bezug zu den Schülervorstellungen in der Literatur

Um etwas über den Lernprozess der Schüler_innen im Hinblick auf ihre Präkonzepte zur NdN herausfinden zu können, muss zunächst ein Bezug zwischen den Vorstellungen, die im Zuge der Testung identifiziert werden konnten, und jenen Schülervorstellungen, die in der fachdidaktischen Literatur beschrieben werden, hergestellt werden. Auf Basis dieses Vergleichs kann anschließend eine Interpretation der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse angestellt werden, um daraus Schlüsse über einen möglichen Einfluss der Lernumgebung im Hinblick auf etwaige Veränderungen der Lernendenvorstellungen zu ziehen.

Die in der Literatur beschriebenen Präkonzepte lassen sich in hohem Maße in den Aussagen der Lernenden im Fragebogen wiederfinden. Zunächst vermittelten sehr viele Schüler_innen sowohl vor als auch nach der Testung eine „empiristische Grundhaltung“ (Höttecke, 2001, S. 17), wonach Naturwissenschaftler_innen ausschließlich mittels empirischer Datensammlung Faktenwissen erlangen. Auf die Frage hin, welche Tätigkeiten Forscher_innen durchführen, um ihr Wissen zu erweitern, antworteten einzelne Schüler_innen der 4B Klasse und rund ein Viertel der 4A Klasse sowohl vor als auch nach der Testung mit Aussagen wie „Sie machen Experimente oder Beobachtungen“ (S2/5) und ließen dabei andere forschende Tätigkeiten unberücksichtigt, die nicht empirischer Natur sind, wie beispielweise Computersimulationen oder Berechnungen (vgl. Ertl, 2010, S. 6; Heering & Höttecke, 2011, S. 13). Dieser Eindruck wird durch Antworten wie „Durch experimentieren [sic] findet man über die verschiedensten Sachen etwas heraus“ (S1/13) oder „NaturwissenschaftlerInnen versuchen, mit Untersuchungen bzw. Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden“ (S1/8) verstärkt, da hier vor allem Experimente als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisse angesehen werden. Noch mehr Lernende beider Testklassen gingen jedoch über diese vage empiristische Auffassung hinaus und vermittelten die Vorstellung, Experimente würden ein „Erkennen der Wirklichkeit“ (Höttecke, 2001, S. 17) ermöglichen, indem sie „absolute Beweise“ (Ertl, 2010, S. 6) liefern würden. Antworten wie „Sie versuchen eine These mithilfe verschiedener Experimente zu beweisen“ (S1/1) oder „Nur durch Experimente kommt man zu gesicherten Ergebnissen, ob etwas richtig ist oder falsch“ (S1/15) stehen dabei exemplarisch für eine problematische Vorstellung von Forschung und Experimentieren, denn wie Heering und Höttecke (2011, S. 13) betonen, „[d]as experimentum crucis – also das Entscheidungsexperiment, welches eine Theorie widerlegt oder zwischen konkurrierenden Theorien

entscheidet – gibt es im Prozess der Forschung nicht“. Die Autoren merken an, dass es sich bei der Auffassung, Experimente würden direkt in objektivem und sicherem Faktenwissen münden, lediglich um „eine in der Rückschau geschaffene Interpretation“ handelt, die nicht jene Prozesse berücksichtigt, die sich ‚hinter den Kulissen‘ abspielen, wie „kontroverse Diskussionen und widersprüchliche Befunde“ (Heering & Höttecke, 2011, S. 13).

Weiters erinnert die Auffassung, Naturwissenschaftler_innen würden „in direkt[e] Berührung mit der Natur treten“ (S1/19), die von mehreren Schüler_innen vermittelt wurde, deutlich an die von Ertl (2013, S. 18) beschriebene Verknüpfung von Naturwissenschaft mit einer „romantischen Vorstellung eines Weltreisenden Alexander von Humboldt oder der bloßen Naturbeobachtung und Protokollierung eines Francis Bacon“. Naturwissenschaftliche Forschung wurde von den Lernenden somit als ein aktives Erforschen der Natur aufgefasst, im Zuge dessen Forscher_innen in die Natur hinausgehen und dabei durch Beobachtung oder Interaktion mit derselben ihr Wissen erweitern (vgl. Ertl, 2013, S. 18). Auch naturwissenschaftliche Experimente wurden beschrieben als „Ein experiment [sic] wo es um die Natur geht bzw. über natürliche Sachen“ (S2/14) und teilweise sogar mit Naturbeobachtungen gleichgesetzt: „Ein naturwissenschaftliches Experiment ist zum Beispiel, wenn man eine Pflanze dabei beobachtet, wie man ihr Wasser zuführt und schaut, wie sie darauf reagiert“ (S2/10). Auch die Antworten zu Item 5 verstärken diesen Eindruck, da ein Viertel der 4B Klasse und sogar über die Hälfte der 4A Klasse auch nach der Testung noch die Ansicht vertraten, naturwissenschaftliche Forschung sei durch ihre Naturrelevanz gekennzeichnet, was beispielsweise durch die Aussage „Ja, weil es mit der Natur zu tun hat“ (S2/10) repräsentiert wird. Charlies Untersuchung wurde überdies von rund der Hälfte beider Testklassen im Prä- und Post-Fragebogen als Experiment angesehen, was mit Aussagen wie „Ich glaube es ist eine Art von Experimenten [sic], weil er etwas beobachtet was sich vielleicht verändert und er dadurch ein Ergebnis bekommt“ (S1/4) begründet wurde. Auch hier lässt sich eine Identifikation von Experimenten mit reiner Naturbeobachtung erkennen, wobei einerseits die Tatsache vernachlässigt wird, „[...] dass eine bloße empirische Beobachtung der Natur noch keine Naturwissenschaft ausmacht“ (Ertl, 2013, S. 18) und andererseits übersehen wird, dass sich Experimente von Beobachtungen durch „aktives Eingreifen und Gestalten von Natur und Technik unter kontrollierbaren Rahmenbedingungen“ (Heering & Höttecke, 2011, S. 13) unterscheiden.

Eine weitere in der Literatur genannte Schülervorstellung, die sich in den Ergebnissen der qualitativen Inhaltsanalyse wiederfindet, ist das Verständnis von Experimentieren als „planloses Ausprobieren und Entdecken“ (Höttecke, 2010, S. 21). Die Analyse zeigt, dass mehrere Antworten in beiden Testklassen diese Vorstellung reflektieren, wobei die Schüler_innen sich dabei nicht nur auf Experimente, sondern auch auf Forschung im Allgemeinen bezogen. Im Hinblick auf das erste Item des Fragebogens repräsentieren Aussagen wie „Sie probieren sicher selber viel aus und experimentieren viel. Dabei versuchen sie, etwas zu lernen und herauszufinden. Sie untersuchen Sachen“ (S1/15) ein solches Bild von Forschung, das kein „zielgerichtetes Handeln“ (Höttecke, 2001, S. 17) einschließt. Auch die

Antworten „Zum Beispiel ist die Knallgasprobe ein naturwissenschaftliches Experiment. Man testet und probiert dabei etwas aus“ (S1/2) und „Sie experimentieren um etwas herauszufinden was passiert. z.B. Filtrieren mit blauer Tinte ob es durchgeht, ob der Filter blau bleibt“ (S2/3) stehen repräsentativ für die zahlreichen Aussagen, welche die von Höttecke beschriebene Schülervorstellung reflektieren. Die Auffassung von Experimentieren als Ausprobieren ist außerdem eng verknüpft mit der Meinung darüber, ob Forschungsprozesse durch Fragestellungen geleitet sind. Mehrere Personen beider Testklassen vertraten sowohl vor als auch nach der Testung die Ansicht, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nicht mit einer naturwissenschaftlichen Frage beginnen müssen, und dass man unter Umständen auch „einfach drauf los experimentiert“ (S1/8), was wiederum eine gewisse Ziellosigkeit impliziert.

Die qualitative Inhaltsanalyse zeigt überdies, dass mehrere Schüler_innen der 4B Klasse nach Duit (2009, S. 609) „naive Realisten“ darstellen, denn „[s]ie scheinen jedenfalls davon auszugehen, dass die Physik die Wirklichkeit ‚eins-zu-eins‘ getreu abbildet“. Hinweise dafür liefern die Antworten mehrerer Schüler_innen der 4B Klasse, die naturwissenschaftliches Experimentieren mit Aussagen wie „Um ein Experiment handelt es sich, wenn man die Natur nachstellt, um etwas zu beweisen“ (S1/5) beschrieben. Auch die Antwort „Sie versuchen bereits in der Natur vorkommende Experimente in möglichst gleicher Form nachzustellen“ hinsichtlich der Tätigkeiten von Forscher_innen reflektiert die Auffassung, Naturwissenschaftler_innen könnten mittels Experimenten die Natur genau modellieren und nachstellen und zeigt somit ein mangelndes Bewusstsein dafür, dass, wie Ertl (2013, S. 20) es formuliert, „[...] sämtliche Modelle unzureichend sind, dass sie mehr oder weniger viel aussparen, vernachlässigen und vereinfachen“.

Bei näherer Betrachtung der Antworten zu Item 6 ist außerdem zu erkennen, dass sich eine weitere Schülervorstellung aus der Literatur in den Aussagen der Lernenden wiederfindet, nämlich die Auffassung, Forscher_innen seien „besonders objektiv und logisch-rational“ (Ertl, 2013, S. 19). Sowohl in der 4A Klasse als auch in der 4B Klasse konnten vor und nach der Testung einige Antworten identifiziert werden, die darauf hindeuteten, dass Naturwissenschaftler_innen als objektive Datensammler_innen angesehen werden, die keine Kreativität oder Phantasie in ihren Untersuchungen benötigen, da sie sich lediglich auf Fakten verlassen (vgl. Höttecke, 2001, S. 17). Diese Ansicht spiegelt sich unter anderem in den Antworten auf die Frage, ob Naturwissenschaftler_innen ihre Phantasie und Kreativität einsetzen, wider. Beispiele dafür sind die Aussagen „Nein weil das sonst gelogen ist und man sonst alles sagen kann was man will“ (S2/4) oder „Nein, da sie nur bestimmte Vorgänge aufzeichnen“ (S1/19). Der Großteil der restlichen Schüler_innen, die Kreativität und Phantasie als Bestandteil von Forschung verstanden, verorteten diese vor dem eigentlichen Untersuchungsprozess, wenn es darum geht, auf Ideen zu kommen, Fragen und Vermutungen aufzustellen oder Thesen zu formulieren. Diese Antwort repräsentiert laut Lederman, Abd-El-Khalick, Bell und Schwartz (2002, S. 508) ein prototypisches Verständnis unerfahrener Schüler_innen, welches ein stark reduziertes Bild von

Kreativität in der Forschung vermittelt. Antworten wie „Meist in der Planung und der Interpretation, da man bei denn [sic] anderen Bereichen nach Fakten vorgehen soll“ (S1/3) verstärken überdies den Eindruck, dass Kreativität ausschließlich in gewissen Untersuchungsphasen als angemessen oder erlaubt angesehen wird, während in anderen Schritten des Forschungsprozesses wiederum lediglich Objektivität und Fakten zählen (vgl. Lederman et al., 2002, S. 508).

Zusätzlich zu diesen häufig vorkommenden Lernendenvorstellungen konnten zwei weitere Präkonzepte aus der Literatur in einzelnen Antworten identifiziert werden. Insgesamt drei Schüler_innen nannten die Natur und das Labor als gegensätzliche Arbeitsbereiche von Naturwissenschaftler_innen, was beispielsweise in der Aussage „Sie untersuchen Naturgebiete oder forschen in einem Labor nach“ (S2/13) reflektiert wird. Dies entspricht der von Höttecke (2001, S. 11) genannten Auffassung vom „Labor als typischer Arbeitsplatz“, welche hierbei jedoch um das Verständnis von Forschung als direkter Naturkontakt (siehe oben) ergänzt wurde. Eine weitere Person beschrieb die Arbeit von Naturwissenschaftler_innen folgendermaßen: „Sie bringen uns bei, wie wir bei Gefahren oder lebenswichtigen Situationen reagieren oder was wir machen müssen“ (S2/20). Höttecke (2010, S. 9) folgend vermittelt diese Aussage eine Vorstellung von Forscher_innen als „hilfreiche Autorität[en]“, die durch ihre Forschung wegweisende Leitung für Nicht-Naturwissenschaftler_innen bieten.

8.2.3. NdN-Lernen mit Hilfe der ausgetesteten Materialien

Die bisherige Analyse und Interpretation der Antworten auf die Fragebögen lassen einige Trends im Hinblick auf die Veränderung der Schülervorstellungen im Laufe der Testung erkennen. Auf Basis dieser Entwicklungsschemata können Vermutungen darüber aufgestellt werden, inwiefern die durchgeführten Aktivitäten beziehungsweise die dabei verwendeten Unterrichtsmaterialien einen Lernprozess im Bereich der Natur der Naturwissenschaften ermöglichen.

Die qualitative Inhaltsanalyse für Item 1 zeigt, dass der Anteil an Antworten, die einen Teilaspekt einer angemessenen Vorstellung von Forschung repräsentieren, im Anschluss an die Experimentierphase deutlich höher war als zuvor, wobei dies acht Schüler_innen der 4B Klasse und elf Schüler_innen der 4A Klasse betrifft. Der Zuwachs an Lernenden, welche die Ansicht vertraten, dass eine Forschungsfrage den Ausgangspunkt eines Forschungsprozesses darstelle, könnte auf das Infoblatt zur Forschung und vor allem auf dessen Besprechung im Plenum zurückzuführen sein, da im Zuge dessen beide Lehrerinnen die Notwendigkeit einer Forschungsfrage betonten. Frau Mag.^a Schimon stellte dabei relativ knapp einen Bezug zur Vorwissenschaftlichen Arbeit her, während Frau Mag.^a Kolb intensiver auf die Rolle einer Fragestellung als ‚roter Faden‘ einging, der sich durch den gesamten Forschungsprozess zieht (vgl. Abschnitt 7.1.3.). Möglicherweise ist dies auch der Grund, dass dieser Aspekt von Forschung in der 4A Klasse nach der Testung häufiger genannt wurde als in der 4B Klasse. Auch der eigene Planungsprozess der Schüler_innen könnte in diesem Zusammenhang zu der Entwicklung eines angemesseneren Verständnisses des Forschungsprozesses geführt haben, da die

Lernenden selbst eine Forschungsfrage aufstellen mussten, welche den Ausgangspunkt für die weitere Bearbeitung des Themas darstellte. Dies scheint jedoch hinsichtlich der Eigenschaften naturwissenschaftlichen Forschung praktisch die einzige adäquate Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung zu sein, deren Entwicklung mit Hilfe der Unterrichtssequenz in deutlich gefördert werden konnte, da weitere angemessene Vorstellungen eines Forschungsprozesses wie die Auffassung von Forschung als Ausgangspunkt für Innovation, als planvolles Vorgehen oder als theoriebasiertes Unterfangen nur von einzelnen Schüler_innen genannt wurden und nach der Testung teilweise ausblieben. In beiden Klassen gab es im Anschluss an die Unterrichtssequenz noch immer mehrere Schüler_innen, die eine vage oder problematische Sichtweise von Forschung vermittelten. Nichtsdestotrotz lässt dies darauf schließen, dass die Lernumgebung bis zu einem bestimmten Grad erfolgreich darin war, eine realistische Vorstellung über die Aktivitäten zu vermitteln, die Naturwissenschaftler_innen durchführen, um das naturwissenschaftliche Wissen zu erweitern. Trotz einer offenbar deutlichen Verbesserung des Verständnisses von Forschung blieben die problematischen Auffassungen vieler Schüler_innen jedoch vorhanden.

Ähnlich fielen die Ergebnisse für das zweite Item des Fragebogens aus. Im Anschluss an die Unterrichtssequenz vermittelten vier Schüler_innen in der 4B Klasse eine (teilweise) realistische Vorstellung von naturwissenschaftlichen Experimenten, während dies in der 4A Klasse sogar einem Drittel der Lernenden gelang. Zwar konnte auch der Anteil an Schüler_innen, welche ein Verständnis vom Experimentieren als Ausprobieren sowie die Auffassung einer Gleichsetzung von Experimenten und Beobachtungen verringert werden, jedoch wurden die Vorstellungen von Experimenten als Abbilden der Natur und als Naturversuche offenbar kaum beeinflusst. Die Tatsache, dass kaum angemessene (Teil-)Vorstellungen von Experimenten identifiziert werden konnten und noch immer mehr als die Hälfte beider Testklassen lediglich eine vage Auffassung von Experimenten besaßen, lässt darauf schließen, dass die Unterrichtssequenz noch nicht genügend Input liefert, welcher die Entwicklung angemessener Vorstellungen zum Experimentieren in der Naturwissenschaft maßgeblich fördert. Hinzu kommt, dass das gemeinsame Lesen und Besprechen des Infoblatts, das hierzu sehr viele Informationen liefern hätte sollen, von den Lehrpersonen stark verkürzt und im Nachhinein als wenig attraktive Aktivität beschrieben wurde. Dies könnte ebenfalls zum mangelhaften Lernfortschritt im Hinblick auf dieses Themengebiet beigetragen haben, da keine explizite Diskussion über die Eigenschaften naturwissenschaftlicher Experimente stattfand. Der Zuwachs an Antworten, die eine realistische Vorstellung von naturwissenschaftlichen Experimenten vermittelten, kann daher höchstwahrscheinlich auf einen impliziten Lernprozess im Rahmen der eigenen Planung, Durchführung und Nachbereitung der Untersuchungen im Rahmen der Unterrichtssequenz sowie die abschließende Reflexion zurückgeführt werden und weniger auf den expliziten Input des Infoblatts.

Im Hinblick auf die Frage nach der Rolle von Experimenten in der naturwissenschaftlichen Wissensgenese zeigen die Ergebnisse der Inhaltsanalyse nach der Testung einen Anstieg an Antworten,

die das von Heering und Höttecke (2011, S. 13) beschriebene Präkonzept des naturwissenschaftlichen Experiments als „Entscheidungsexperiment“ vermitteln. Was die Vermittlung einer angemessenen Vorstellung vom Nutzen eines Experiments angeht, so konnte der bereits bestehende Teilaspekt einer adäquaten Auffassung von Experimenten als Ausgangspunkt (technischer) Innovation in der 4B Klasse nur bedingt beeinflusst werden, da zwei Personen nach der Testung wieder von dieser Meinung abließen, während zwei weitere Schüler_innen neu in diese Kategorie dazukamen. Die zum Teil angemessene Vorstellung von Experimenten als Praxistests erfuhr in der 4B Klasse einen Anstieg, jedoch beinhaltete die Kategorie am Ende der Unterrichtssequenz nur noch eine der Personen, die bereits im Prä-Fragebogen diese Ansicht vertreten hatten. In der 4A Klasse fiel das Ergebnis etwas anders aus, da hier die Praxistest-Kategorie sogar an Stimmen verlor, während die Innovations-Kategorie vor und nach der Testung lediglich von einer Person genannt wurde. Zwei Schüler_innen verknüpften jedoch im Anschluss an die Testung diesen Verifikationsaspekt mit der Testung von Hypothesen und zeigten somit ein durchaus adäquates Verständnis von der Rolle naturwissenschaftlicher Experimente in der Forschung. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Lernumgebung zwar die Auffassung verstärkt, dass naturwissenschaftliches Wissen durch empirische Daten bestimmt wird (vgl. Ertl, 2010, S. 6), dabei jedoch scheinbar für einen Großteil der Lernenden ein problematisches und verkürztes Bild dieses Vorgangs vermittelt wird, was in der Vorstellung mündet, Experimente würden automatisch und ausnahmslos zu Nachweisen, Antworten oder Faktenwissen führen.

Was die Notwendigkeit einer Forschungsfrage für naturwissenschaftliche Untersuchungen angeht, so kann der Analyse für Item 4 entnommen werden, dass die angemessene Vorstellung, eine Forschungsfrage würde als Motiv, Zielsetzung und Orientierungspunkt für naturwissenschaftliche Untersuchungen dienen, in beiden Klassen im Laufe der Testung deutlich an Zustimmung gewann. Dieser Anstieg weist auf einen Lernprozess im Zuge der durchgeführten Unterrichtssequenz hin, auch wenn sich diese Kategorie in beiden Klassen bereits vor der durchgeführten Unterrichtssequenz unter den dominantesten Vorstellungen befunden hatte. Es kann angenommen werden, dass diese Entwicklung einerseits durch die Besprechung des Infoblatts und die Thematisierung der Rolle von Forschungsfragen durch die Lehrkräfte gefördert wurde, während andererseits auch die eigenen Erfahrungen im Aufstellen einer solchen Fragestellung dazu beigetragen haben könnten. Die Tatsache, dass dabei die 4A Klasse wieder deutlich besser abschnitt als die 4B Klasse, kann eventuell erneut darauf zurückgeführt werden, dass Frau Mag.^a Kolb in ihrer Nachbereitung des Arbeitsblatts eine ausführlichere Erklärung der Bedeutung einer Forschungsfrage geboten und im Laufe der Unterrichtssequenz mehrmals wiederholt hatte.

Die Antworten zu Item 5a zeichnen ein ernüchterndes Bild im Hinblick auf die Lernwirksamkeit der durchgeführten Unterrichtssequenz ab. In beiden Klassen ergab sich keine Reduktion, sondern vielmehr ein – wenn auch minimaler – Anstieg an Antworten, welche die Vorstellung vermittelten, es handle sich bei Charlies Untersuchung um ein Experiment. Die problematische Auffassung, dass Experimente mit

(Natur-)Beobachtungen gleichzusetzen seien, wurde nach der Testung von rund der Hälfte der 4B Klasse beschrieben, während in der 4A Klasse ungefähr ein Drittel der Personen diese Meinung vertraten. Die korrekte Antwort, es handle sich bei Charlies Untersuchung nicht um ein Experiment, sondern um eine Beobachtung, wurde von deutlich weniger Personen genannt und blieb in der 4B Klasse im Laufe der Testung konstant vertreten, während sie in der 4A Klasse im Post-Fragebogen sogar an Zustimmung verlor. Dies zeigt, dass die durchgeführte Lernumgebung nicht zu einem Lernprozess im Hinblick auf die Unterscheidung zwischen Experiment und Beobachtung geführt hat, sondern dass diesbezüglich sogar eine negative Entwicklung stattgefunden hat. Das Ausmaß dieser Entwicklung ist jedoch zu gering, um konkrete Aussagen darüber treffen zu können, inwiefern die Lernumgebung diesen Rückgang tatsächlich verursacht hat oder ob sie diesbezüglich lediglich keine positive Veränderung ermöglicht hat. Im Hinblick auf die Vorstellungen von Naturwissenschaftlichkeit konnte ebenfalls kein wesentlicher Lernfortschritt beobachtet werden, da sowohl vor als auch nach der Testung beinahe alle Schüler_innen der beiden Klassen Item 5b mit ‚Ja‘ beantworteten, die Begründungen dafür jedoch sehr vage ausfielen. Eine nennenswerte Entwicklung bestand lediglich darin, dass weniger Schüler_innen im Post-Fragebogen ihre Antwort mit dem Faktor der Naturrelevanz begründeten und dafür mehr damit argumentieren, dass sich die Untersuchung mit einem naturwissenschaftlichen Themengebiet beschäftige. Diese Auffassung ist jedoch noch immer unkonkret und entspricht nicht unbedingt einer angemessenen Begründung von Naturwissenschaftlichkeit, wie sie Schwartz, Lederman und Lederman (2008: 15) formulieren: „This example is not an experiment [...] but it can be considered scientific because of the use of repeated observations, identification of a pattern, and inferred correlation based on the observations. Thus, the conclusions are based on observations of the natural world“. Die Lernumgebung bietet somit scheinbar nicht genügend Lerngelegenheiten im Hinblick auf die Eigenschaften, die eine naturwissenschaftliche Untersuchung überhaupt ausmachen. Auch die Unterscheidung zwischen Experiment und Beobachtung, welche zwar kurz im Infoblatt 2 erwähnt wird, konnte mit Hilfe der Materialien nicht gefestigt werden.

Im Hinblick auf die Rolle von Kreativität und Phantasie im Forschungsprozess ist aus der qualitativen Inhaltsanalyse zu erkennen, dass anschließend an die Testung mehr Personen als zuvor die Meinung vertraten, Naturwissenschaftler_innen sollten in ihren Untersuchungen objektiv und nicht kreativ oder phantasievoll sein. Die Anzahl an Antworten, die Kreativität in gewissen Phasen als unangemessen oder verboten ansahen, blieb in der 4B Klasse im Laufe der Testung offenbar konstant und erfuhr sogar einen leichten Anstieg in der 4A Klasse. Dies lässt darauf schließen, dass der implizite Einsatz von Kreativität im Untersuchungsprozess nicht genügend Anstoß für eine explizite Reflexion über die Rolle von Kreativität und Phantasie im Forschungsprozess liefert, weshalb ein Lernprozess in diesem Bereich ausfällt. Lediglich eine Person vermittelte mit der Antwort „Sie könnten es überall einsetzen“ die korrekte Auffassung, dass Kreativität theoretisch in allen Phasen des Untersuchungsprozesses zu verorten ist, was den Bedarf an einer intensiveren Auseinandersetzung mit diesem Themengebiet

unterstreicht. Vielmehr scheint die Lernumgebung in ihrer bisherigen Form den Eindruck zu vermitteln, dass Kreativität auf die Ideenfindung beschränkt ist und nicht überall im Forschungsprozess erlaubt beziehungsweise erwünscht ist.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse kann angenommen werden, dass die Lernumgebung sehr wohl eine Veränderung einzelner Vorstellungen über Forschung bewirkt hat. Dabei handelt es sich vor allem um ein Verständnis von Fragestellungen als Ausgangspunkt und Rahmen naturwissenschaftlicher Untersuchungen. Überdies konnten nach der Testung einzelne Teilaspekte einer adäquaten Auffassung von Experimenten identifiziert werden, wobei vor allem in der 4A Klasse der strukturierte und planvolle Ablauf von Experimenten genannt wurde. Dies zeigt, dass die Lernumgebung trotz der begrenzten Zeit die Möglichkeit bietet, die Vorstellungen der Schüler_innen positiv zu beeinflussen. Im Gegensatz dazu zeigen die Unterrichtsmaterialien einen sehr geringen bis gar keinen Effekt im Hinblick auf die Unterscheidung von Experiment und Beobachtung, die Definition von Naturwissenschaftlichkeit und die Einstellung zu Kreativität im Forschungsprozess und konnten diesbezüglich scheinbar keinen Lernprozess initiieren. Dies kann eventuell durch die mangelnde Effektivität des Infoblatts 2 *Experimente in der Forschung* begründet werden, da dieses in seiner momentanen Form keine explizite Auseinandersetzung mit den Eigenschaften naturwissenschaftlicher Experimente und Forschungsprozesse ermöglicht, wie ursprünglich vorgesehen. Die Möglichkeiten des forschenden Lernens liegen nämlich darin, die Eigenschaften realer naturwissenschaftlicher Arbeitsprozesse einerseits explizit zu thematisieren und den Schüler_innen andererseits die Gelegenheit zu bieten, diese Eigenschaften implizit in eigenen Untersuchungen nachzuvollziehen. Implizite Lerngelegenheiten im Rahmen der Durchführung und Reflexion der Experimente alleine konnten jedoch in weiterer Folge nicht jene Grundaspekte festigen, die diesen Themengebieten zugrunde liegen. Nichtsdestotrotz kann an dieser Stelle eine durchaus positive Bilanz gezogen werden, da innerhalb dieser kurzen Sequenz immerhin einige Schüler_innen offenbar eine durchaus adäquate Vorstellung hinsichtlich naturwissenschaftlicher Forschung entwickeln konnten.

9. Zusammenfassung und Fazit

Die praktische Erprobung der Lernumgebung sowie die durchgeführte Datenanalyse und -interpretation haben mehrere Erkenntnisse geliefert, die einerseits Aufschluss über die Veränderung der Vorstellungen von Forschung im Verlauf der Unterrichtseinheit geben und andererseits mehrere Möglichkeiten der Optimierung und Weiterentwicklung der verwendeten Materialien aufgezeigt haben. Nun gilt es, die in Kapitel 6 vorgestellten Forschungsfragen im Hinblick auf diese Ergebnisse nochmals aufzugreifen, um zu bestimmen, inwiefern diese nun beantwortet werden können.

Im Hinblick auf die erste Forschungsfrage, „*Wie hoch ist das Ausmaß der sprachlichen und inhaltlichen Passung der entwickelten Unterrichtsmaterialien im Hinblick auf die Zielgruppe?*“, lieferte die Testung einige wichtige Informationen. Die Ergebnisse der Key Incident Analyse ebenso wie die Rückmeldungen der Teilnehmer_innen zeigen, dass die sprachliche und inhaltliche Passung der Materialien im Hinblick auf die Zielgruppe momentan nicht ideal ist und somit einer Optimierung bedarf, um die Unterrichtssequenz an das entsprechende Fachwissen und Sprachniveau der Schüler_innen einer vierten Klasse der AHS Unterstufe anzupassen. Zunächst sollten überflüssige Fachbegriffe, irreführende Informationen und komplizierte, zu lange Sätze in den Info- und Arbeitsblättern vermieden werden und wenn möglich durch sinnvollere und für die Schüler_innen besser verständliche Ausdrücke und Strukturen ersetzt werden. Das Arbeitsblatt zur Umwandlung von Licht in Energie bedarf sprachlicher und inhaltlicher Orientierungsmöglichkeiten, da sich hier besonders viele Schwierigkeiten im Informationstransfer vom Infoblatt auf den Filmstreifen ergeben haben. Auch die Klarheit und Übersichtlichkeit der Aufgabenstellungen sollte in den Arbeitsblättern für die Planung und Durchführung der Experimente erhöht werden, indem mehr explizite Hinweise inkludiert und präzisere beziehungsweise verständlichere Fragestellungen formuliert werden.

Im Rückschluss auf die zweite Forschungsfrage, „*In welchem Ausmaß ermöglichen die entwickelten gestuften Lernhilfen die weitgehend selbstständige Planung und Durchführung der komplexen Untersuchungen?*“, sagen die Ergebnisse der Datenanalyse und -interpretation aus, dass die Hinweis- und Lösungskarten die Schüler_innen zwar in der Theorie in ihrem Planungs- und Experimentierprozess unterstützen können, in der Praxis jedoch einige problematische Faktoren die Arbeit mit den Hilfekarten deutlich erschwert haben. Beide Testklassen schienen in der Planungsphase den Lernhilfen gegenüber relativ aufgeschlossen zu sein, jedoch konnten sie aufgrund der genannten Probleme in vielen Fällen keinen Mehrwert aus diesen Hilfen ziehen und verzichteten höchstwahrscheinlich deshalb im Zuge der Versuchsdurchführung größtenteils auf die Verwendung dieser Karten. Die Forschungsfrage kann somit nur bedingt beantwortet werden, da zur Verwendung der Hilfekarten im Zuge des Experimentierens kaum Daten vorliegen. Aus diesem Grund muss der vorläufige Schluss gezogen werden, dass die Hilfekarten in der momentanen Form nur begrenzt zu einer selbstständigen Bewältigung des Untersuchungsprozesses beitragen konnten. Dabei konnten einige Optimierungspotentiale identifiziert

werden, welche die Verwendung der Lernhilfen erleichtern könnten. Eine Anpassung der Kartennummern an die Nummerierung der entsprechenden Aufgaben und Fragestellungen würde den die Auswahl der benötigten Hinweis- und Lösungskarten vereinfachen, während vor allem die Hinweise auf den einzelnen Hilfekarten zur Versuchsplanung neu formuliert werden müssen, da sie momentan meist ident zu den Fragestellungen auf den Arbeitsblättern und somit wenig sinnvoll sind. Überdies hat sich herausgestellt, dass weitere Hinweis- und Antwortkarten erstellt werden müssen, welche die Schüler_innen bei der Auseinandersetzung mit den Messgeräten und der Versuchsdurchführung unterstützen. Die Texte aller Lösungskarten sollten dabei im Hinblick auf ihren Textumfang sowie auf ihre Komplexität überarbeitet werden, um den Schüler_innen prägnante und verständliche Informationen liefern zu können.

Was die dritte Forschungsfrage, „*Inwiefern leistet die Lernumgebung einen Beitrag zur Vermittlung realistischer Vorstellungen über naturwissenschaftliche Forschungsprozesse?*“, angeht, konnten in den Antworten der Schüler_innen sowohl vor als auch nach der Testung einige in der Literatur beschriebene Präkonzepte identifiziert werden. Besonders stark vertreten war dabei eine empirisch geprägte Vorstellung von Forschung, ebenso wie die Auffassung von naturwissenschaftlicher Forschung als Naturforschung. Experimente wurden vielfach entweder als Ausgangspunkt von absoluten Beweisen und sicherem Wissen, als zielloses Ausprobieren, als Naturbeobachtung oder aber auch als Möglichkeit zum Abbilden der Natur beschrieben. Im Hinblick auf die Arbeitsweise von Naturwissenschaftler_innen betonten mehrere Schüler_innen deren Objektivität als wichtiges Merkmal, während Kreativität und Phantasie von den meisten anderen Lernenden lediglich in einzelnen Phasen des Forschungsprozesses, insbesondere in der Ideenfindung, verortet wurden. Eine Veränderung dieser Vorstellungen sowie eine Entwicklung eines angemessenen Verständnisses von Forschung war mit Hilfe der entwickelten Unterrichtsmaterialien in einem begrenzten Ausmaß möglich, da die Antworten vieler Schüler_innen in beiden Testklassen auch nach der Testung noch immer ein vages oder problematisches Bild von Forschungsprozessen und Experimenten zum Ausdruck brachten. Nichtsdestotrotz konnte das Bewusstsein von Fragestellungen als Ausgangspunkt und Zielsetzung naturwissenschaftlicher Untersuchungen deutlich erhöht und ausgewählte Teilaspekte eines angemessenen Verständnisses von Experimenten vermittelt werden. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurden mehrere Vorschläge für die Optimierung des Infoblatts „*Experimente in der naturwissenschaftlichen Forschung*“ und der abschließenden Reflexion im Rahmen des Arbeitsblatts „*Haben wir heute geforscht?*“ gemacht, welche den Erfolg im Bereich des NdN-Lernens mit Hilfe der Unterrichtssequenz erhöhen sollen. Das Infoblatt wird dabei einer kompletten Umstrukturierung in Form eines Textpuzzles unterzogen, um die Informationsdichte und den Leseaufwand zu reduzieren, während im Concept-Cartoon der Aspekt der Kreativität aufgenommen und die Arbeitsaufträge eindeutig beziehungsweise genauer formuliert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unterrichtsmaterialien den Anspruch, einen Lernprozess im Bereich der NdN zu vermitteln, zumindest im Ansatz erfüllen konnten, auch wenn dieser durchaus verbesserungswürdig ist. Betrachtet man die Ergebnisse zum NdN-Lernen, die sich aus dieser Testung ergeben haben, so erscheint die Tatsache, dass mit Hilfe der Lernumgebung lediglich einzelne angemessene Vorstellungsaspekte vermittelt werden konnten, auf den ersten Blick entmutigend. Nichtsdestotrotz muss dabei berücksichtigt werden, dass die Unterrichtssequenz auf vier Schulstunden beschränkt ist, wobei sich lediglich drei davon entweder implizit oder explizit mit naturwissenschaftlicher Forschung beschäftigen. Führt man sich dies vor Augen, so ist die erreichte Vorstellungsänderung durchaus erfreulich, zumal Budimaier (2017) bereits gezeigt hat, dass sogar Physikstudent_innen teilweise ähnliche Vorstellungen besitzen und dass diese sogar innerhalb eines ganzen Semesters nur bedingt verändert werden können. Die daraus abgeleiteten Optimierungen für die NdN-Aktivitäten sowie die zahlreichen weiteren Optimierungsvorschläge im Bereich der sprachlichen und inhaltlichen Passung sowie zur Verbesserung der Wirksamkeit der Lernhilfen wurden anschließend in den verwendeten Unterrichtsmaterialien umgesetzt. Die aktuelle Version dieser Materialien findet sich im Anhang unter dem Punkt 13.3.

10. Einschränkungen der Diplomarbeit und Ausblick

Am Ende der Diplomarbeit gilt es nun einige Einschränkungen zu adressieren, die an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben dürfen. Wie bereits im vorangegangenen Kapitel angedeutet, wurde die durchgeführte Testung lediglich auf zwei Schulklassen begrenzt und kann somit nicht mehr als einen ersten Eindruck über die Wirksamkeit der entwickelten Lernumgebung bieten. Verallgemeinernde Schlüsse aufgrund der erhaltenen Ergebnisse sind somit nur begrenzt möglich. Vor allem im Hinblick auf eine ausführliche Beantwortung der Frage, inwiefern die gestuften Lernhilfen für das Experimentieren den selbstständigen Forschungsprozess der Lernenden unterstützen, sind erneute Testdurchgänge notwendig. Überdies stellt die Tatsache, dass sowohl die Lehrerinnen als auch die Lernenden das erste Mal mit gestuften Lernhilfen gearbeitet haben, eine Fehlerquelle dar, weshalb keine Rückschlüsse darüber gezogen werden können, wie die Hinweis- und Antwortkarten in einer Klasse funktioniert hätten, die bereits regelmäßig Hilfekarten verwendet. Aus diesem Grund wäre es in zukünftigen Testungen wichtig, sowohl die Schüler_innen als auch die Lehrkräfte bereits im Vorfeld mit der Verwendung von Hinweis- und Lösungskarten vertraut zu machen, um auf beiden Seiten die Bereitschaft zu erhöhen, diese im Unterricht zu verwenden und den Umgang mit den Hilfen etwas einfacher zu machen, auch wenn das möglicherweise einen Bruch zur üblichen Gestaltung der Physikstunden darstellt. Im Hinblick auf die Ermittlung von Vorstellungen über naturwissenschaftliche Forschung und einen möglichen NdN-Lernprozess würden sich Interviews mit einzelnen Schüler_innen oder Kleingruppen als sinnvoll erweisen, um die Ergebnisse der Fragebögen zu ergänzen und diesbezüglich weitere Einsichten bieten zu können.

Vor allem im Hinblick auf das implizite Lernen über die NdN mittels der durchgeführten Experimente ergaben sich fürs erste Enttäuschungen, jedoch muss zur Kenntnis genommen werden, dass es sich dabei um ein sehr anspruchsvolles Unterfangen handelt, im Zuge dessen die Lernenden eine Vielzahl praktischer Fähigkeiten und Fertigkeiten anwenden mussten, mit sie teilweise offenbar noch wenig Übung hatten. Dies führte in den meisten Fällen dazu, dass die Hauptbeschäftigungen während des Experimentierens darin bestanden, den Schaltkreis anhand der Schaltskizze aufzubauen, sich mit den einzelnen Geräten zurechtzufinden und anhand der Messdaten die Leistung in der passenden Einheit zu berechnen. All diese Aspekte sind beim Experimentieren von großer Bedeutung, jedoch lenkten sie vom eigentlichen Fokus der Untersuchung ab, der darin bestand, dass die Lernenden entlang naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse arbeiten, um ihre Forschungsfrage zu beantworten und ihre Hypothese zu testen. Ich kenne das auch aus meiner eigenen Studienzeit – man Experimentiert und verliert den Überblick über das große Ganze, wenn sich Probleme bei der praktischen Durchführung auftun. Es erscheint somit schwierig, mit einem Experiment ein Lernziel erfüllen zu wollen, welches über das ‚bloße‘ Erlernen des praktischen Handwerkszeugs hinausgeht und zumeist ergeben sich daher sowohl in der Schulzeit als auch in der Studienzeit nur wenige Gelegenheiten, um zu erfahren, wie man in der realen naturwissenschaftlichen Forschung mit diesen Fertigkeiten umgeht. Dazu kommt, dass in

der Schule immer eine Entscheidung getroffen werden muss, was genau mit einem Experiment vermittelt werden soll. Zumeist steht dabei das Demonstrationsexperiment im Vordergrund, mit Hilfe dessen Phänomene gezeigt werden können, aber keine Methoden erlernt werden. Teilweise werden auch ‚hands-on‘ Experimente durchgeführt, die stark angeleitet sind und die Lernenden Schritt für Schritt an ein Ergebnis heranführen, damit sie dabei einzelne Aspekte des Experimentierens üben können, wie beispielsweise ihre Daten zu protokollieren oder ihren Versuch anhand einer Schaltskizze aufzubauen. Beide Arten von Experimenten besitzen ohne Zweifel ihre Berechtigung im Physikunterricht und erfüllen wichtige Aufgaben im Lernprozess der Schüler_innen. Was sie dabei jedoch nicht lernen, ist, wo die Parallelen zum authentischen Experiment zu finden sind und welche Zwecke Experimente im Rahmen authentischer Forschungsprozesse erfüllen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es als notwendig, im Physikunterricht eine Unterscheidung zwischen den genannten Zielen des Experimentierens zu etablieren und davon abhängig bestimmte Schwerpunkte bei der Ausführung dieser Untersuchungen zu setzen. Die Lehrkraft sollte dabei klar und deutlich vermitteln, welcher Zweck mit dem durchzuführenden Experiment verfolgt wird, damit den Lernenden bewusst ist, ob beispielsweise die Vermittlung authentischer Forschungsprozesse im Vordergrund steht oder ob sich der vorliegende Versuch vor allem auf das Erlernen physikalischer Sachverhalte und der dafür notwendigen, praktischen Fähigkeiten konzentriert. Dies kann im Unterricht beispielsweise durch explizite Hinweise auf Seiten der Lehrperson verdeutlicht werden, ebenso wie durch eine Kennzeichnung der Arbeitsblätter mit Symbolen, die darauf verweisen, welche Kompetenzen und Wissensbereiche im Experiment angesprochen werden. Daneben ist es wichtig, die Vormachtstellung des Demonstrationsexperiments aufzugeben und das Erlernen praktischer Fertigkeiten beim Experimentieren nicht mehr nur als Selbstzweck anzusehen, sondern mit Hilfe forschungsähnlicher Untersuchungen zu zeigen, wie diese auch tatsächlich in authentischen naturwissenschaftlichen Kontexten angewendet werden. Die Testungen im Rahmen der Diplomarbeit haben gezeigt, dass es dabei durchaus sinnvoll ist, wenn die Lernenden die Fähigkeiten, die für den durchzuführenden Forschungsprozess notwendig sind, bereits in ihren Grundzügen beherrschen. Dies kann jedoch nicht immer bei allen Schüler_innen gewährleistet werden, weshalb gezielte Unterstützung – beispielsweise in Form gestufter Lernhilfen – dazu beitragen kann, dass die praktischen und handwerklichen Aspekte des Experimentierens nicht die Überhand gewinnen und die Versuche auch von leistungsschwächeren Lernenden durchgeführt werden können. Um im Hinblick auf die erprobte Lernumgebung fundierte Aussagen darüber machen zu können, inwiefern eine konsequente Verwendung von Lernhilfen tatsächlich zu einem besseren Gelingen der Experimente führt, sind jedoch weitere empirische Daten notwendig.

Viele Aspekte der NdN können mit Hilfe solcher forschungsbasierten Untersuchungen implizit in den Unterricht eingebracht werden. Diese implizite Integration der NdN in den Physikunterricht ist für einen tiefgreifenden Lernprozess jedoch nicht ausreichend und muss daher durch die explizite Diskussion und

Reflexion der zu bearbeitenden NdN-Inhalte ergänzt werden. Die Ergebnisse der Testung haben dies bestätigt, da eine Veränderung der Vorstellung über naturwissenschaftliche Forschung beinahe ausschließlich auf jene Themenbereiche beschränkt war, die im Unterricht explizit thematisiert wurden. Überdies wurde auch gezeigt, dass es für den Anstoß eines NdN-Lernprozesses nicht ausreicht, derartige forschungsbasierte Untersuchungen auf einzelne, isolierte Unterrichtssequenzen von wenigen Schulstunden zu beschränken. Wichtig ist vielmehr, dass eine permanente Einbeziehung der NdN in den Physikunterricht erfolgt, wodurch ein Lernen *über* die Physik in verschiedensten Kontexten ermöglicht wird. Dabei können die Lernenden im Idealfall ihr Wissen über die NdN immer wieder neu anwenden und mit bestehenden physikalischen Sachverhalten verknüpfen, wie es beispielsweise im Rahmen der Lernumgebung im Hinblick auf die Grundlagen der Photovoltaik ermöglicht wird. Somit soll eine Grundhaltung für NdN-Lernen geschaffen werden, die den regulären Unterrichtsbetrieb nicht durch einzelne Sequenzen unterbricht oder gar stört, sondern eine regelmäßige Miteinbeziehung dieser Aspekte in den Unterrichtsalltag ermöglicht und somit eine Bereicherung für den gesamten Physikunterricht darstellt.

Im Hinblick auf künftige Untersuchungen im Rahmen des in dieser Diplomarbeit begonnenen Design-Based Research Prozesses ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für die weitere Optimierung der Lernumgebung. Ein erster Entwicklungsschritt besteht in der Ermittlung des Ausmaßes, in dem die Unterrichtsmaterialien einen Lernprozess über die Grundlagen der Photovoltaik ermöglichen, da dieser Aspekt in der vorliegenden Arbeit aufgrund ihres begrenzten Umfangs nicht berücksichtigt werden konnte. Dieser bildet neben dem NdN-Lernen einen zentralen Aspekt der Wirksamkeit der Lernumgebung, den es im Rahmen weiterer Evaluations- und Überarbeitungszyklen zu untersuchen gilt. Eine weitere Möglichkeit, um an die durchgeführten Untersuchungen anzuknüpfen, besteht in der Überarbeitung und anschließenden Erprobung der restlichen Einheiten des Unterrichtsgangs, sodass eine sinnvolle Verknüpfung der Grundlagen eines nachhaltigen Umgangs mit Energiedienstleistungen mit den Inhalten über Photovoltaik angestrebt werden kann. In der derzeitigen Struktur der Lernumgebung finden sich einzelne Aktivitäten zur Nachhaltigkeit im gesamten Unterrichtsverlauf verstreut. Ebenso wie beim NdN-Lernen sollte jedoch versucht werden, diesen Aspekt sowohl implizit als auch explizit im Anschluss an die Experimentierphase zu thematisieren, um dadurch das Lernen über die Photovoltaik nicht einfach zu ergänzen, sondern um auch im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung von Energie eine gewisse Hintergrundhaltung zu schaffen, die eine Betrachtung des Themengebiets unter einem neuen Blickwinkel ermöglicht.

11. Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: A Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701. doi: 10.1080/09500690050044044.
- Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework of Synergistic Research and Development. In Fraser, B., Tobin, K. G. & McRobbie, C. (Hrsg.), *Second International Handbook of Science Education* (S. 1041-1060). Dordrecht: Springer Verlag.
- Heering, P. & Höttecke, D. (2011). Was ist Physik? In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 9-15). Freising: Aulis Verlag.
- Bamiro, A. O. (2015). Effects of Guided Discovery and Think-Pair-Share Strategies on Secondary School Students' Achievement in Chemistry. *SAGE Open January – March*, 1-7. doi: 10.1177/2158244014564754.
- Bönsch, M. (2002). Der Handlungsrahmen: Das Lehren und die Organisation des Lernens. In Bönsch, M. & Kaiser, A. (Hrsg.), *Basiswissen Pädagogik: Unterrichtskonzepte und -techniken. Band 1: Unterrichtsmethoden – kreativ und vielfältig*. (S. 60-113). Hohengehren: Schneider Verlag.
- Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178. doi: 10.1207/s15327809jls0202_2.
- Budimaier, F. (2017). *Nature of Science im Lehramtsstudium Physik* (Diplomarbeit Universität Wien). Abgerufen am 19.05.2018 von <http://othes.univie.ac.at/45687/>.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF]. (2000). *Lehrplan der AHS-Unterstufe für Physik*. Abgerufen am 14.01.2018 von https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html.
- Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens [BIFIE]. (2011). *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe*. Wien: Zentrum für Innovation und Qualitätsentwicklung. Abgerufen am 14.01.2018 von http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf.
- Bybee, R. W. (2015). *The BSCS 5E Instructional Model: Creating Teachable Moments*. Arlington: National Science Teachers Association.
- Capps, D. K., Crawford, B. A. & Conzas, M. A. (2012). A Review of Empirical Literature on Inquiry Professional Development: Alignment with Best Practices and a Critique of the Findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 291-318. doi: 10.1007/s10972-012-9275-2.
- Capps, D. K. & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching about Nature of Science: Are They Happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24, 497-526. doi: 10.1007/s10972-012-9314-z.
- Conibeer, G. (2014). Third-Generation Solar Cells. In Conibeer, G. & Willoughby, A. (Hrsg.), *Solar Cell Materials: Developing Technologies*. (S. 283-314). West Sussex: Wiley
- Desouza, J. M. S. (2017). Conceptual play and science inquiry: using the 5E instructional model. *Pedagogies: An International Journal*, 12(4), 340-353. doi: 10.1080/1554480X.2017.1373651.
- Deutsche UNESCO-Kommission (2015). *UNESCO Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms 'Bildung für Nachhaltige Entwicklung'* (2. Auflage). Bonn: DUK.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A.

- Dubey, S., Sarvaiya, J. N. & Seshadri, B. (2013). Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World: A Review. *Energy Procedia* 33, 311-321. doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.072.
- Duit, R. (2004). *Piko-Brief Nr. 2, April 2004: Didaktische Rekonstruktion*. IPN Kiel. Abgerufen am 15.02.2018 von http://www.brgkepler.at/~rath/pl_an/aktuell/piko_brief_2.pdf.
- Duit, R. (2009). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In Kircher, E., Girwiltz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (2. Auflage) (S. 607-630). Berlin: Springer Verlag.
- Duit, R. (2011a). Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (3. Auflage) (S. 3-7). Freising: Aulis Verlag.
- Duit, R. (2011b). Vorstellung und Experiment: Von der eigenschränkten Überzeugungskraft experimenteller Beobachtungen. In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (3. Auflage) (S. 20-22). Freising: Aulis Verlag.
- Duit, R. (2011c). Energievorstellungen. In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (3. Auflage) (S. 189-191). Freising: Aulis Verlag.
- Durschl, R. A. & Osborne, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72. doi: 10.1080/03057260208560187.
- Ehrlich, R. (2013). *Renewable Energy: A First Course*. Boca Raton: CRC Press.
- Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E Model: A proposed 7E model emphasizes „transfer of learning“ and the importance of eliciting prior understanding. *The Science Teacher*, 70(6), S. 56-59.
- EPCOS AG, A TDK Group Company. (2011). *Referenzdesign für Micro-DC/DC-Inverter: Höchste Effizienz*. Abgerufen am 14.03.2018 von <https://de.tdk.eu/tdk-de/190976/tech-library/artikel/applications---cases/applications---cases/hoechste-effizienz/190492>.
- Ertl, D. (2010). The Nature of Science. Das Wesen / die Natur der der Naturwissenschaften. *Plus Lucis*, 1-2, 5-7.
- Ertl, D. (2013). Sechs Kernaspekte zur Natur der Naturwissenschaft. *Plus Lucis*, 1-2, 16-20.
- Euler, D. (2014). Design-Research – a paradigm under development. In Euler, D. & Sloane P. F. E. (Hrsg.), *Design-Based Research* (S. 15-41). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Felder, E., Knöpfle, G., Küpfer, M., Lehner, A., Mayer, M. & Dreyer, H. P. (1995). *ETH-Leitprogramm Physik: „Strom aus Licht“*. Abgerufen am 13.02.2018 von [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/physik/Photovoltaik%20\(Leitprogramm\)/photo.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/physik/Photovoltaik%20(Leitprogramm)/photo.pdf).
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. doi: 10.3102/0034654312457206
- Galili, I. (2012). Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science. *Science & Education*, 21, 1283-1316. doi: 10.1007/s11191-011-9376-x.
- Ghitas, A. E. (2012). Studying the Effect of Spectral Variations Intensity of the Incident Solar Radiation on the Si Solar Cells Performance. *Journal of Astronomy and Geophysics* 1, 165-171. doi: 10.1016/j.nrjag.2012.12.013.
- Gouvêa, E. C., Sobrinho, P. M. & Souza, T. M. (2017). Spectral Response of Polycrystalline Silicon Photovoltaic Cells under Real-Use Conditions. *Energies* 10, S. 1178. doi: 10.3390/en10081178.
- Gray, J.L. (2011). „The Physics of the Solar Cell.“ In: Luque, A. & Hegedus, S. (Hrsg.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2. Auflage) (S. 82-129). West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In Mayring, P. & Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2. Auflage) (S. 172-189). Weinheim & Basel: Beltz Verlagsgruppe.
- Häußler, P., Bünder, W., Duit, R., Gräber, W. & Majer, J. (1998). *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Heering, P. & Schecker, H. (2011). Bildungswert und Bildungsziele. In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 16-20). Freising: Aulis Verlag.
- Henke, A. (2016). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften – Forschender und historisch orientierter Physikunterricht im Vergleich. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 123-145. doi: 10.1007/s40573-016-0046-z.
- Hopf, M. & Berger, R. (2011). In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 106-114). Freising: Aulis Verlag.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, 7-23.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 21(1), 127-139. doi: 10.1007/s40573-015-0030-z.
- Illinois Institute of Technology (2017). *What is Nature of Science?* Abgerufen am 12.12.2017 von <https://science.iit.edu/mathematics-science-education/resources/lederman-depository/what-nature-science>.
- Jung, W. (2011). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (3. Auflage) (S. 15-19). Freising: Aulis Verlag.
- Kampourakis, K. (2016). The ‚General Aspects‘ Conceptualization as a Pragmatic and Effective Means to Introducing Students to Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* 53(5), 667-682. doi: 10.1002/tea.21305.
- Kattmann, E. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93-104). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- 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(3), 3-18.
- Keogh, B., Naylor, S. & Wilson, C. (1998). Concept cartoons: a new perspective on physics education. *Physics Education*, 33(4), 219-224. doi: 10.1088/0031-9120/33/4/009.
- Kircher, E. (2009). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (2. Auflage) (S. 115-148). Heidelberg: Springer Verlag.
- Kranz, L., Abate, A., Feurer, T., Fu, F., Avancini, E., Löckinger, J., Reinhard, P., Zakeeruddin, S.M., Grätzel, M., Buecheler, S. & Tiwari, A.N. (2015). High-Efficiency Polycrystalline Thin Film Tandem Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 6, 2676-2681. doi: 10.1021/acs.jpclett.5b01108.
- Kroon, S. & Sturm, J. (2002). ‚Key Incident Analyse‘ und ‚internationale Triangulierung‘ als Verfahren in der empirischen Unterrichtsforschung. In Kammler, C. & Knapp, W. (Hrsg.), *Empirische Unterrichtsforschung und Deutschdidaktik* (S. 96-114). Hohengehren: Schneider Verlag.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Antnik Meyer, A. & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful Assessment of Learners‘ Understandings About Scientific Inquiry – The

- Views About Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83. doi: 10.1002/tea.21125.
- Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Reserach in Science Teaching*, 39(6), 497-521. doi: 10.1002/tea.10034.
- Leisen, J. (2001). Methoden des Lehrens und Lernens im deutschsprachigen Fachunterricht. In Wolff, A. & Witners-Ohle, E. (Hrsg.), *Wie schwer ist die deutsche Sprache wirklich?* (S. 406-419). Regensburg: Fachverband Deutsch als Fremdsprache.
- Leisen, J. & Hopf, M. (2011). Methoden-Werkzeuge. In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 93-98). Freising: Aulis Verlag.
- Lembens, A. (2010). *Verstehendes Lernen durch Concept Cartoons: ‚Concept-Cartoons‘ als Erhebungsinstrument von Alltagsvorstellungen und als Unterrichtsimpuls im schüler/innenorientierten Chemie-Unterricht*. Abgerufen am 14.01.2018 von https://www.sparklingsscience.at/_Resources/Persistent/1bf3292ec0f70a23de8cd4bfd6d26fc9f2b3234f/Concept_Cartoons_Startbericht.pdf.
- Lewis, T. (2006). Design and Inquiry: Bases for an Accomodation between Science and Technology Education in the Curriculum? *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 255-281. doi: 10.1002/tea.20111.
- Lorenzo, E. (2011). Energy Collected and Delivered by PV Modules. In Luque, A. & Hegedus, S. (Hrsg.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2. Auflage) (S. 984-1042). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Malderez, A. (2003). Observation. *ELT Journal*, 57(2), 179-181.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (5. Auflage). Weinheim & Basel: Beltz Verlagsgruppe.
- Metzger, S. (2013). Didaktische Rekonstruktion: Fachsystematik und Lernprozesse in der Balance halten. In Labudde, P. (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.-9. Schuljahr* (2. Auflage) (S. 45-56). Bern: Haupt Verlag.
- Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Scieene Instruction – What Is It and Does it Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. doi: 10.1002/tea.20347.
- Niedderer, H. & Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Hrsg.), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies; proceedings of an international workshop* (S. 74-98). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- National Science Digital Library [NSDL], American Association for the Advancement of Science [AAAS]: *Science Literacy Maps*. Abgerufen am 22.11.2017 von <http://strandmaps.dls.ucar.edu/>.
- Olivieira, A. W., Akerson, V. L.; Colak, H., Pongsanon, K. & Genel, A. (2012). The Implicit Communication of Nature of Science and Epistemology During Inquiry Discussion. *Science Education*, 96(4), 652-684. doi: 10.1002/sce.21005.
- Pineker-Fischer, A. (2017). *Sprach- und Fachlernen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Umgang von Lehrpersonen in soziokulturell heterogenen Klassen mit Bildungssprache*. Wiesbaden: Springer VS.
- Quaschnig, V. (2013). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie -Energiewende*. München: Carl Hanser Verlag.
- Quaschnig, V. (2016). *Nun rettet doch endlich den Planeten*. Abgerufen am 26.02.2018 von <http://www.volker-quaschnig.de/artikel/2016-05-Rettet-den-Planeten/index.php>.

- Ramsenthaler, C. (2013). Was ist ‚qualitative Inhaltsanalyse‘? In Schell, M., Schulz, C., Kolbe, H. & Dunger, C. (Hrsg.), *Der Patient am Lebensende: Eine Qualitative Inhaltsanalyse*. (S. 23-42). Wiesbaden: Springer VS.
- Rhöneck, C. v. (2011). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (3. Auflage) (S. 167-171). Freising: Aulis Verlag.
- Sadeh, I. & Zion, M. (2009). The Development of Dynamic Inquiry Performances within an Open Inquiry Setting: A Comparison to Guided Inquiry Setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(10), 1137-1160.
- Schiff, E. A., Hegedus, S. & Deng, X. (2003) Amorphous Silicon Based Solar Cells. In Luque, A. & Hegedus, S. (Hrsg.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (S. 505-565). New York: John Wiley & Sons.
- Schlosser, V. (2017). *Photovoltaik für Anfänger: Ein Versuch die Funktionsweise einer Solarzelle einfach zu erklären*. (Unveröffentlichtes Schriftstück für Praktikumsteilnehmer). Universität Wien, Fakultät für Physik.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Crawford, B. A. (2004). Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645. doi: 10.1002/sce.10128.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2008). An Instrument to Assess Views of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire. *Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. Baltimore: NARST.
- Steiner, R. (2011). Kompetenzorientierte LehrerInnenbildung für Bildung für nachhaltige Entwicklung: Kompetenzmodell, Fallstudien und Empfehlungen. Münster: Monsenstein und Vannerdat.
- Sträudel, L. & Wodzinski, R. (2010). Komplexität erhalten und gezielt unterstützen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In Bohl, T., Kansteiner-Schänzlin, K., Kleinknecht, M., Kohler, B. & Nold, A. (Hrsg.), *Selbstbestimmung und Classroom-Management: Empirische Befunde und Entwicklungsstrategien zum guten Unterricht* (S. 236-252). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Sudhakar, K., Noopur, J. & Bagga, S. (2013). Effect of Color Filter on the Performance of Solar Photovoltaic Module. In *2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)* (S. 35-38).
- Taşlıdere, E. (2013). The Effect of Concept Cartoon Worksheets on Students' Conceptual Understandings of Geometrical Optics. *Education and Science*, 38(167), 144-161.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2009). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure* (6. Auflage). Heidelberg: Spektrum Verlag.
- Van Bien, N. (2007). *Empirische Untersuchungen zum selbständigen Wissens- und Könnenserwerb an Lernstationen im Themenbereich ‚Photovoltaik‘* (Dissertation Universität Koblenz-Landau). Abgerufen am 11.02.2018 von <https://kola.opus.hbz-nrw.de/files/174/Dokument1.pdf>.
- Wagner, A. (2010). *Photovoltaic Engineering: Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung* (3. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer_Verlag.
- Wagner, P., Reischl, G. & Steiner, G. (2012). *Einführung in die Physik* (2. Auflage). Wien: Facultas Verlag.
- Wiesner, H. & Hopf, M. (2011). Begriffswechsel und Begriffsentwicklung. In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 48-53). Freising: Aulis Verlag.
- Wiesner, H. & Schecker, H. (2011). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 34-47). Freising: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31-42). Heidelberg: Springer Verlag.

- Wodzinski, R. (2013). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 23-36). Freising: Aulis Verlag.
- Wodzinski, R. (2013). Lernen mit gestuften Hilfen: Gestufte Lernhilfen fördern selbstständiges Lernen und lassen individuelle Lernwege zu. *Physik Journal* 12(3), 45-49. doi: 1617-6439/13/0303-45.
- Wodzinski, R., Sträudel, L. & Ronczkowski, E. (2011). *Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Physik-Unterricht* (2. Auflage). Im Brande: Friedrich Verlag.
- Würfel, U. (2005). *Physics of Solar Cells: From Principles to New Concepts*. Weinheim: WILEY-CH Verlag GmbH & Co. KGaA.

12. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Fachdidaktisches Triplet 26	26
Abbildung 2: Aufbau einer p-i-n Solarzelle 32	32
Abbildung 3: U-I-Kennlinie und P-U-Kurve einer Solarzelle..... 33	33
Tabelle 1: Struktur der entwickelten Unterstufen-Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ 60	60
Tabelle 2: Stundenbild für die Testung der Experimentierphase. 62	62
Tabelle 3: Ablaufplan für die Testung in der 4B Klasse 73	73
Tabelle 4: Ablaufplan für die Testung in der 4A Klasse 74	74
Tabelle 5: Kodierleitfaden für die erste Kategorie zu Item 1 in der 4B Klasse..... 118	118
Tabelle 6: Kodierleitfaden für die erste Kategorie zu Item 1 in der 4A Klasse 119	119
Tabelle 7: Kodierleitfaden für alle Antworten zu Item 1 in der 4B Klasse..... 165	165
Tabelle 8: Kodierleitfaden für alle Antworten zu Item 1 in der 4A Klasse..... 267	267

13. Anhang

13.1. Fragebogen

Fragebogen zu deinen Vorstellungen über naturwissenschaftliches Forschen

- ✓ In diesem Fragebogen geht es darum, herauszufinden, welches Bild SchülerInnen von naturwissenschaftlicher Forschung und Experimenten haben. Die Teilnahme ist freiwillig und anonym.
- ✓ Bitte beantworte jede Frage mit einem kurzen Text (bitte keine Stichworte). Du kannst dazu auch die Rückseite der Blätter verwenden, wenn du vorne nicht genug Platz hast.
- ✓ Dieser Fragebogen ist kein Test und wird nicht bewertet. Es gibt keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten, nur deine Vorstellungen sind gefragt.
- ✓ Damit es für mich einfacher ist, eure Fragebogen später zu analysieren, bitte ich euch, nach den Regeln unten einen Code einzutragen. Mit diesem Code sollt ihr später auch alle anderen Arbeitsmaterialien, die ihr bekommt, beschriften.

→ Tag deiner Geburt (1-31),

→ 1. Buchstabe deines Vornamens,

→ 1. Buchstabe deines Nachnamens,

→ 1. Buchstabe deiner Lieblingsfarbe.

Diagram illustrating the code structure: Four input fields (lines) are mapped to four boxes (code). The first three boxes correspond to the first three input fields, and the fourth box corresponds to the fourth input field.

Frage 1

Was machen NaturwissenschaftlerInnen (z.B. Physiker, Chemiker, Biologen ...), um etwas über die Natur zu lernen? Beschreibe, wie NaturwissenschaftlerInnen bei ihrer Arbeit vorgehen.

Frage 2

Was ist ein naturwissenschaftliches Experiment? Nenne auch ein Beispiel und erkläre, warum es sich dabei um ein Experiment handelt!

Frage 3

Sind Experimente notwendig für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen? Bitte begründe deine Antwort!

Frage 4

Zwei SchülerInnen, Alice und Bob, diskutieren über naturwissenschaftliche Forschung. Alice sagt, dass solche Untersuchungen immer mit einer naturwissenschaftlichen Fragestellung beginnen müssen. Bob ist der Meinung, dass das nicht so ist. Wem stimmst du zu und warum?

Frage 5

Charlie geht an hundert verschiedenen Tagen von März bis Juni um die Mittagszeit spazieren. Er hat bei seinem Spaziergang die Sonne beobachtet. Dabei ist ihm aufgefallen, dass es immer dann besonders kalt ist, wenn die Sonne nicht scheint. Er hat auch herausgefunden, dass ihm bei strahlendem Himmel und viel Sonnenschein beim Spazieren meistens deutlich wärmer ist als bei wenig Sonne.

Charlie schließt daraus, dass es einen Zusammenhang zwischen der Sonne und der Temperatur auf der Erde gibt.

a) Ist diese Untersuchung ein Experiment? Warum / warum nicht?

b) Ist diese Untersuchung naturwissenschaftlich? Warum / warum nicht?

Frage 6

NaturwissenschaftlerInnen versuchen, mit Untersuchungen bzw. Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden. Denkst du, dass NaturwissenschaftlerInnen ihre Phantasie und Kreativität benutzen, wenn sie diese Untersuchungen bzw. Experimente durchführen?

a) Falls **NEIN**, erkläre bitte warum!

b) Falls **JA**, in welchem Teil / welchen Teilen ihrer Untersuchungen (Planung, Durchführung, Beobachtung, Datenauswertung, Interpretation der Daten, Bericht der Ergebnisse etc.) denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität?

Bitte gib nach Möglichkeit Beispiele an.

13.2. Kodierleitfaden für Item 1

13.2.1. Kodierleitfaden für die 4B Klasse

Tabelle 7. Kodierleitfaden für alle Antworten zu Item 1 in der 4B Klasse

Kategorie	Unterkategorie	Definition	Ankerbeispiele	PRÄ	POST	Kodierregeln
1. Keine oder vage Vorstellung von naturwissenschaftlicher Forschung	1.1. Keine konkrete Vorstellung von Forschung	Die Schüler_innen besitzen keine konkrete Vorstellung vom Forschungsprozess und beschränken sich in ihrer Antwort auf sehr vage Begriffe und Aussagen.	„Sie forschen, um die Natur besser kennen lernen und auch verstehen zu können.“ „Zuerst eine Frage stellen und dies probieren zu beantworten.“	S1/10 S1/16	S1/17	Immer dann, wenn die Antwort sehr unspezifisch ist und keine Aussagen über konkrete Vorstellungen über Forschung zulässt.
	1.2. Forschen als Ausprobieren	Naturwissenschaftliche Forschung wird mit einem Prozess des Ausprobierens verknüpft, der nicht nach Plan verläuft.	„Sie probieren sicher selber viel aus und experimentieren viel. Dabei versuchen sie, etwas zu lernen und herauszufinden. Sie untersuchen Sachen.“ „Beobachten, fotografieren, probieren, experimentieren“	S1/15 S1/18	S1/19	Immer dann, wenn die Antwort eine Auffassung des praktischen Probierens vermittelt.
	1.3. Allgemeine empiristische Vorstellung von Forschung	Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden ausschließlich mittels empirischer Tätigkeiten gewonnen (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„Sie beobachten und experimentieren.“ „Sie beobachten und untersuchen über was sie lernen wollen. Führen auch Experimente durch.“	S1/7 S1/14	S1/7	Immer dann, wenn der Forschungsprozess vage mit empirischen Aktivitäten wie z.B. Beobachten oder Experimentieren assoziiert wird.
	1.4. Naturwissenschaftliche Forschung als Erforschen der Natur	Naturwissenschaftler_innen gehen in ihrer Forschung in die Natur hinaus und lernen durch Beobachtung oder Interaktion mit der Natur etwas über dieselbe (vgl. Ertl, 2013, S. 18).	„Sie untersuchen die Natur und experimentieren mit ihr.“ „In direkter [sic] Berührung mit der Natur treten.“	S1/12 S1/19	-	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit direktem Naturkontakt gleichgesetzt wird.

	1.5. Naturwissenschaftliche Forschung als Abbilden der Natur	Naturwissenschaftliche Forschung strebt danach, natürliche Vorgänge nachzubilden.	„Sie versuchen bereits in der Natur vorkommende Experimente in möglichst gleicher Form nachzustellen.“	-	S1/1	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit einem Nachahmungsprozess verknüpft wird.
2. Experimente als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisse	-	Der Forschungsprozess wird auf Experimente reduziert, wobei allein durch deren Durchführung automatisch faktisches Wissen erlangt wird (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„NaturwissenschaftlerInnen versuchen mit Hilfe von Untersuchungen und Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden.“ „Sie versuchen eine These mithilfe verschiedener Experimente zu beweisen.“	S1/1 S1/2 S1/5 S1/8 S1/9 S1/13 S1/20 S1/6	S1/6 S1/20 S1/8 S1/9* S1/12 S1/15	Immer dann, wenn die Rolle von Experimenten in der Erkenntnisgewinnung betont wird. Fragestellungen werden jedoch nicht als eigener Schritt im Forschungsprozess definiert.
3. Natur und Labor/Büro als gegensätzliche Arbeitsplätze	-	Naturwissenschaftler_innen erforschen nicht nur die Natur, sondern arbeiten auch im Labor/Büro und beschäftigen sich mit der Theorie, um ihre Forschung zu ergänzen.	„Ich glaube, dass Naturwissenschaftler die Natur erforschen bzw. im Labor verschiedene Experimente durchführen um Neuigkeiten herauszufinden“	S1/4 S1/11	S1/4 S1/11*	Immer dann, wenn zusätzlich zur Forschung in der Natur weitere Tätigkeiten genannt werden, die auf ein Verständnis mehrerer Arbeitsplätze hindeuten.
4. „Teilaspekte“ einer angemessenen Vorstellung von Forschung sind repräsentiert.	4.1. Theoriebasiertheit von Forschung	Naturwissenschaftliche Phänomene werden in bereits bestehende Theorien und Wissensbestände eingeordnet.	„Das Wissen das schon gesammelt wurde anschauen, und mit dem Gesammelten [sic] Wissen die Natur beobachten. Natürlich muss man schauen, ob man Muster erkennt.“	S1/17	-	Immer dann, wenn die Betrachtung der Ergebnisse/ Beobachtungen in Bezug zum derzeitigen Wissensstand betont wird.
	4.2. Naturwissenschaftliche Forschung als Innovation	Naturwissenschaftliche Forschung dient dazu, Neues und Nützliches zu entwickeln und Bestehendes zu optimieren.	„Sie versuchen die Natur durch experimente [sic] und genaues studieren [sic] einzelner Vorgänge zu verstehen und für den Alltag nützlich machen.“	S1/3	S1/3* S1/16	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit technischen Verbesserungen und Innovation verknüpft wird.
	4.3. Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschungsprozessen	Naturwissenschaftliche Forschung ist von Fragestellungen geleitet, die es zu beantworten gilt (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 4).	„Sie experimentieren und forschen über ein gewisses Thema um am Schluss ihre Frage beantworten zu können. Als erstes muss man eine Forschungsfrage stellen.“	-	S1/18 S1/10 S1/2 S1/13 S1/14 S1/5	Immer dann, wenn Fragestellungen explizit als erster Schritt im Forschungsprozess bzw. als zentraler Aspekt von Forschung genannt werden.

13.2.2. Kodierleitfaden für die 4A Klasse

Tabelle 8. Kodierleitfaden für alle Antworten zu Item 1 in der 4A Klasse

Kategorie	Unterkategorie	Definition	Ankerbeispiele	PRÄ	POST	Kodierregeln
1. Keine oder sehr vage Vorstellung von Forschung	1.1. Keine konkrete Vorstellung von Forschung	Die Schüler_innen besitzen keine konkrete Vorstellung vom Forschungsprozess und beschränken sich in ihrer Antwort auf sehr vage Begriffe und Aussagen.	„Sie ermitteln oder untersuchen etwas zu dem Thema was sie studieren.“ „Sie forschen über Physik, Chemie und Biologie. Erstmal Überlegung und dann durchführen.“	S2/1 S2/15	S2/2	Immer dann, wenn die Antwort sehr unspezifisch ist und keine Aussagen über konkrete Vorstellungen über Forschung zulässt.
	1.2. Forschen als Ausprobieren	Naturwissenschaftliche Forschung wird mit einem Prozess des Ausprobierens verknüpft.	„Sie probieren viele Sachen aus, experimentieren viel & versuchen, aus den Ergebnissen Schlüsse zu ziehen.“	-	S2/9	Immer dann, wenn die Antwort eine Auffassung des praktischen Probierens vermittelt.
	1.3. Allgemeine empiristische Vorstellung von Forschung	Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden ausschließlich mittels empirischer Tätigkeiten gewonnen (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„Sie müssen genau beobachten und alles dokumentieren was sie sehen. Und sie machen auch viele Experimente, z.B. wie verschiedene Stoffe aufeinander reagieren.“	S2/2 S2/9 S2/10 S2/11 S2/16 S2/17 S2/18 S2/19	S2/5 S2/3 S2/17 S2/7 S2/16 S2/4	Immer dann, wenn der Forschungsprozess vage mit empirischen Aktivitäten wie z.B. Beobachten oder Experimentieren assoziiert wird.
	1.4. Forschen als Empirie und Recherche	Naturwissenschaftliche Forschung beinhaltet sowohl empirische Tätigkeiten als auch Recherche.	„Sie untersuchen, beobachten und recherchieren bestimmte Themen.“	S2/5 S2/12	-	Immer dann, wenn zusätzlich zur Empirie Recherche als forschende Tätigkeit genannt wird.
	1.5. Schulische Vorstellung von Forschung	Der Forschungsprozess gleicht einem Lernprozess in der Schule, wobei Experimente dazu dienen, das Gelernte zu vertiefen.	„Sie machen ein Kapitel nach dem anderen das heißt sie lernen nicht auf einmal, sondern beschäftigen sich genauer nach einander mit den Themen. Zu den verschiedenen Bereichen machen sie sicher auch Experimente. Durch Experimente	S2/8	-	Immer dann, wenn eine stark durch Schulerfahrung geprägte Vorstellung von Forschung besteht.

			merkt man sich nämlich die Sachen auch besser.“			
	1.6. Naturwissenschaftliche Forschung als Erforschen der Natur	Naturwissenschaftler_innen gehen in ihrer Forschung in die Natur hinaus und lernen durch Beobachtung oder Interaktion mit der Natur etwas über dieselbe (vgl. Ertl, 2013, S. 18).	„Suchen Sachen zum Beobachten und schauen z.B. wie Pflanzen wachsen oder Tiere sich fortpflanzen = Biologen.“ „Sie gehen raus in die Natur und erforschen, z.B. man forscht über Fische.“	S2/3 S2/4 S2/7	-	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit direktem Naturkontakt gleichgesetzt wird.
	1.7. Naturwissenschaftliche Forschung als Leitung	Naturwissenschaftler_innen bieten durch ihre Forschung Autorität und wegweisende Informationen für Nicht-Naturwissenschaftler_innen.	„Sie bringen uns bei, wie wir bei Gefahren oder lebenswichtigen Situationen reagieren oder was wir machen müssen.“	S2/20	S2/20	Immer dann, wenn Forschung mit Autorität und Führung verknüpft wird.
2. Experimente als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnisse	-	Der Forschungsprozess wird auf Experimente reduziert, wobei allein durch deren Durchführung automatisch faktisches Wissen erlangt wird (vgl. Höttecke, 2001, S. 17; Ertl, 2010, S. 5).	„Sie forschen und experimentieren um herauszufinden, wieso etwas so ist wie es ist oder warum es sich so verhält.“ „Sie machen verschiedene Experimente um etwas zu beweisen und so lernen sie etwas über die Natur.“	S2/6 S2/14	S2/14	Immer dann, wenn in der Antwort die Rolle von Experimenten in der Erkenntnisgewinnung betont wird. Es wird erwähnt, dass dabei Fragen beantwortet werden, jedoch wird die Aufstellung solcher Fragestellungen nicht als eigener Schritt im Forschungsprozess definiert.
3. Natur und Labor/Büro als gegensätzliche Arbeitsplätze	-	Naturwissenschaftler_innen erforschen nicht nur die Natur, sondern begeben sich zeitweise auch in Räumlichkeiten oder beschäftigen sich mit Theorie, um ihre Forschung zu ergänzen.	„Sie untersuchen Naturgebiete oder forschen in einem Labor nach.“	S2/13	-	Immer dann, wenn zusätzlich zur Forschung in der Natur weitere Tätigkeiten genannt werden, die auf ein Verständnis mehrerer Arbeitsplätze hindeuten.

4. „Teilaspekte“ einer angemessenen Vorstellung von Forschung sind repräsentiert.	4.1. Naturwissenschaftliche Forschung als Innovation	Naturwissenschaftliche Forschung dient dazu, Neues und Nützliches zu entwickeln und Bestehendes zu optimieren.	„Sie experimentieren und versuchen neues. Sie wollen neue Sachen entdecken oder Dinge beweisen. Vielleicht lesen sie auch Bücher um Theorien von Wissenschaftlern zu verstehen die tot sind.“	S2/21	-	Immer dann, wenn naturwissenschaftliche Forschung mit technischen Verbesserungen und Innovation verknüpft wird.
	4.2. Naturwissenschaftliche Forschung als planvolles Vorgehen	In einem Forschungsprozess spielt Vor- und Nachbereitung eine Rolle.	„Sie planen etwas sehr ausführlich und die Ergebnisse dokumentieren sie und interpretieren sie auch.“	-	S2/13	Immer dann, wenn Forschung mit der Vor- und Nachbereitung eines empirischen Prozesses verknüpft wird.
	4.3. Fragestellungen als Ausgangspunkt von Forschungsprozessen	Naturwissenschaftliche Forschung ist von Fragestellungen geleitet, die es zu beantworten gilt (vgl. Schwartz et al., 2008, S. 4).	„Als erstes stellen sie eine Forschungsfrage. Dann planen sie das Experiment, führen es durch und dokumentieren alles genauestens. Die Störfaktoren – Rahmenbedingungen – sollten ausgeschaltet bzw. kontrolliert werden. Außerdem soll das Experiment wiederholt werden können.“ „Sie überlegen sich eine Forschungsfrage, stellen eine Hypothese auf und überlegen sich dazu ein Experiment. Sie dokumentieren ihre Messwerte und versuchen die richtig zu interpretieren.“	-	S2/15 S2/10 S2/8 S2/11 S2/19 S2/6 S2/18 S2/21 S2/12 S2/1	Immer dann, wenn explizit Fragestellungen als erster Schritt im Forschungsprozess genannt wird. Im Gegensatz zu Kategorie 6 wird das Aufstellen der Fragestellung als Teil des Forschungsprozesses beschrieben.

13.3. Optimierte Unterrichtsmaterialien

Infoblatt 1: Wie funktioniert eine Solarzelle?

Mit Hilfe einer Solarzelle kann Sonnenlicht in elektrische Energie umgewandelt werden. Wie aber ist eine Solarzelle aufgebaut und was passiert genau, wenn Licht auf sie trifft?

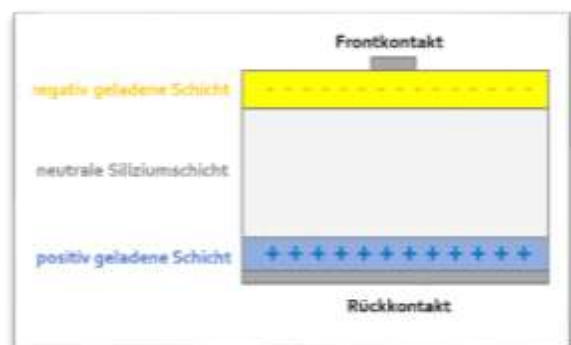
Solarzellen wandeln die Energie der Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie um. Dieser Vorgang wird auch Photovoltaik genannt. Das Wort setzt sich zusammen aus dem griechischen Wort „photos“ für Licht und „Volt“, der Einheit für die Spannung. Neben Solarzellen nutzen auch Sonnenkollektoren die Energie der Sonne. Sie wandeln Sonnenenergie in thermische Energie um, z.B. zum Beheizen von Wasser.

1. WORAUS BESTEHEN SOLARZELLEN?

Solarzellen werden meist aus Silizium hergestellt. Silizium ist ein Element, das auf der Erde sehr häufig vorkommt. Es lässt sich z.B. aus Sand herstellen. Silizium ist ein Halbleiter. Halbleiter sind Materialien, die sich manchmal wie elektrische Leiter und manchmal wie Isolatoren verhalten. Ob das Material leitet oder nicht, hängt z.B. von der Temperatur ab. Auch durch gezielte Verunreinigung des Materials mit anderen chemischen Elementen („Dotierung“) kann man die Leitfähigkeit von Halbleitern ändern.

2. WIE SIND SOLARZELLEN AUFGEBAUT?

Eine Solarzelle besteht aus unterschiedlichen Siliziumschichten. Die oberste Schicht ist so verunreinigt (dotiert), dass sie negativ geladen ist. Die unterste Schicht wird mit einem anderen Material verunreinigt, damit sie positiv wird. Dazwischen liegt eine Übergangsschicht aus reinem Silizium*. Wegen den beiden unterschiedlich geladenen Randschichten bildet sich in der neutralen Siliziumschicht ein **elektrisches Feld**, dessen Feldlinien vom Pluspol zum Minuspol führen. Am Rand der geladenen Schichten sind Metallkontakte (Rückkontakt und Frontkontakt) angebracht.

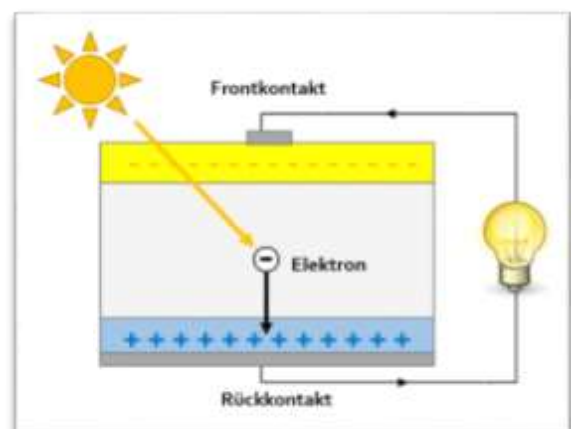


3. WIE FUNKTIONIERT EINE SOLARZELLE?

In der neutralen Siliziumschicht sind normalerweise alle Elektronen an ihre Atomkerne gebunden. Trifft Licht auf die Solarzelle, dann gibt das Licht seine Energie an die Elektronen ab. Die Elektronen werden dadurch aus ihren Bindungen gelöst.

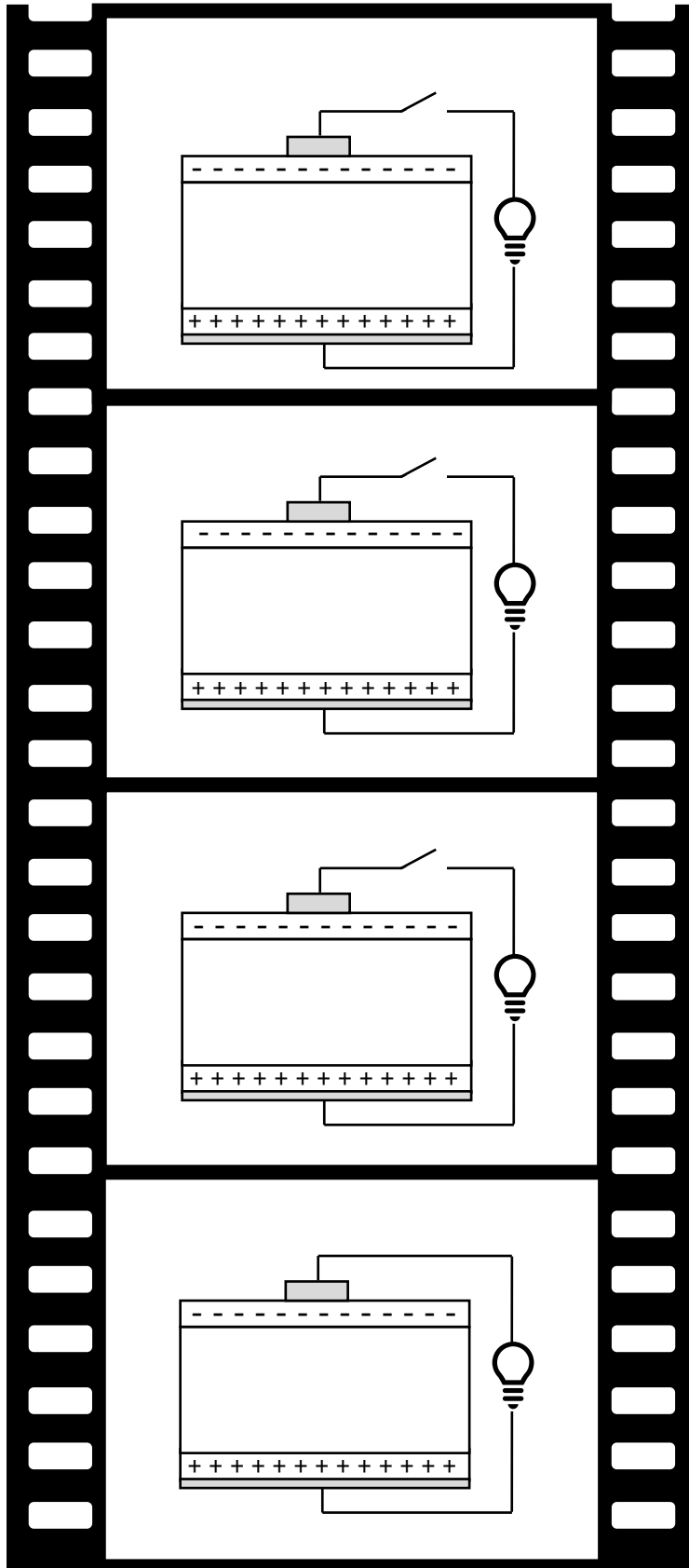
Durch das elektrische Feld in der Solarzelle wirkt eine Kraft auf die freien Elektronen. Sie bewegen sich daher zur positiv geladenen Randschicht, entgegengesetzt zur Richtung der Feldlinien. Am Metallkontakt der positiven Schicht sammeln sich die Elektronen. Dieser Kontakt lädt sich daher negativ auf. Durch diese ungleiche Verteilung von Ladungen entsteht eine Spannung zwischen den beiden Kontakten.

Verbindet man die Kontakte der Solarzelle über Kabel mit einem Elektrogerät, dann kann Strom fließen. Im Stromkreis transportieren die Elektronen elektrische Energie zum Elektrogerät: dort wird die elektrische Energie in die benötigten Energieformen (Licht, Bewegung, thermische Energie, ...) umgewandelt. Wenn man mehrere Solarzellen kombiniert, erhält man höhere Spannungen. Diese Kombination nennt man auch „Solarmodul“.



Arbeitsblatt 1: Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie

Zeichnet Schritt um Schritt im Filmstreifen ein, was passiert, wenn Licht auf eine Solarzelle trifft. Erklärt auf den Feldern neben den Bildern in eigenen Worten, was ihr im Bild gezeichnet habt. Ergänzt dabei auch die elektrische Kraft, die auf die Elektronen wirkt.



Wenn die Solarzelle mit Licht bestrahlt wird,
dann...

Das elektrische Feld bewirkt...

Die Elektronen sammeln sich....

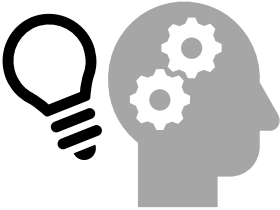
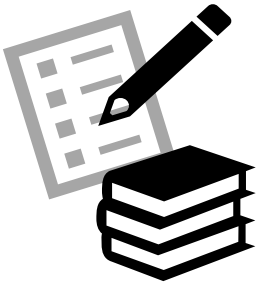
Wird der Stromkreis geschlossen...

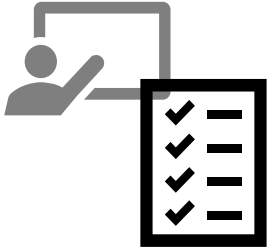
Arbeitsblatt 2: EXPERIMENTE in der physikalischen FORSCHUNG

Damit man in der physikalischen Forschung neues Wissen entwickeln kann, braucht es sowohl theoretische Überlegungen als auch praktische Untersuchungen wie Experimente oder Beobachtungen. Experimente können auf sehr unterschiedliche Art und Weise ablaufen. Trotzdem gibt es einige Schritte, die man berücksichtigen muss, damit man zu einem sinnvollen Ergebnis kommt. Das Messen ist dabei allerdings nur ein Teil davon.

Überlegt euch eine Reihenfolge für die einzelnen Textteile anhand der Bilder und Überschriften. Lest anschließend nur den markierten Text und beschäftigt euch mit diesem so, dass ihr ihn später präsentieren könnt.

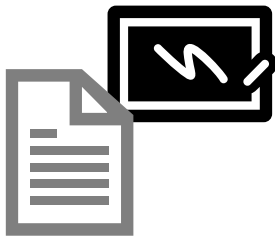
Textteile zum Ausschneiden für die Lehrkraft

	FORSCHUNGSFRAGE stellen	Bevor Forscher_innen eine Untersuchung planen, müssen sie sich zuerst darüber informieren, was man bereits alles zu einem bestimmten Thema weiß. Dann versuchen sie möglichst genau festzulegen, was sie selber herausfinden möchten. Dazu stellen Forscher_innen eine Forschungsfrage auf, die sie mit ihrer Untersuchung beantworten wollen. Diese ist der „rote Faden“, der sich durch die ganze Forschung zieht.
	HYPOTHESE aufstellen	Forscher_innen müssen sich vor der Planung einer Untersuchung sehr genau damit auseinandersetzen, was man bereits über das Untersuchungsthema weiß. Sie können daher schon vor Beginn des Experiments eine begründete Vermutung (Hypothese) darüber aufstellen, welches Ergebnis dabei herauskommen könnte.
	Experiment PLANEN und MESSGERÄT auswählen	Forscher_innen wenden für Experimente oft sehr viel Zeit auf. Außerdem müssen sie dafür Instrumente anschaffen, die oft sehr teuer sind. Sie müssen daher sehr genau planen, wie sie bei Ihrer Untersuchung vorgehen wollen und welche Größen sie messen wollen. Bevor sie ein Messgerät kaufen, überlegen sie, in welchem Bereich die Messgrößen verändert werden sollen und wie genau das Ergebnis sein soll.
	Mit dem MESSGERÄT auseinandersetzen	Bevor Forscher_innen zu messen beginnen, müssen sie sich mit den Messgeräten, die sie verwenden, vertraut machen. Wichtig ist, dass sie verstehen, wie ein Messgerät funktioniert, weil sie das bei der Messung berücksichtigen müssen. Außerdem müssen sie überlegen, was die Genauigkeit der Messung beeinflussen könnte und wie genau das Messgerät misst.



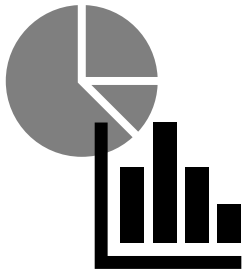
RAHMENBEDINGUNGEN des Experiments festlegen

Der Unterschied zwischen einem Experiment und einer Beobachtung der Natur ist, dass Forscher_innen bei einem Experiment bewusst in die Natur eingreifen und die Rahmenbedingungen kontrollieren, bei einer Beobachtung nicht. Rahmenbedingungen kontrollieren heißt, dass immer nur eine Größe verändert werden darf, während alle anderen Einflüsse, die den Verlauf des Experiments verändern könnten, fixiert oder genau festgelegt werden.



Messung DURCHFÜHREN und Messwerte DOKUMENTIEREN

Bei einem Experiment müssen die erhobenen Daten sorgfältig aufgezeichnet werden und auch alle anderen Informationen, die für die Messung wichtig sind, genau dokumentiert werden (zum Beispiel die Einstellung des Messgeräts oder die Raumtemperatur während der Messung). Oft ist es günstig, wenn man für die Messwerte eine Tabelle anlegt und auf Basis dieser Tabelle ein Diagramm zeichnet, in dem die Werte in einem Koordinatensystem festgehalten werden.



Daten INTERPRETIEREN

Die gesammelten Daten selber liefern keine absoluten Beweise, sondern sie müssen von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen erst interpretiert werden, damit sie damit ihre Forschungsfrage beantworten können. Nachdem sie das Experiment durchgeführt haben, überlegen sich Forscher_innen deshalb, was die gesammelten Daten im Hinblick auf die Forschungsfrage aussagen.



Ergebnisse DISKUTIEREN

Forscher_innen sind keine neutralen Datensammler_innen, denn Faktoren wie ihr theoretisches Vorwissen und ihre Phantasie und Kreativität beeinflussen alle Phasen ihrer Untersuchung. Deshalb ist es wichtig, dass die Ergebnisse mit anderen Forscher_innen diskutiert werden und diese das gleiche Experiment oder ähnliche Experimente durchführen, um herauszufinden, ob sie dabei zum selben Ergebnis kommen.

Arbeitsblatt 3A: Einstrahlwinkel & Solarzellenleistung (Seite 1 von 2)

Einer der Faktoren, der die elektrische Leistung einer Solarzelle beeinflussen kann, ist der **Einstrahlwinkel** des Sonnenlichts. Es ist deshalb wichtig, dass die Ausrichtung der Solarzelle so eingestellt wird, dass der Winkel zwischen dem einfallendem Licht und der Oberfläche der Solarzelle ideal ist.

PHASE 1: FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESE AUFSTELLEN

1. Was wollt ihr genau herausfinden? – **FORSCHUNGSFRAGE**

2. Welches Ergebnis erwartet ihr euch vom Experiment? – **HYPOTHESE**

PHASE 2: MESSPLANUNG: Bevor ihr zu messen beginnt, müsst ihr euch überlegen, wie ihr genau vorgehen wollt. **TIPP:** Bei Problemen helfen euch die **HILFEKARTEN** 🔍 weiter.

1. Welche physikalische(n) Größe(n) wollt ihr messen?



2. a) Welche Größe soll im Experiment schrittweise verändert werden?



- b) Wie könnt ihr diese Größe verändern?



3. Welche anderen Faktoren können die Messung beeinflussen? – **KONTROLLE DER RAHMENBEDINGUNGEN**



4. a) Welche Materialien braucht ihr für das Experiment? Erstellt eine Liste!



- b) Wie wollt ihr das Experiment konkret aufbauen? Zeichnet eine Schaltskizze!



Arbeitsblatt 3A: Einstrahlwinkel & Solarzellenleistung (Seite 2 von 2)

PHASE 3: AUSEINANDERSETZUNG MIT DEM MESSGERÄT

Um die Spannung und die Stromstärke zu messen, werdet ihr Multimeter verwenden.

Macht euch mit den Messgeräten vertraut. Findet heraus, wie ihr das Messgerät **einschalten** und **verschiedene Messgrößen auswählen** könnt und wo ihr die **Kabel** einstecken müsst.

Beantwortet die folgenden Fragen:

- Welche Messbereiche werdet ihr einstellen?
- Wie genau werden die Werte angezeigt, die ihr dabei ablesen könnt?



PHASE 4: DATENERHEBUNG

⚠ BEVOR IHR ZU MESSEN BEGINNT, LASST EURE SCHALTUNG KONTROLLIEREN!

1. Baut das Experiment mit Hilfe eurer Schaltskizze auf.
2. Überlegt euch, wie ihr bei den einzelnen Messungen vorgehen werdet.
3. Wie könnt ihr die Störfaktoren ausschließen, die ihr in der Planung ermittelt habt?
4. Führt nun eure Messungen wie geplant durch. Legt dazu eine **TABELLE** auf einem Zettel oder im Heft an, in der ihr alle Werte übersichtlich eintragen könnt!
5. Stellt die Ergebnisse auf einem Zettel oder im Heft **GRAFISCH** dar (Koordinatensystem oder Säulendiagramm).



TIPP: Auch hier helfen euch bei Problemen die **HILFEKARTEN**  weiter.

PHASE 5: PRÄSENTATION der ERGEBNISSE

Stellt gemeinsam als Gruppe eure Ergebnisse vor:

- Erklärt das Ziel eurer Messungen (Forschungsfrage und Hypothese).
- Beschreibt, wie ihr bei den Messungen vorgegangen seid und was ihr dabei beachtet habt.
- Welche Ergebnisse habt ihr erhalten?
- Erklärt, ob ihr eure Hypothese mit den gesammelten Messwerten bestätigen konntet.

Arbeitsblatt 3B: Bestrahlungsstärke & Solarzellenleistung (Seite 1 von 2)

Einer der Faktoren, der die elektrische Leistung einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Bestrahlungsstärke** des einfallenden Lichts. Diese ist nichts anderes als die Intensität des Sonnenlichts und gibt an, wie viel Lichtenergie pro Sekunde auf eine bestimmte Oberfläche trifft.

PHASE 1: FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESE AUFSTELLEN

1. Was wollt ihr genau herausfinden? – **FORSCHUNGSFRAGE**

2. Welches Ergebnis erwartet ihr euch vom Experiment? – **HYPOTHESE**

PHASE 2: MESSPLANUNG: Bevor ihr zu messen beginnt, müsst ihr euch überlegen, wie ihr genau vorgehen wollt. **TIPP:** Bei Problemen helfen euch die **HILFEKARTEN**  weiter.

1. Welche physikalische(n) Größe(n) wollt ihr messen?



2. a) Welche Größe soll im Experiment schrittweise verändert werden?



- b) Wie könnt ihr diese Größe verändern?



3. Welche anderen Faktoren können die Messung beeinflussen? – **KONTROLLE DER RAHMENBEDINGUNGEN**



4. a) Welche Materialien braucht ihr für das Experiment? Erstellt eine Liste!



- b) Wie wollt ihr das Experiment konkret aufbauen? Zeichnet eine Schaltskizze!



PHASE 3: AUSEINANDERSETZUNG MIT DEM MESSGERÄT

Um die Spannung und die Stromstärke zu messen, werdet ihr Multimeter verwenden.

Macht euch mit den Messgeräten vertraut. Findet heraus, wie ihr das Messgerät **einschalten** und **verschiedene Messgrößen auswählen** könnt und wo ihr die **Kabel** einstecken müsst.

Beantwortet die folgenden Fragen:

- Welche Messbereiche werdet ihr einstellen?
- Wie genau werden die Werte angezeigt, die ihr dabei ablesen könnt?



PHASE 4: DATENERHEBUNG

⚠ BEVOR IHR ZU MESSEN BEGINNT, LASST EURE SCHALTUNG KONTROLLIEREN!

1. Baut das Experiment mit Hilfe eurer Schaltskizze auf.
2. Überlegt euch, wie ihr bei den einzelnen Messungen vorgehen werdet.
3. Wie könnt ihr die Störfaktoren ausschließen, die ihr in der Planung ermittelt habt?
4. Führt nun eure Messungen wie geplant durch. Legt dazu eine **TABELLE** auf einem Zettel oder im Heft an, in der ihr alle Werte übersichtlich eintragen könnt!
5. Stellt die Ergebnisse auf einem Zettel oder im Heft **GRAFISCH** dar (Koordinatensystem oder Säulendiagramm).



TIPP: Auch hier helfen euch bei Problemen die **HILFEKARTEN**  weiter.

PHASE 5: PRÄSENTATION der ERGEBNISSE

Stellt gemeinsam als Gruppe eure Ergebnisse vor:

- Erklärt das Ziel eurer Messungen (Forschungsfrage und Hypothese).
- Beschreibt, wie ihr bei den Messungen vorgegangen seid und was ihr dabei beachtet habt.
- Welche Ergebnisse habt ihr erhalten?
- Erklärt, ob ihr eure Hypothese mit den gesammelten Messwerten bestätigen könntet.

Arbeitsblatt 3C: Solarzellentemperatur & Solarzellenleistung (Seite 1 von 2)

Einer der Faktoren, der die elektrische Leistung einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Temperatur der Solarzelle**. Diese kann sich durch äußere Bedingungen wie z.B. die Intensität der Sonneneinstrahlung oder Wüstenstürme ändern und muss daher immer berücksichtigt werden.

PHASE 1: FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESE AUFSTELLEN

1. Was wollt ihr genau herausfinden? – **FORSCHUNGSFRAGE**

2. Welches Ergebnis erwartet ihr euch vom Experiment? – **HYPOTHESE**

PHASE 2: MESSPLANUNG: Bevor ihr zu messen beginnt, müsst ihr euch überlegen, wie ihr genau vorgehen wollt. **TIPP:** Bei Problemen helfen euch die **HILFEKARTEN**  weiter.

1. Welche physikalische(n) Größe(n) wollt ihr messen?



2. a) Welche Größe soll im Experiment schrittweise verändert werden?



- b) Wie könnt ihr diese Größe verändern?



3. Welche anderen Faktoren können die Messung beeinflussen? – **KONTROLLE DER RAHMENBEDINGUNGEN**



4. a) Welche Materialien braucht ihr für das Experiment? Erstellt eine Liste!



- b) Wie wollt ihr das Experiment konkret aufbauen? Zeichnet eine Schaltskizze!



PHASE 3: AUSEINANDERSETZUNG MIT DEM MESSGERÄT

Um die Spannung und die Stromstärke zu messen, werdet ihr Multimeter verwenden.

Macht euch mit den Messgeräten vertraut. Findet heraus, wie ihr das Messgerät **einschalten** und **verschiedene Messgrößen auswählen** könnt und wo ihr die **Kabel** einstecken müsst.

Beantwortet die folgenden Fragen:

- Welche Messbereiche werdet ihr einstellen?
- Wie genau werden die Werte angezeigt, die ihr dabei ablesen könnt?



PHASE 4: DATENERHEBUNG

⚠ BEVOR IHR ZU MESSEN BEGINNT, LASST EURE SCHALTUNG KONTROLLIEREN!

1. Baut das Experiment mit Hilfe eurer Schaltskizze auf.
2. Überlegt euch, wie ihr bei den einzelnen Messungen vorgehen werdet.
3. Wie könnt ihr die Störfaktoren ausschließen, die ihr in der Planung ermittelt habt?
4. Führt nun eure Messungen wie geplant durch. Legt dazu eine **TABELLE** auf einem Zettel oder im Heft an, in der ihr alle Werte übersichtlich eintragen könnt!
5. Stellt die Ergebnisse auf einem Zettel oder im Heft **GRAFISCH** dar (Koordinatensystem oder Säulendiagramm).



TIPP: Auch hier helfen euch bei Problemen die **HILFEKARTEN**  weiter.

PHASE 5: PRÄSENTATION der ERGEBNISSE

Stellt gemeinsam als Gruppe eure Ergebnisse vor:

- Erklärt das Ziel eurer Messungen (Forschungsfrage und Hypothese).
- Beschreibt, wie ihr bei den Messungen vorgegangen seid und was ihr dabei beachtet habt.
- Welche Ergebnisse habt ihr erhalten?
- Erklärt, ob ihr eure Hypothese mit den gesammelten Messwerten bestätigen könntet.

Arbeitsblatt 3D: Lichtfarbe & Solarzellenleistung (Seite 1 von 2)

Einer der Faktoren, der die elektrische Leistung einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Farbe des Lichts**, das auf die Solarzelle trifft. Durch unterschiedliche Bedingungen in unserer Atmosphäre (wie z.B. hohe Luftfeuchtigkeit) kann das Licht in unterschiedlichen Gebieten auf der Erde verschiedene Anteile des Farbspektrums besitzen.

PHASE 1: FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESE AUFSTELLEN

1. Was wollt ihr genau herausfinden? – **FORSCHUNGSFRAGE**

2. Welches Ergebnis erwartet ihr euch vom Experiment? – **HYPOTHESE**

PHASE 2: MESSPLANUNG: Bevor ihr zu messen beginnt, müsst ihr euch überlegen, wie ihr genau vorgehen wollt. **TIPP:** Bei Problemen helfen euch die **HILFEKARTEN**  weiter.

1. Welche physikalische(n) Größe(n) wollt ihr messen?



2. a) Welche Größe soll im Experiment schrittweise verändert werden?



- b) Wie könnt ihr diese Größe verändern?



3. Welche anderen Faktoren können die Messung beeinflussen? – **KONTROLLE DER RAHMENBEDINGUNGEN**



4. a) Welche Materialien braucht ihr für das Experiment? Erstellt eine Liste!



- b) Wie wollt ihr das Experiment konkret aufbauen? Zeichnet eine Schaltskizze!



PHASE 3: AUSEINANDERSETZUNG MIT DEM MESSGERÄT

Um die Spannung und die Stromstärke zu messen, werdet ihr Multimeter verwenden.

Macht euch mit den Messgeräten vertraut. Findet heraus, wie ihr das Messgerät **einschalten** und **verschiedene Messgrößen auswählen** könnt und wo ihr die **Kabel** einstecken müsst.

Beantwortet die folgenden Fragen:

- Welche Messbereiche werdet ihr einstellen?
- Wie genau werden die Werte angezeigt, die ihr dabei ablesen könnt?



PHASE 4: DATENERHEBUNG

⚠ BEVOR IHR ZU MESSEN BEGINNT, LASST EURE SCHALTUNG KONTROLLIEREN!

1. Baut das Experiment mit Hilfe eurer Schaltskizze auf.
2. Überlegt euch, wie ihr bei den einzelnen Messungen vorgehen werdet.
3. Wie könnt ihr die Störfaktoren ausschließen, die ihr in der Planung ermittelt habt?
4. Führt nun eure Messungen wie geplant durch. Legt dazu eine **TABELLE** auf einem Zettel oder im Heft an, in der ihr alle Werte übersichtlich eintragen könnt!
5. Stellt die Ergebnisse auf einem Zettel oder im Heft **GRAFISCH** dar (Koordinatensystem oder Säulendiagramm).



TIPP: Auch hier helfen euch bei Problemen die **HILFEKARTEN**  weiter.

PHASE 5: PRÄSENTATION der ERGEBNISSE

Stellt gemeinsam als Gruppe eure Ergebnisse vor:

- Erklärt das Ziel eurer Messungen (Forschungsfrage und Hypothese).
- Beschreibt, wie ihr bei den Messungen vorgegangen seid und was ihr dabei beachtet habt.
- Welche Ergebnisse habt ihr erhalten?
- Erklärt, ob ihr eure Hypothese mit den gesammelten Messwerten bestätigen könntet.

HINWEIS 1 - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Die elektrische Leistung kann man nicht direkt messen, sondern nur indirekt mit Hilfe anderer Messgrößen bestimmen und über eine Formel berechnen.

Könnt ihr euch noch an diese Formel erinnern?

Sie weist euch darauf hin, welche Größen ihr im Experiment messen müsst, damit ihr die elektrische Leistung der Solarzelle berechnen könnt!

LÖSUNG 1 - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Die elektrische Leistung kann man mit der Formel

$$P = U \cdot I$$

berechnen.

Wir müssen also zuerst die Stromstärke und die Spannung messen und können damit dann die elektrische Leistung berechnen.

HINWEIS 2a - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Ihr wisst jetzt, was ihr messen wollt.

Nun müsst ihr euch fragen, was ihr während eurer Messungen bewusst verändern könnt, damit sich eure Strom- und Spannungswerte verändern.

LÖSUNG 2a - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Wir müssen den Einstrahlwinkel des Lichts während des Experiments ändern, damit wir herausfinden können, wie sich diese Änderung auf die Stromstärke und die Spannung der Solarzelle auswirkt.

HINWEIS 2b - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Unter realen Bedingungen ändert sich der Einstrahlwinkel mit dem Sonnenstand, der von der Tages- und Jahreszeit abhängt, und der Ausrichtung des Moduls.

Wie könnt ihr das in eurem Experiment nachstellen?

LÖSUNG 2b - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Am einfachsten ist es, wenn wir die Ausrichtung der Solarzelle ändern. Das geht auf zwei Arten:

- Die Solarzelle nach oben oder unten kippen
- Die Solarzelle nach links oder rechts drehen

HINWEIS 3 - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Außer dem Einstrahlwinkel wirken sich noch andere Faktoren auf die Leistung einer Solarzelle aus.

Überlegt euch, welche das sein könnten und wie ihr verhindern könnt, dass diese eure Messung beeinflussen.

LÖSUNG 3 - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Das könnte z.B. unsere Messung beeinflussen:

- Die Bestrahlungsstärke des Lichts
- Der Abstand zwischen Lichtquelle (z.B. Lampe) und Solarzelle
- Abschattung durch Objekte, die im Weg stehen
- Verschmutzung der Solarzelle durch Dreck oder Staub
- Die Temperatur der Solarzelle

Wir müssen darauf achten, dass sich diese Faktoren während unseres Experiments nicht verändern.

HINWEIS 4a - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Überlegt euch, welche Materialien ihr braucht, damit ihr euer Experiment durchführen könnt und dabei gleichzeitig Stromstärke und Spannung der Solarzelle messen könnt.

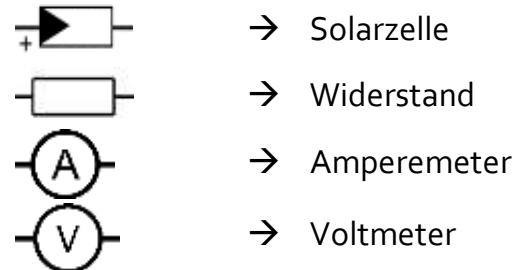
LÖSUNG 4a - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

Wir brauchen folgende Dinge:

- Eine Lichtquelle, z.B. eine Lampe
- Eine Solarzelle
- Eine Aufständerung, ein Stativ oder eine Halterung für die Solarzelle, damit wir sie drehen können
- Ein Geodreieck zum Messen des Winkels
- Ein Amperemeter, mit dem wir die Stromstärke messen können
- Ein Voltmeter, mit dem wir die Spannung messen können
- Einen Widerstand, den wir einbauen, damit wir Stromstärke und Spannung *gleichzeitig* messen können
- Kabel

HINWEIS 4b - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

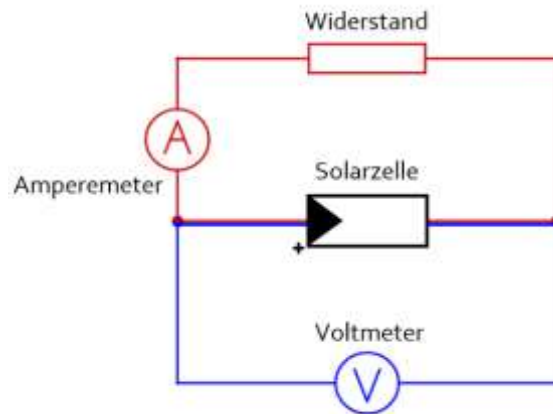
Die Schaltsymbole, die ihr braucht, seht ihr hier:



Überlegt euch, wie ihr Voltmeter und Amperemeter schalten müsst (parallel oder in Serie).

LÖSUNG 4b - PLANUNG EINSTRAHLWINKEL

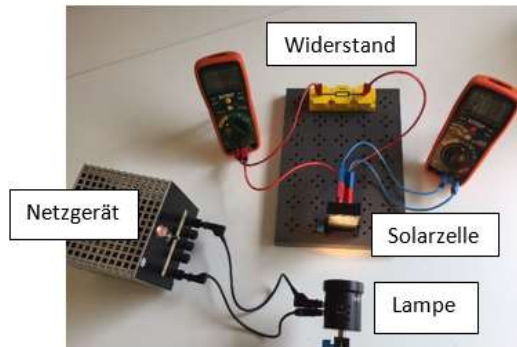
Um die elektrische Stromstärke zu messen, wird das Amperemeter mit dem Widerstand und der Solarzelle in Serie geschaltet (=roter Stromkreis). Die Spannung muss zwischen den beiden Kontakten der Solarzelle gemessen werden. Dazu wird das Voltmeter parallel zur Solarzelle geschaltet (=blauer Stromkreis).



	HINWEIS 0 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL Welche Spannung / Stromstärke vermutet ihr bei einer Solarzelle? Wenn ihr euch nicht sicher seid: Welche Messwerte könnt ihr am Anfang einstellen, damit das Gerät auf keinen Fall durch zu hohe Spannung / Stromstärke beschädigt wird?
LÖSUNG 0 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL Spannung und Stromstärke hängen von der jeweiligen Solarzelle / vom jeweiligen Solarmodul ab. Normalerweise liegen die Messwerte aber in den folgenden Bereichen: • Spannung: 1-10 Volt • Stromstärke: 10-200 mA Zur Sicherheit können wir am Anfang die höchsten Einstellungen für Spannung und Stromstärke wählen. Wird kein oder nur ein sehr kleiner Wert angezeigt, können wir so lange einen kleineren Bereich einstellen, bis wir einen gut ablesbaren Wert bekommen. Die Ablesegenauigkeit entspricht der kleinsten Kommastelle. Wird z.B. ein Wert von 2,087 V angezeigt, dann ist die Ablesegenauigkeit 0,001 V.	HINWEIS 1 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL Seht euch eure Schaltskizze an und überlegt, wie ihr den Stromkreis mit euren Materialien aufbauen könnt. Wo werdet ihr die einzelnen Geräte hinstellen und wie werdet ihr sie miteinander verbinden, damit die Messungen funktionieren?

LÖSUNG 1 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Wir verbinden einen Anschluss der Solarzelle über ein Kabel mit dem Amperemeter. Das Amperemeter schließen wir über ein zweites Kabel an den Widerstand an. Den Widerstand verbinden wir dann wieder mit einem Kabel mit dem zweiten Anschluss der Solarzelle (Serienschaltung, **roter Stromkreis**). Am Schluss verbinden wir das Voltmeter mit zwei Kabeln direkt mit der Solarzelle (Parallelschaltung, **blauer Stromkreis**).



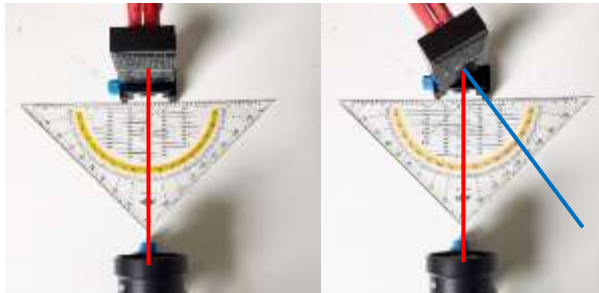
HINWEIS 2 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Wie könnt ihr den Winkel der Solarzelle verändern?

Welche Winkeleinstellungen werdet ihr wählen?

LÖSUNG 2 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Der Winkel kann von 0° bis 90° relativ zur senkrechten Ausrichtung (rote Linie) verändert werden.



Es sollten mindestens drei Einstellungen sein, aber wir können uns die Werte selbst aussuchen. Es ist sinnvoll, wenn die Einstellungen nicht zu nahe beieinander sind. Wir können den Winkel z.B. in 20-Grad-Schritten verändern.

HINWEIS 3 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Erinnert euch an die Störfaktoren, die ihr in der Planung notiert habt.

Was müsst ihr bei eurem Aufbau beachten, damit ihr diese Faktoren während eurem Experiment so gut wie möglich ausschalten könnt?

LÖSUNG 3 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Wir können die Störfaktoren ausschließen, indem wir darauf achten, dass sie sich während der Messung nicht verändern. Das könnte z.B. so funktionieren:

- Eine fixe Einstellung bei der Lampe wählen und den Abstand zwischen Lichtquelle und Solarzelle nicht verändern.
- Darauf achten, dass sich nichts zwischen Lichtquelle und Solarzelle befindet, damit die Solarzelle nicht verschattet wird.
- Die Solarzelle vorsichtig reinigen, falls sie verschmutzt ist.
- Die Solarzelle nicht zu nahe an die Lichtquelle bringen, da sie sonst heiß wird.
- Evtl. darauf achten, dass alle anderen Lichtquellen (z.B. die Beleuchtung im Klassenzimmer) ausgeschaltet/abgedeckt werden.

HINWEIS 4 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einer Tabelle notiert?

Wie viele unterschiedliche Größen werdet ihr messen?

Wie viele Zeilen und Spalten werdet ihr brauchen?

In welchen Einheiten werdet ihr die einzelnen Größen messen?

LÖSUNG 4 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Für jeden Winkelwert wird die Stromstärke und die Spannung gemessen. Daraus wird die Leistung berechnet. Alle Werte werden in eine geeignete Tabelle eingetragen

Winkel α [°]	Stromstärke I [mA]	Spannung U [mV]	Leistung P [mW]
z.B. 70	...	...	...

Ihr könnt die Stromstärke ruhig in Milliampere (mA) angeben. Ihr müsst nur beachten, dass euch dann Leistungswerte in Milliwatt (mW) rauskommen.

HINWEIS 5 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einem Koordinatensystem grafisch darstellt?

Wie werden die beiden Achsen beschriftet?

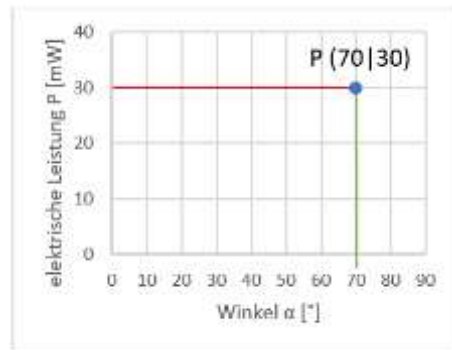
TIPP: Wenn ihr Erfahrung mit Excel habt, dann könnt ihr auch mit diesem Programm euer Diagramm erstellen.

LÖSUNG 5 - EXPERIMENT EINSTRAHLWINKEL

Wir können Messwerte grafisch darstellen, indem wir unsere Messpunkte in ein Koordinatensystem übertragen. Dazu wählen wir die Achsen wie in der Abbildung. Anschließend übertragen wir die Werte in die Tabelle: Wie das geht, sehen wir für Punkt 1.

Wenn man viele Messwerte gemessen hat, könnte man die Punkte anschließend auch miteinander verbinden, um den Leistungsverlauf in Abhängigkeit des Einstrahlwinkels als Kurve darzustellen.

Winkel α [°]	elektrische Leistung P [mW]
70	30



	HINWEIS 1 - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE Die elektrische Leistung kann man nicht direkt messen, sondern nur indirekt mit Hilfe anderer Messgrößen bestimmen und über eine Formel berechnen. Könnt ihr euch noch an diese Formel erinnern? Sie weist euch darauf hin, welche Größen ihr im Experiment messen müsst, damit ihr die elektrische Leistung der Solarzelle berechnen könnt!
LÖSUNG 1 - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE Die elektrische Leistung kann man mit der Formel $P = U \cdot I$ berechnen. Wir müssen also zuerst die Stromstärke und die Spannung messen und können damit dann die elektrische Leistung berechnen.	HINWEIS 2a - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE Ihr wisst jetzt, was ihr messen wollt. Nun müsst ihr euch fragen, was ihr während eurer Messungen bewusst verändern könnt, damit sich eure Strom- und Spannungswerte verändern.

LÖSUNG 2a - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir müssen die Bestrahlungsstärke, also die Intensität des Lichts während des Experiments ändern, damit wir herausfinden können, wie sich diese Änderung auf die Stromstärke und die Spannung der Solarzelle auswirkt.

HINWEIS 2b - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Unter realen Bedingungen ändert sich die Bestrahlungsstärke hauptsächlich durch Bewölkung.

Wie könnt ihr das in eurem Experiment nachstellen?

LÖSUNG 2b - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir können die Bestrahlungsstärke verändern, indem wir den Abstand zwischen Lampe und Solarzelle verändern.
Wir können aber auch Wolken am Himmel in unserem Experiment nachahmen, indem wir verschiedene Papiere und Kartons verwenden. Z.B.:

- Wolkenloser Himmel: Die Lichtquelle wird nicht bedeckt
- Leicht bewölkter Himmel: helles (z.B. hellgraues) Transparentpapier verwenden
- Stark bewölkter Himmel: dunkleres oder dickeres Transparentpapier

HINWEIS 3 - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Außer der Bestrahlungsstärke wirken sich noch andere Faktoren auf die Leistung einer Solarzelle aus.

Überlegt euch, welche das sein könnten und wie ihr verhindern könnt, dass diese eure Messung beeinflussen.

LÖSUNG 3 - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Das könnte z.B. unsere Messung beeinflussen:

- Der Einstrahlwinkel des Lichts
- Abschattung durch Objekte, die im Weg stehen
- Verschmutzung der Solarzelle durch Dreck oder Staub
- Die Temperatur der Solarzelle

Wir müssen darauf achten, dass sich diese Faktoren während unseres Experiments nicht verändern.

HINWEIS 4a - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Überlegt euch, welche Materialien ihr braucht, damit ihr euer Experiment durchführen könnt und dabei gleichzeitig Stromstärke und Spannung der Solarzelle messen könnt.

LÖSUNG 4a - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir brauchen folgende Dinge:

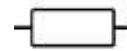
- Eine Lichtquelle
- Eine Solarzelle
- Unterschiedlich dicke Kartons oder Papiere
ODER: Eine Schiene, auf der wir die Solarzelle montieren, damit wir den Abstand kontrolliert verändern können.
- Ein Amperemeter, mit dem wir die Stromstärke messen können.
- Ein Voltmeter, mit dem wir die Spannung messen können.
- Einen Widerstand, den wir einbauen, damit wir Stromstärke und Spannung *gleichzeitig* messen können.
- Kabel

HINWEIS 4b - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Die Schaltsymbole, die ihr braucht, seht ihr hier:



→ Solarzelle



→ Widerstand



→ Amperemeter

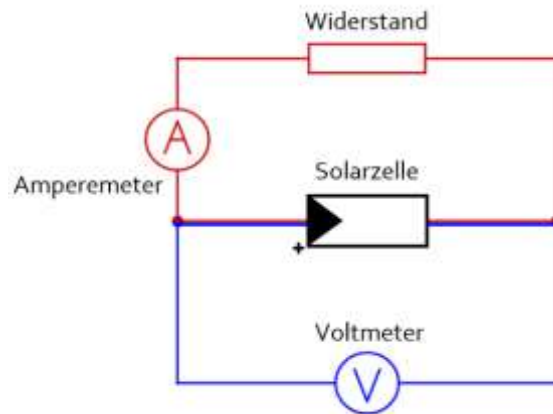


→ Voltmeter

Überlegt euch, wie ihr Voltmeter und Amperemeter schalten müsst (parallel oder in Serie).

LÖSUNG 4b - PLANUNG BESTRAHLUNGSSTÄRKE

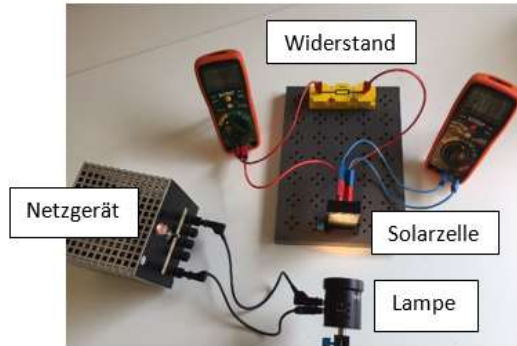
Um die elektrische Stromstärke zu messen, wird das Amperemeter mit dem Widerstand und der Solarzelle in Serie geschaltet (=roter Stromkreis). Die Spannung muss zwischen den beiden Kontakten der Solarzelle gemessen werden. Dazu wird das Voltmeter parallel zur Solarzelle geschaltet (=blauer Stromkreis).



	HINWEIS 0 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE Welche Spannung / Stromstärke vermutet ihr bei einer Solarzelle? Wenn ihr euch nicht sicher seid: Welche Messwerte könnt ihr am Anfang einstellen, damit das Gerät auf keinen Fall durch zu hohe Spannung / Stromstärke beschädigt wird?
LÖSUNG 0 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE Spannung und Stromstärke hängen von der jeweiligen Solarzelle / vom jeweiligen Solarmodul ab. Normalerweise liegen die Messwerte aber in den folgenden Bereichen: • Spannung: 1-10 Volt • Stromstärke: 10-200 mA Zur Sicherheit können wir am Anfang die höchsten Einstellungen für Spannung und Stromstärke wählen. Wird kein oder nur ein sehr kleiner Wert angezeigt, können wir so lange einen kleineren Bereich einstellen, bis wir einen gut ablesbaren Wert bekommen. Die Ablesegenauigkeit entspricht der kleinsten Kommastelle. Wird z.B. ein Wert von 2,087 V angezeigt, dann ist die Ablesegenauigkeit 0,001 V.	HINWEIS 1 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE Seht euch eure Schaltskizze an und überlegt, wie ihr den Stromkreis mit euren Materialien aufbauen könnt. Wo werdet ihr die einzelnen Geräte hinstellen und wie werdet ihr sie miteinander verbinden, damit die Messungen funktionieren?

LÖSUNG 1 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir verbinden einen Anschluss der Solarzelle über ein Kabel mit dem Amperemeter. Das Amperemeter schließen wir über ein zweites Kabel an den Widerstand an. Den Widerstand verbinden wir dann wieder mit einem Kabel mit dem zweiten Anschluss der Solarzelle (Serienschaltung, **roter Stromkreis**). Am Schluss verbinden wir das Voltmeter mit zwei Kabeln direkt mit der Solarzelle (Parallelschaltung, **blauer Stromkreis**).



HINWEIS 2 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wie könnt ihr die Bestrahlungsstärke der Solarzelle verändern und welche Einstellungen werdet ihr wählen?

LÖSUNG 2 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Es gibt 2 Möglichkeiten, um die Bestrahlungsstärke zu ändern:

- Wir wählen einen fixen Abstand zwischen Lampe und Solarzelle und erzeugen unterschiedliche Beleuchtungsstärken mit Papier oder Karton.
- Wir verändern den Abstand zwischen Lampe und Solarzelle in 5 cm –Schritten. (Dann sollten wir die Lampe und die Solarzelle am besten auf einer Schiene montieren.)

Es sollten mindestens drei Einstellungen sein, aber wir können uns die Papiere oder Abstände selbst aussuchen. Es ist sinnvoll, wenn wir keine Papiere/Abstände wählen, die zu ähnlich sind.

HINWEIS 3 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Erinnert euch an die Störfaktoren, die ihr in der Planung notiert habt.

Was müsst ihr bei eurem Aufbau beachten, damit ihr diese Faktoren während eurem Experiment so gut wie möglich ausschalten könnt?

LÖSUNG 3 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir können die Störfaktoren ausschließen, indem wir darauf achten, dass sie sich während der Messung nicht verändern. Das könnte z.B. so funktionieren:

- Den Winkel zwischen Lichtquelle und Solarzelle nicht verändern.
- Darauf achten, dass sich nichts zwischen Lichtquelle und Solarzelle befindet, damit die Solarzelle nicht verschattet wird.
- Die Solarzelle vorsichtig reinigen, falls sie verschmutzt ist.
- Die Solarzelle nicht zu nahe an die Lichtquelle bringen, da sie sonst heiß wird.
- Evtl. darauf achten, dass alle anderen Lichtquellen (z.B. die Beleuchtung im Klassenzimmer) ausgeschaltet/abgedeckt werden.

HINWEIS 4 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einer Tabelle notiert?

Wie viele unterschiedliche Größen werdet ihr messen?

Wie viele Zeilen und Spalten werdet ihr brauchen?

In welchen Einheiten werdet ihr die einzelnen Größen messen?

LÖSUNG 4 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Für jede Einstellung für die Bestrahlungsstärke wird die Stromstärke und die Spannung gemessen. Daraus wird die Leistung berechnet. Alle Werte werden in eine geeignete Tabelle eingetragen.

Modellierung Bestrahlungsstärke	Stromstärke I [mA]	Spannung U [mV]	Leistung P [mW]
z.B. wolkenlos ODER: Abstand 10 cm	...	...	...

Ihr könnt die Stromstärke ruhig in Milliampere (mA) angeben. Ihr müsst nur beachten, dass euch dann Leistungswerte in Milliwatt (mW) rauskommen.

HINWEIS 5 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einem Säulendiagramm grafisch darstellt?

Wie werden die beiden Achsen beschriftet?

TIPP: Wenn ihr Erfahrung mit Excel habt, dann könnt ihr auch mit diesem Programm euer Diagramm erstellen.

LÖSUNG 5 - EXPERIMENT BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir können Messwerte grafisch darstellen, indem wir unsere Messpunkte in ein Koordinatensystem übertragen. Dazu wählen wir die Achsen wie in der Abbildung. Anschließend übertragen wir die Werte in die Tabelle: Wie das geht, sehen wir für Punkt 1.

Wenn man viele Messwerte gemessen hat, könnte man die Punkte anschließend auch miteinander verbinden, um den Leistungsverlauf in Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke als Kurve darzustellen.

gewählte Einstellung	elektrische Leistung P [mW]
wolkenlos	30



	HINWEIS 1 - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR Die elektrische Leistung kann man nicht direkt messen, sondern nur indirekt mit Hilfe anderer Messgrößen bestimmen und über eine Formel berechnen. Könnt ihr euch noch an diese Formel erinnern? Sie weist euch darauf hin, welche Größen ihr im Experiment messen müsst, damit ihr die elektrische Leistung der Solarzelle berechnen könnt!
LÖSUNG 1 - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR Die elektrische Leistung kann man mit der Formel $P = U \cdot I$ berechnen. Wir müssen also zuerst die Stromstärke und die Spannung messen und können damit dann die elektrische Leistung berechnen.	HINWEIS 2a - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR Ihr wisst jetzt, was ihr messen wollt. Nun müsst ihr euch fragen, was ihr während eurer Messungen bewusst verändern könnt, damit sich eure Strom- und Spannungswerte verändern.

LÖSUNG 2a - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir müssen die Temperatur der Solarzelle während des Experiments ändern, damit wir herausfinden können, wie sich diese Änderung auf die Stromstärke und die Spannung der Solarzelle auswirkt.

HINWEIS 2b - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Unter realen Bedingungen ändert sich die Temperatur der Solarzelle zum Beispiel durch sehr heißes Wetter oder durch Wüstentürme.

Wie könnt ihr das in eurem Experiment nachstellen?

LÖSUNG 2b - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir können die Solarzellentemperatur verändern, indem wir z.B. einen Wüstenturm simulieren.

Dazu können wir einen Fön verwenden, mit dem wir die Solarzelle erwärmen. Wir sollten dabei aber aufpassen, dass die Solarzelle nicht zu heiß wird (mehr als 60°C), um sie nicht kaputt zu machen.

HINWEIS 3 - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Außer der Temperatur der Solarzelle wirken sich noch andere Faktoren auf die Leistung einer Solarzelle aus.

Überlegt euch, welche das sein könnten und wie ihr verhindern könnt, dass diese eure Messung beeinflussen.

LÖSUNG 3 - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Das könnte z.B. unsere Messung beeinflussen:

- Der Einstrahlwinkel des Lichts
- Die Bestrahlungsstärke des Lichts
- Der Abstand zwischen Lichtquelle (z.B. Lampe) und Solarzelle
- Abschattung durch Objekte, die im Weg stehen
- Verschmutzung der Solarzelle durch Dreck oder Staub

Wir müssen darauf achten, dass sich diese Faktoren während unseres Experiments nicht verändern.

HINWEIS 4a - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Überlegt euch, welche Materialien ihr braucht, damit ihr euer Experiment durchführen könnt und dabei gleichzeitig Stromstärke und Spannung der Solarzelle messen könnt.

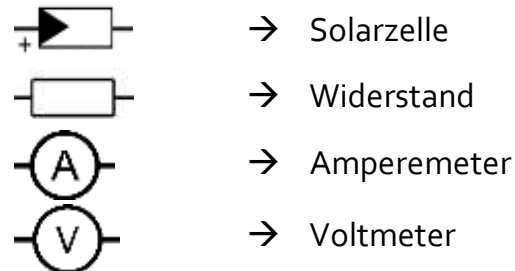
LÖSUNG 4a - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir brauchen folgende Dinge:

- Eine Lichtquelle
- Eine Solarzelle
- Einen Fön
- Ein Thermometer
- Ein Amperemeter, mit dem wir die Stromstärke messen können
- Ein Voltmeter, mit dem wir die Spannung messen können
- Einen Widerstand, den wir einbauen, damit wir Stromstärke und Spannung *gleichzeitig* messen können
- Kabel

HINWEIS 4b - PLANUNG SOLARZELLENTEMPÉRATUR

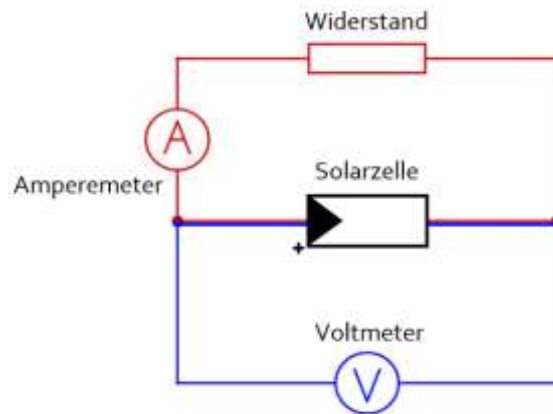
Die Schaltsymbole, die ihr braucht, seht ihr hier:



Überlegt euch, wie ihr Voltmeter und Amperemeter schalten müsst (parallel oder in Serie).

LÖSUNG 4b - PLANUNG SOLARZELLENTemperatur

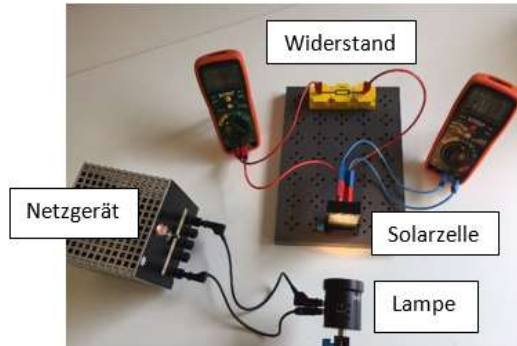
Um die elektrische Stromstärke zu messen, wird das Amperemeter mit dem Widerstand und der Solarzelle in Serie geschaltet (=roter Stromkreis). Die Spannung muss zwischen den beiden Kontakten der Solarzelle gemessen werden. Dazu wird das Voltmeter parallel zur Solarzelle geschaltet (=blauer Stromkreis).



	HINWEIS 0 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR Welche Spannung / Stromstärke vermutet ihr bei einer Solarzelle? Wenn ihr euch nicht sicher seid: Welche Messwerte könnt ihr am Anfang einstellen, damit das Gerät auf keinen Fall durch zu hohe Spannung / Stromstärke beschädigt wird?
LÖSUNG 0 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR Spannung und Stromstärke hängen von der jeweiligen Solarzelle / vom jeweiligen Solarmodul ab. Normalerweise liegen die Messwerte aber in den folgenden Bereichen: • Spannung: 1-10 Volt • Stromstärke: 10-200 mA Zur Sicherheit können wir am Anfang die höchsten Einstellungen für Spannung und Stromstärke wählen. Wird kein oder nur ein sehr kleiner Wert angezeigt, können wir so lange einen kleineren Bereich einstellen, bis wir einen gut ablesbaren Wert bekommen. Die Ablesegenauigkeit entspricht der kleinsten Kommastelle. Wird z.B. ein Wert von 2,087 V angezeigt, dann ist die Ablesegenauigkeit 0,001 V.	HINWEIS 1 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR Seht euch eure Schaltskizze an und überlegt, wie ihr den Stromkreis mit euren Materialien aufbauen könnt. Wo werdet ihr die einzelnen Geräte hinstellen und wie werdet ihr sie miteinander verbinden, damit die Messungen funktionieren?

LÖSUNG 1 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir verbinden einen Anschluss der Solarzelle über ein Kabel mit dem Amperemeter. Das Amperemeter schließen wir über ein zweites Kabel an den Widerstand an. Den Widerstand verbinden wir dann wieder mit einem Kabel mit dem zweiten Anschluss der Solarzelle (Serienschaltung, **roter Stromkreis**). Am Schluss verbinden wir das Voltmeter mit zwei Kabeln direkt mit der Solarzelle (Parallelschaltung, **blauer Stromkreis**).



HINWEIS 2 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wie könnt ihr die Temperatur der Solarzelle verändern und welche Temperatureinstellungen werdet ihr wählen?

LÖSUNG 2 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir stellen in einem fixen Abstand von der Solarzelle eine Lichtquelle auf und schalten den Fön ein.

Wir wählen entweder eine Einstellung am Fön oder einen Abstand zwischen Fön und Solarzelle und lassen das unverändert, bis die Temperatur der Solarzelle konstant ist.

Das machen wir jetzt für mehrere verschiedene Temperatureinstellungen. Es sollten mindestens drei Einstellungen im Bereich von 20°C bis 60°C sein, aber wir können uns die Werte selbst aussuchen. Es ist sinnvoll, wenn wir keine Temperaturen wählen, die zu nahe beieinander sind.

HINWEIS 3 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Erinnert euch an die Störfaktoren, die ihr in der Planung notiert habt.

Was müsst ihr bei eurem Aufbau beachten, damit ihr diese Faktoren während eurem Experiment so gut wie möglich ausschalten könnt?

LÖSUNG 3 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir können die Störfaktoren ausschließen, indem wir darauf achten, dass sie sich während der Messung nicht verändern. Das könnte z.B. so funktionieren:

- Eine fixe Einstellung bei der Lampe wählen und den Abstand zwischen Lichtquelle und Solarzelle nicht verändern.
- Den Winkel zwischen Solarzelle und Lichtquelle nicht verändern.
- Darauf achten, dass sich nichts zwischen Lichtquelle und Solarzelle befindet, damit die Solarzelle nicht verschattet wird.
- Die Solarzelle vorsichtig reinigen, falls sie verschmutzt ist.
- Evtl. darauf achten, dass alle anderen Lichtquellen (z.B. die Beleuchtung im Klassenzimmer) ausgeschaltet/abgedeckt werden.

LÖSUNG 4 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Für jeden Temperaturwert wird die Stromstärke und die Spannung gemessen. Daraus wird die Leistung berechnet. Alle Werte werden in eine geeignete Tabelle eingetragen

Temperatur T [°C]	Stromstärke I [mA]	Spannung U [mV]	Leistung P [mW]
z.B. 25	...	...	...

Ihr könnt die Stromstärke ruhig in Milliampere (mA) angeben. Ihr müsst nur beachten, dass euch dann Leistungswerte in Milliwatt (mW) rauskommen.

HINWEIS 4 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einer Tabelle notiert?

Wie viele unterschiedliche Größen werdet ihr messen?

Wie viele Zeilen und Spalten werdet ihr brauchen?

In welchen Einheiten werdet ihr die einzelnen Größen messen?

HINWEIS 5 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einem Koordinatensystem grafisch darstellt?

Wie werden die beiden Achsen beschriftet?

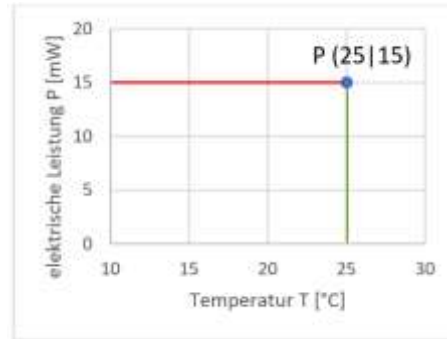
TIPP: Wenn ihr Erfahrung mit Excel habt, dann könnt ihr auch mit diesem Programm euer Diagramm erstellen.

LÖSUNG 5 - EXPERIMENT SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir können Messwerte grafisch darstellen, indem wir unsere Messpunkte in ein Koordinatensystem übertragen. Dazu wählen wir die Achsen wie in der Abbildung. Anschließend übertragen wir die Werte in die Tabelle: Wie das geht, sehen wir für Punkt 1.

Wenn man viele Messwerte gemessen hat, könnte man die Punkte anschließend auch miteinander verbinden, um den Leistungsverlauf in Abhängigkeit der Solarzellentemperatur als Kurve darzustellen.

Temperatur T [°C]	elektrische Leistung P [mW]
25	15



	HINWEIS 1 - PLANUNG LICHTFARBE Die elektrische Leistung kann man nicht direkt messen, sondern nur indirekt mit Hilfe anderer Messgrößen bestimmen und über eine Formel berechnen. Könnt ihr euch noch an diese Formel erinnern? Sie weist euch darauf hin, welche Größen ihr im Experiment messen müsst, damit ihr die elektrische Leistung der Solarzelle berechnen könnt!
LÖSUNG 1 - PLANUNG LICHTFARBE Die elektrische Leistung kann man mit der Formel $P = U \cdot I$ berechnen. Wir müssen also zuerst die Stromstärke und die Spannung messen und können damit dann die elektrische Leistung berechnen.	HINWEIS 2a - PLANUNG LICHTFARBE Ihr wisst jetzt, was ihr messen wollt. Nun müsst ihr euch fragen, was ihr während eurer Messungen bewusst verändern könnt, damit sich eure Strom- und Spannungswerte verändern.

LÖSUNG 2a - PLANUNG LICHTFARBE

Wir müssen die Farbe des Lichts während des Experiments ändern, damit wir herausfinden können, wie sich diese Änderung auf die Stromstärke und die Spannung der Solarzelle auswirkt.

HINWEIS 2b - PLANUNG LICHTFARBE

Unter realen Bedingungen kann sich die Farbe des Sonnenlichts durch unterschiedliche Bedingungen in der Atmosphäre (wie z.B. hohe Luftfeuchtigkeit) ändern.

Wie könnt ihr das in eurem Experiment nachstellen?

LÖSUNG 2b - PLANUNG LICHTFARBE

Wir können die Lichtfarbe verändern, indem verschiedene Farbfilter / Farbfolien vor die Lichtquelle halten.

HINWEIS 3 - PLANUNG LICHTFARBE

Außer der Lichtfarbe wirken sich noch andere Faktoren auf die Leistung einer Solarzelle aus.

Überlegt euch, welche das sein könnten und wie ihr verhindern könnt, dass diese eure Messung beeinflussen.

LÖSUNG 3 - PLANUNG LICHTFARBE

Das könnte z.B. unsere Messung beeinflussen:

- Der Einstrahlwinkel des Lichts
- Die Bestrahlungsstärke des Lichts
- Der Abstand zwischen Lichtquelle (z.B. Lampe) und Solarzelle
- Die Temperatur der Solarzelle
- Abschattung durch Objekte, die im Weg stehen
- Verschmutzung der Solarzelle durch Dreck oder Staub

Wir müssen darauf achten, dass sich diese Faktoren während unseres Experiments nicht verändern.

LÖSUNG 4a - PLANUNG LICHTFARBE

Wir brauchen folgende Dinge:

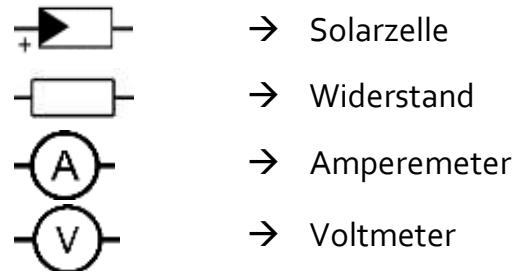
- Eine Lichtquelle
- Eine Solarzelle
- Unterschiedliche Farbfilter / Farbfolien
- Ein Amperemeter, mit dem wir die Stromstärke messen können
- Ein Voltmeter, mit dem wir die Spannung messen können
- Einen Widerstand, den wir einbauen, damit wir Stromstärke und Spannung *gleichzeitig* messen können
- Kabel

HINWEIS 4a - PLANUNG LICHTFARBE

Überlegt euch, welche Materialien ihr braucht, damit ihr euer Experiment durchführen könnt und dabei gleichzeitig Stromstärke und Spannung der Solarzelle messen könnt.

HINWEIS 4b - PLANUNG LICHTFARBE

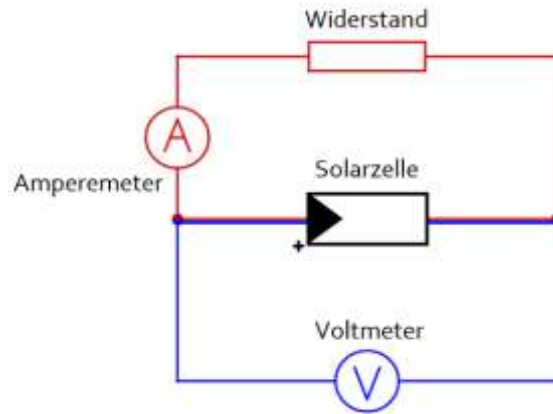
Die Schaltsymbole, die ihr braucht, seht ihr hier:



Überlegt euch, wie ihr Voltmeter und Amperemeter schalten müsst (parallel oder in Serie).

LÖSUNG 4b - PLANUNG LICHTFARBE

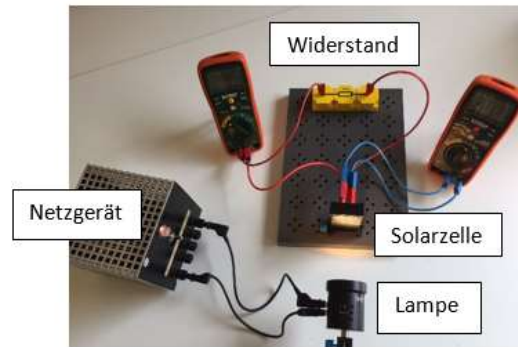
Um die elektrische Stromstärke zu messen, wird das Amperemeter mit dem Widerstand und der Solarzelle in Serie geschaltet (=roter Stromkreis). Die Spannung muss zwischen den beiden Kontakten der Solarzelle gemessen werden. Dazu wird das Voltmeter parallel zur Solarzelle geschaltet (=blauer Stromkreis).



	HINWEIS 0 - EXPERIMENT LICHTFARBE Welche Spannung / Stromstärke vermutet ihr bei einer Solarzelle? Wenn ihr euch nicht sicher seid: Welche Messwerte könnt ihr am Anfang einstellen, damit das Gerät auf keinen Fall durch zu hohe Spannung / Stromstärke beschädigt wird?
LÖSUNG 0 - EXPERIMENT LICHTFARBE Spannung und Stromstärke hängen von der jeweiligen Solarzelle / vom jeweiligen Solarmodul ab. Normalerweise liegen die Messwerte aber in den folgenden Bereichen: • Spannung: 1-10 Volt • Stromstärke: 10-200 mA Zur Sicherheit können wir am Anfang die höchsten Einstellungen für Spannung und Stromstärke wählen. Wird kein oder nur ein sehr kleiner Wert angezeigt, können wir so lange einen kleineren Bereich einstellen, bis wir einen gut ablesbaren Wert bekommen. Die Ablesegenauigkeit entspricht der kleinsten Kommastelle. Wird z.B. ein Wert von 2,087 V angezeigt, dann ist die Ablesegenauigkeit 0,001 V.	HINWEIS 1 - EXPERIMENT LICHTFARBE Seht euch eure Schaltskizze an und überlegt, wie ihr den Stromkreis mit euren Materialien aufbauen könnt. Wo werdet ihr die einzelnen Geräte hinstellen und wie werdet ihr sie miteinander verbinden, damit die Messungen funktionieren?

LÖSUNG 1 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Wir verbinden einen Anschluss der Solarzelle über ein Kabel mit dem Amperemeter. Das Amperemeter schließen wir über ein zweites Kabel an den Widerstand an. Den Widerstand verbinden wir dann wieder mit einem Kabel mit dem zweiten Anschluss der Solarzelle (Serienschaltung, **roter Stromkreis**). Am Schluss verbinden wir das Voltmeter mit zwei Kabeln direkt mit der Solarzelle (Parallelschaltung, **blauer Stromkreis**).



HINWEIS 2 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Wie könnt ihr die Farbe des Lichts verändern und welche Farben werdet ihr wählen?

LÖSUNG 2 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Wir stellen in einem fixen Abstand von der Solarzelle eine Lichtquelle auf, vor der wir verschiedene Farbfilter oder Farbfolien vor unserer Lichtquelle befestigen können (z.B. blau, rot oder grün).

Es sollten mindestens drei verschiedene Einstellungen für die Farbe dabei sein, aber wir können uns die Farben selbst aussuchen. Es ist sinnvoll, wenn wir keine Einstellungen wählen, die zu ähnlich sind (z.B. hellblau und dunkelblau).

HINWEIS 3 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Erinnert euch an die Störfaktoren, die ihr in der Planung notiert habt.

Was müsst ihr bei eurem Aufbau beachten, damit ihr diese Faktoren während eurem Experiment so gut wie möglich ausschalten könnt?

LÖSUNG 3 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Wir können die Störfaktoren ausschließen, indem wir darauf achten, dass sie sich während der Messung nicht verändern. Das könnte z.B. so funktionieren:

- Eine fixe Einstellung bei der Lampe wählen und den Abstand zwischen Lichtquelle und Solarzelle nicht verändern.
- Darauf achten, dass sich nichts zwischen Lichtquelle und Solarzelle befindet, damit die Solarzelle nicht verschattet wird.
- Die Solarzelle vorsichtig reinigen, falls sie verschmutzt ist.
- Die Solarzelle nicht zu nahe an die Lichtquelle bringen, da sie sonst heiß wird.
- Evtl. darauf achten, dass alle anderen Lichtquellen (z.B. die Beleuchtung im Klassenzimmer) ausgeschaltet/abgedeckt werden.

LÖSUNG 4 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Für jede gewählte Lichtfarbe wird die Stromstärke und die Spannung gemessen. Daraus wird die Leistung berechnet. Alle Werte werden in eine geeignete Tabelle eingetragen

Lichtfarbe	Stromstärke I [mA]	Spannung U [mV]	Leistung P [mW]
z.B. blau	...	...	...

Ihr könnt die Stromstärke ruhig in Milliampere (mA) angeben. Ihr müsst nur beachten, dass euch dann Leistungswerte in Milliwatt (mW) rauskommen.

HINWEIS 4 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einer Tabelle notiert?

Wie viele unterschiedliche Größen werdet ihr messen?

Wie viele Zeilen und Spalten werdet ihr brauchen?

In welchen Einheiten werdet ihr die einzelnen Größen messen?

HINWEIS 5 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Könnt ihr euch noch daran erinnern, wie man Messwerte in einem Säulendiagramm grafisch darstellt?

Wie werden die beiden Achsen beschriftet?

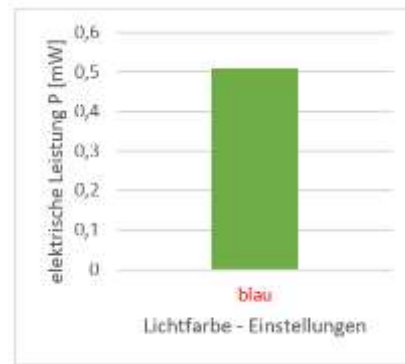
TIPP: Wenn ihr Erfahrung mit Excel habt, dann könnt ihr auch mit diesem Programm euer Diagramm erstellen.

LÖSUNG 5 - EXPERIMENT LICHTFARBE

Wir können Messwerte grafisch darstellen, indem wir unsere Messpunkte in ein Koordinatensystem übertragen. Dazu wählen wir die Achsen wie in der Abbildung. Anschließend übertragen wir die Werte in die Tabelle: Wie das geht, sehen wir für Punkt 1.

Wenn man viele Messwerte gemessen hat, könnte man die Punkte anschließend auch miteinander verbinden, um den Leistungsverlauf in Abhängigkeit der Lichtfarbe als Kurve darzustellen.

Lichtfarbe	elektrische Leistung P [mW]
blau	0,5



Arbeitsblatt 4: Haben wir heute geforscht?

1. **Was denkst du:** Hat das Experiment, das ihr geplant und durchgeführt habt, etwas mit Forschung zu tun? Was sind Gemeinsamkeiten und Unterschiede? Notiere deine Ideen!

2. **Cartoon:** Die Schüler und Schülerinnen unten haben genau die gleiche Untersuchung durchgeführt wie ihr. Sie diskutieren darüber, ob sie etwas mit Forschung zu tun hat.
- a) Vergleiche die vier Texte mit deinen eigenen Ideen. Welchen Teilen von dem, was die Schüler und Schülerinnen sagen, stimmst du zu und welchen nicht? Markiere sie in unterschiedlichen Farben!
 - b) Finde dich mit einem Partner oder einer Partnerin zusammen und vergleicht eure Meinungen. Versucht gemeinsam herauszufinden, was stimmt und was nicht.
 - c) Findet euch mit einem zweiten Paar zusammen und besprecht eure Ergebnisse zu Punkt b).
Notiert euch das Wichtigste in Stichworten auf der Rückseite oder im Heft!



Berndt

Ich glaube, wir haben heute geforscht. Wir haben nicht nur einfach gemessen, sondern uns eine Fragestellung überlegt und dazu selbst ein Experiment geplant, durchgeführt und unsere Messwerte dokumentiert und interpretiert.

Ich denke, das war noch keine richtige Forschung, weil wir die Rahmenbedingungen im Experiment nicht vollständig kontrollieren konnten. Wir waren ja nicht in einem Labor.



Anna

Ich denke schon, dass wir geforscht haben. Wir mussten zwar immer wieder unsere Kreativität und Phantasie benutzen, um Lösungen zu finden und zu improvisieren, aber das machen Forscher doch auch.



Clara

Solche Experimente wurden sicher schon sehr oft durchgeführt. Deshalb glaube ich, dass das keine Forschung war. Bei der richtigen Forschung muss man doch was Neues herausfinden oder erfinden.



Daniel

Arbeitsblatt 5: Warum eine Solar-Powerbank?

Ihr habt mit euren Experimenten herausgefunden, was man beachten muss, damit eine Powerbank mit Solarzelle optimal funktioniert und man damit ein Smartphone so schnell wie möglich wieder aufladen kann.

Jetzt stellt sich die Frage: **Ist es sinnvoll, in Zukunft das Handy mit einer Solar-Powerbank aufzuladen?**

- Erarbeitet zu zweit oder zu dritt die drei Fragen unten, um mehr über die Vor- und Nachteile der Powerbank herauszufinden. Ihr könnt dazu das Internet verwenden.
- Entscheidet anhand der gesammelten Informationen gemeinsam, ob und unter welchen Umständen es sinnvoll ist, sich eine Solar-Powerbank zu kaufen.

1. ÖKOLOGISCHES: Inwiefern ist die Verwendung der Powerbank umweltfreundlich?

2. KOSTEN: Wie viel kostet eine Solar-Powerbank im Gegensatz zu anderen Powerbanks mit der gleichen Leistung? Wo kann man mit Hilfe einer Solar-Powerbank Kosten sparen?

3. VERWENDUNG und SOZIALES: Wie angenehm ist es, die Powerbank zu benutzen? Wo und wann kann man sie gut/weniger gut verwenden?