Wissenschaftliche Hausarbeit

im Rahmen der Ersten Staatsprüfung

für das Lehramt an Grundschulen

im Fach Sachunterricht – Schwerpunkt Physik,

eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie

- Prüfungsstelle Frankfurt am Main -

Schülerlabor für die Grundschule zum Spiegel

Verfasserin:

Judith Krüger

Gutachter:

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll und in allen Fällen gleichermaßen Personen weiblichen und männlichen Geschlechts gemeint sind.

Falls im Verlauf der Arbeit bei Fotografien oder Abbildungen keine weiteren Quellen angegeben sind, wurden diese von mir (Judith Krüger) angefertigt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit begleitet haben.

Ich möchte mich zunächst ganz herzlich bei Herrn Prof. Wilhelm bedanken, der mich stets engagiert bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt hat. Die zahlreichen Anregungen und Ratschläge sowie die schnelle Beantwortung meiner Fragen haben mir sehr geholfen. Ganz besonders möchte ich mich für das spontane Einspringen und die tatkräftige Unterstützung beim ersten Schülerlaborbesuch bei der Betreuung der Stationen bedanken. Ohne diese Unterstützung wäre der Tag so nicht möglich gewesen.

Ein besonderer Dank gilt außerdem Herrn Wenzel für die Hilfe bezüglich der Organisation und der Vorbereitung der beiden Schülerlabortage sowie Herrn Kalden für die Beschaffung und Anfertigung der Materialien sowie für die vielen Ideen.

Weiterhin möchte ich meiner Kommilitonin Lisa Grünsfelder für ihre Hilfsbereitschaft danken, da sie mir tatkräftig bei der Durchführung des zweiten Schülerlaborbesuchs zur Seite stand.

Ganz besonders möchte ich außerdem meinen Eltern danken, die sich die Zeit für das Korrekturlesen meiner Arbeit genommen haben und die ich jederzeit um Rat fragen konnte. Zuletzt möchte ich mich bei meinem Freund James Sparrow für seinen Rückhalt, seine Unterstützung und sein Verständnis bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

Teil 1: Theoretische Grundlagen ... 4

2 Schülerlabore ... 4

2.1 Begriffsklärung ... 4

2.2 Ziele von Schülerlaboren ... 6

2.3 Ablauf eines Besuchs im Schülerlabor ... 7

2.4 Lernen im Schülerlabor ... 8

3 Außerschulische Lernorte ... 9

3.1 Historischer Hintergrund ... 9

3.2 Begriffsklärung ... 9

3.3 Methodische Möglichkeiten außerschulischer Lernorte ... 11

3.4 Chancen außerschulischer Lernorte ... 13

3.5 Grenzen außerschulischer Lernorte ... 15

4 Experimentieren ... 16

4.1 Begriffsklärung ... 16

4.2 Der Experimentierprozess als Modell ... 16

4.3 Experimente im schulischen Kontext ... 17

4.3.1 Klassifikation von Experimenten ... 18

4.3.2 Schülerexperimente ... 20

4.3.3 Freihandexperimente ... 22

Teil 2: Entwicklung des Schülerlabors ... 24

5 Sachanalyse ... 24

5.1 Physikalische Grundlagen ... 24

5.1.1 Der Sehvorgang ... 24

5.1.2 Licht an Grenzflächen: Streuung und Reflexion ... 25

5.1.3 Reflexionsgesetz ... 26

5.1.4 Eigenschaften von Spiegelbildern am ebenen Spiegel ... 27

5.1.5 Die Entstehung von Spiegelbildern ... 27

5.1.6 Spezielle Spiegel ... 28

5.2 Schülervorstellungen ... 32

5.2.1 Schülervorstellungen zum Sehvorgang ... 32

5.2.2 Schülervorstellungen zum Spiegel ... 33

5.2.3 Konsequenzen für den Unterricht ... 34

6 Didaktische und methodische Überlegungen ... 37

6.1 Bezug zur Lebenswelt der Kinder ... 37
6.2 Lernvoraussetzungen ... 38
6.3 Didaktische Reduktion des Themas ... 38
6.4 Überlegungen zum Ablauf und zur Organisation ... 41
6.5 Methodische Überlegungen ... 43
6.5.1 Lernen an Phänomenen ... 43
6.5.2 Beobachtung ... 44
6.5.3 Stationenarbeit ... 46
6.6 Sozialformen ... 46
6.7 Differenzierung ... 48
6.8 Überprüfbarkeit des Lernprozesses ... 49
7 Entwicklung des Forscherheftes ... 50
7.1 Erläuterung der verwendeten Symbole ... 50
7.2 Zur Aufgabenstellung ... 51
7.3 Die einzelnen Stationen ... 51
7.3.1 Station 1: Was vertauscht der Spiegel ... 52
7.3.2 Station 2: Das Spiegellabyrinth ... 55
7.3.3 Station 3: Wo sieht man das Spiegelbild? ... 55
7.3.4 Station 4: Spiegelschrift ... 57
7.3.5 Station 5: Besondere Spiegel ... 59
7.3.6 Station 6: Der Spionagespiegel ... 62
7.3.7 Zusatzmaterial ... 63
8 Curriculare Bezüge und Lernziele ... 64
8.1 Bildungsstandards und Inhaltsfelder – das neue Kerncurriculum für Hessen ... 64
8.1.1 Angestrebter Kompetenzerwerb ... 64
8.2 Lernziele ... 67
Teil 3: Auswertung des Schülerlabors ... 69
9 Reflexion des Schülerlabortages ... 69
9.1 Auswertung der einzelnen Stationen ... 71
10 Fazit ... 81
Literaturverzeichnis ... 83
Anhang ... 90
Eigenständigkeitserklärung

1 Einleitung

Der Sachunterricht in der Grundschule soll wesentlich zur grundlegenden Bildung der Schüler beitragen und einen Ansatz zur Welterschließung darstellen (vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) 2013, S. 9; Hessisches Kultusministerium 2011, S.11). Er soll den Schülern das Verstehen ihrer natürlichen sowie kulturellen, sozialen und technischen Umwelt ermöglichen und erleichtern und sie befähigen, in ihr zu handeln. Dabei soll sich der Sachunterricht an der Lebenswelt der Schüler, ihren Interessen und Lernvoraussetzungen orientieren und gleichzeitig anschlussfähig für den Fachunterricht der weiterführenden Schulen sein. Die Schüler sollen belastbare Konzepte und neue Erkenntnisse durch die Auseinandersetzung mit Phänomenen und Sachverhalten ihrer Lebenswelt aufbauen, um eine Grundlage für weiteres Lernen zu bilden (vgl. GDSU 2013, S. 9f.). Die Naturwissenschaften spielen im Sachunterricht eine wichtige Rolle. Die Schüler bringen in diesem Zusammenhang vielfältige Vorerfahrungen und Neugier mit ein. Zentral ist, dass sie im Sachunterricht entdeckend handeln sollen. Der 45-Minuten-Takt der Unterrichtsstunden und die vielen organisatorischen Aufgaben der Lehrkraft ermöglichen es oft nicht, Themen ohne Zeitdruck ausführlich zu behandeln und den Schülern viele Handlungsspielräume zu ermöglichen. Einen Ausgleich dazu können Schülerlabore bieten, da sie Schulklassen die Gelegenheit bieten, sich einen ganzen Vormittag intensiv mit einem bestimmten Thema zu beschäftigen. Naturwissenschaftlich-technische Inhalte stehen dabei im Fokus, sodass diese Bereiche mehr Aufmerksamkeit erfahren und gefördert werden. Im Schülerlabor geht es vor allem darum, dass die Schüler im Zentrum stehen, eigenständig Aufgaben lösen und selbst experimentieren.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung eines Schülerlabors zum Spiegel für die Grundschule. Dabei liegt der Fokus auf der Entwicklung des Schülerlabors, also den vorangehenden methodisch-didaktischen Überlegungen sowie der anschließenden Erstellung eines geeigneten Forscherheftes.
Der Spiegel ist dabei ein interessantes Thema. Kinder kommen täglich in Berührung mit Spiegeln, die außerdem oftmals eine Faszination auf Kinder ausüben: Sie kennen sie sowohl aus ihrem Alltag als auch aus Märchen und Geschichten, in denen ihnen oft magische Eigenschaften zugesprochen werden, die sie geheimnisvoll und besonders wirken lassen. Dieser alltägliche Gegenstand eignet sich gut als Thema

eines Schülerlabors, da das Thema Spiegel vielfältige Möglichkeiten zur schülerzentrierten und handlungsorientieren Umsetzung bietet.
Für mich ist dieses Thema besonders interessant, da ich durch meine Erfahrungen im Praktikum und in Vertretungsstunden an verschiedenen Grundschulen oft festgestellt habe, dass der Sachunterricht sehr kurz kommt und insbesondere Themen der Physik nicht behandelt und für die Grundschule als nicht geeignet angesehen werden. Durch die besuchten Seminare in meinem Studium bin ich überzeugt, dass physikalische Themen gerade in der Grundschule viel Potenzial haben, um interessant, kindgerecht und verständlich umgesetzt werden zu können. Deshalb finde ich, dass die Schülerlabore der Goethe Universität eine gute Möglichkeit bieten, außerschulisches Lernen und das Interesse an naturwissenschaftlich-technischen Themen zu fördern und zusätzlich Lehrern Inspiration für den Unterricht zu geben. Ich finde es wichtig, schon früh zu beginnen, Kinder für die Naturwissenschaften zu begeistern und ihr Interesse zu fördern. Aus diesem Grund freue ich mich, ein Schülerlabor zum Spiegel für die Grundschule erstellen zu können. Ziel ist es dabei, Motivation, Interesse und Begeisterung für physikalische Inhalte und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen zu wecken. Neben den motivationalen Zielen des Schülerlabors liegt ein besonderes Augenmerk darauf, dass die Schüler im Schülerlabor selbstständig experimentieren und auf diese Weise Phänomene und Eigenschaften des Spiegels kennenlernen und neue Erkenntnisse gewinnen können. Ziel dieser Arbeit ist also, das Thema Spiegel abwechslungsreich und ansprechend aufzubereiten, um so ein Schülerlabor zu entwickeln, das sich in der Grundschule einsetzen lässt und eine sinnvolle Ergänzung zum Sachunterricht in der Schule darstellt.

Die vorliegende Arbeit habe ich zur besseren Übersicht in drei Teile gegliedert. Der erste Teil umfasst die theoretischen Grundlagen, die der Entwicklung des Schülerlabors vorausgestellt werden, im zweiten Teil geht es um dessen eigentliche Entwicklung und der dritte Teil beschäftigt sich mit der Auswertung des entwickelten Schülerlabors.
Der erste Teil soll als Ausgangspunkt der Arbeit dienen. Die theoretischen Grundlagen umfassen dabei Schülerlabore und als wesentliche Aspekte von Schülerlaboren außerdem außerschulische Lernorte und das Experimentieren. Es wird dargelegt, was unter den drei Begriffen verstanden wird, um auf diese Weise eine Grundlage für die folgenden Kapitel zu schaffen. Dieses soll am Anfang dieser Arbeit stehen, da ein

Verständnis dieser drei Themen wichtig ist, um zu darauf aufbauend ein Schülerlabor entwickeln zu können.

Im zweiten Teil erfolgt zunächst in Kapitel 5 die Sachanalyse. Hierbei soll der Lerngegenstand des Schülerlabors, das Thema Spiegel, im Hinblick auf die physikalischen Grundlagen dargestellt werden. Dies soll sowohl Sachwissen zum Spiegel als auch zum Sehvorgang umfassen. Durch diese Analyse soll fundiertes Wissen aufgebaut werden. Weiterhin wird auf die Schülervorstellungen zum Spiegel eingegangen. Eine umfassende Sachkenntnis des Themas sowie ein Bewusstsein über mögliche Schülervorstellungen ist wichtig, um nachfolgende methodisch-didaktischen Entscheidungen treffen zu können.

Nachdem die Grundlagen geschaffen wurden, können im 6. Kapitel didaktische und methodische Überlegungen anschließen, die die Rahmenbedingungen des Schülerlabores klären sollen. Dabei soll das Thema in Bezug zur Lebenswelt der Kinder gestellt und die Lernvoraussetzungen erläutert werden. Weiterhin wird die Auswahl der Aspekte, die im Schülerlabor behandelt werden sollen, erläutert und begründet. Es folgen Überlegungen zu den Rahmenbedingungen des Schülerlabors, wie Ablauf und Organisation des Tages sowie methodische Überlegungen. Diese umfassen das Lernen an Phänomenen, die Methode der Beobachtung sowie die Stationenarbeit. Abschließend wird die Auswahl der Sozialformen begründet, Möglichkeiten zur Differenzierung und die Überprüfbarkeit des Lernprozesses erläutert. Kapitel 7 befasst sich mit der Entwicklung des Forscherheftes. Nachdem geklärt wurde, welchen Rahmen das Schülerlabor haben soll und auf welche Aspekte Wert gelegt wird, kann die Erstellung des Forscherheftes folgen. Dazu werden zunächst die im Forscherheft verwendeten Symbole und unterschiedlichen Formen der Aufgabenstellungen erläutert. Anschließend werden die einzelnen Stationen sowie die ausgewählten Experimente beschrieben.

Das 8. Kapitel beschäftigt sich mit den curricularen Vorgaben zum Sachunterricht. Zu erwerbende Kompetenzen sowie fachliche Lernziele werden genannt.

Im dritten Teil der Arbeit geht es um die Auswertung des erprobten Schülerlabores. Der Ablauf der beiden Schülerlaborbesuche wird beschrieben und reflektiert. Dies soll auch auf die entwickelten Stationen und das Forscherheft zurückgeführt werden und eine Einschätzung liefern, inwieweit das entwickelte Schülerlabor sinnvoll und umsetzbar war.

Ein Fazit schließt die Arbeit ab.

Teil 1: Theoretische Grundlagen

Im ersten Teil dieser Arbeit soll es um Schülerlabore, außerschulische Lernorte und das Experimentieren gehen. Diese drei Themen sollen die theoretische Grundlage darstellen, auf der im weiteren Verlauf der Arbeit ein Schülerlabor erstellt wird.

2 Schülerlabore

Um ein Schülerlabor entwickeln zu können, muss sich zunächst damit auseinandergesetzt werden, was Schülerlabore sind. Dieses Kapitel soll dies klären und einen Überblick über das Thema geben.

2.1 Begriffsklärung

Schülerlabore stellen einen ansprechenden und motivierenden Lernort außerhalb schulischer Einrichtungen dar. Dabei geht es darum, dass Schüler Fertigkeiten und Kenntnisse in bestimmten naturwissenschaftlich-technischen Themenbereichen entwickeln. Schülerlabore bieten Schülern die Möglichkeit, selbst Experimente durchzuführen, sich mit unterschiedlichen Themen intensiv zu befassen und naturwissenschaftliche Phänomene und Probleme zu untersuchen (vgl. Bölsterli, Seilnacht & Wilhelm 2014, S. 90f.). Die Themen werden hierbei durch das Schülerlabor vorgegeben und liegen im Bereich der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik). Das Angebot wird von Schulklassen genutzt, die sich einen Vormittag lang selbstständig mit einem Thema beschäftigen und dazu forschen und experimentieren wollen. Ziel ist es, bei den Schülern das Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu fördern, sie dafür zu begeistern und zu motivieren, sich auch in der Zukunft mit solcherlei Themen zu beschäftigen (vgl. Plasa 2013, S. 9). Kennzeichnend ist, dass die Schüler in einem Ort außerhalb der gewohnten Umgebung, wie zum Beispiel der Schule, agieren sollen. Meist finden sich in Schülerlaboren Messgeräte und Gegenstände, die in der Forschung verwendet werden und in der Schule nicht existieren (vgl. Engeln 2010, S. 174). Die Schülerlabore sind somit in einer authentischen Umgebung, die Einblicke in das naturwissenschaftliche Arbeiten geben soll (vgl. Hempelmann 2016, o. S.).

In den letzten Jahren ist die Zahl der Schülerlabore angestiegen. Schülerlabore werden von unterschiedlichen Institutionen angeboten: Zunächst waren hauptsächlich Forschungszentren beteiligt, bis sich auch Universitäten anschlossen. Diese profitieren durch das Angebot der Schülerlabore zum einen davon, dass es als Werbung für die Universität fungieren kann und zum anderen für die Ausbildung von Lehramtsstudenten. Im weiteren Verlauf der Jahre sind auch Museen, Science Center, Wirtschaft und Industrie hinzugekommen (vgl. Behrendt 2009, S. 162). Eine Übersicht der Schülerlabore in Deutschland bietet die folgende Karte (Stand Oktober 2017, siehe Abb. 1):

Abbildung 1: Übersicht über die Schülerlabore in Deutschland (LernortLabor 2017, o. S.)

Charakteristisch für Schülerlabore ist, dass sie als außerschulischer Lernort klassifiziert werden können. Sie finden in eigens für diesen Zweck zur Verfügung gestellten Räumlichkeiten und Laboren in Universitäten, Forschungseinrichtungen und außerschulischen Einrichtungen, wie zum Beispiel Unternehmen, statt. So bieten sie den Schülern eine neue Lernumgebung, in der sie selbstständig experimentieren und somit einen Erfahrungszuwachs erleben können (vgl. Engeln 2004, S. 13). Die Experimentiertage sind meist kostenfrei, angeboten wird eine Vielfalt an Themen aus dem MINT-Bereich. Es existieren Schülerlabore für alle Jahrgangsstufen, die einzelnen Themen werden dennoch oft spezifisch für eine bestimmte Jahrgangsstufe empfohlen (vgl. Engeln 2004, S. 13f.).

2.2 Ziele von Schülerlaboren

Schülerlabore verfolgen sehr vielfältige Ziele. Sie wollen in erster Linie die Schüler für Naturwissenschaft und Technik begeistern und ihr Interesse wecken. Dabei ist anzumerken, dass besonders das Fachinteresse der Schüler an Physik gering ist (vgl. Plasa 2013, S. 12). Um dies zu stärken, wird in Schülerlaboren durch eine anregende und motivierende authentische Lernumgebung versucht, erst das Sachinteresse zu wecken und im Idealfall daran anknüpfend auch das Fachinteresse. So soll die Bildung der Schüler verbessert und ein Verständnis im naturwissenschaftlich-technischen Bereich gefördert werden. Wichtig zu nennen ist außerdem, dass durch diese Art des Experimentierens eventuelle Ängste und Unsicherheiten gegenüber Naturwissenschaften verringert werden können. Ein weiteres Ziel ist es, durch das selbstständige Arbeiten die Experimentierkompetenz zu erweitern (vgl. Plasa 2013, S. 13).

Die Schüler sollen durch einen solchen interessanten Zugang an die MINT-Themenbereiche herangeführt werden (vgl. Engeln 2004, S. 14). Durch das Kennenlernen von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen, Ansichten und Inhalten können sie einen Einblick in den Ablauf der Forschung bekommen. Gerade für die Industrie ist es von Vorteil zu versuchen, Schüler zu einem naturwissenschaftlichen oder technischen Studium zu ermuntern, damit mehr Schüler eine Berufslaufbahn im naturwissenschaftlich-technischen Bereich einschlagen. So können sie dazu beitragen, den Fachkräftemangel in der Zukunft zu reduzieren (vgl. Engeln 2004, S. 14; Plasa 2013, S. 13). Weiterhin soll der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft

unterstützt werden (vgl. Engeln 2004, S. 14). Durch den Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten und in ein spannendes Berufsfeld sollen die Schüler die gesellschaftliche Relevanz der Naturwissenschaften erkennen (vgl. Plasa 2013, S. 13). Als ein anderes Ziel der Universitäten ist die Aus- und Weiterbildung von angehenden Lehrern zu nennen. So haben Lehramtsstudenten durch die Schülerlabore die Möglichkeit, praktische Erfahrungen mit neuen Unterrichtskonzepten zu sammeln und sich in der Lehrerrolle im Kontakt mit den Schülern zu üben (vgl. Hempelmann 2016, o. S.). Weiterhin können die Klassen begleitenden Lehrer neue Ideen für ihren Unterricht bekommen.
Schülerlabore leisten zudem einen Beitrag zur didaktischen Forschung, indem neue Lehrkonzepte im Rahmen eines solchen Labors erprobt werden können (vgl. Plasa 2013, S. 13).

2.3 Ablauf eines Besuchs im Schülerlabor

Natürlich ist der Ablauf nicht bei jedem Schülerlabor exakt gleich, in den meisten Fällen jedoch sieht ein Besuch folgendermaßen aus:
Nach der Anmeldung für ein Schülerlabor wird die Klasse vom Unterricht freigestellt und verbringt einen Vormittag, in manchen Fällen auch etwas darüber hinaus, im Schülerlabor. Zunächst werden die Betreuungspersonen, das Thema und/oder die Fragestellung vorgestellt, außerdem findet eine Sicherheitseinweisung statt. Die Stationen sind entweder bereits aufgebaut oder benötigtes Material ist vorbereitet und steht bereit, sodass die Schüler dieses direkt nutzen können. Nach Vorstellung und Einweisung beginnt die erste Experimentierphase. Gearbeitet wird meist in kleinen Teams. Aufgaben existieren in allen Formaten: Es sind sowohl offene als auch vorstrukturierte Aufgaben geeignet. Nach einer Pause findet die zweite Experimentierphase statt, die oftmals mit einer Abschlussrunde endet, um ein Feedback zum Labortag zu bekommen. Im Idealfall findet eine Nachbereitung des Stoffes im Unterricht statt (vgl. Plasa 2013, S. 11f.).

2.4 Lernen im Schülerlabor

Die Art des Lernens ist in außerschulischen Lernorten, wie dem Schülerlabor, anders als im Unterricht in der Schule. Das Lernen ist freier gestaltet, die Schüler sollen selbstständig in einer offenen Lernumgebung lernen. Dies lässt sich mit der Vorstellung vom konstruktivistischen Lernen vereinen: Hierbei wird Lernen als „*die aktive Konstruktion von Wissen*“ verstanden (Labudde 2000; zit. nach Plasa 2013, S. 19). Das Vorwissen spielt beim Lernprozess eine wichtige Rolle, da der Lernende sein bereits bestehendes Wissen mit neuen Inhalten verknüpft und auf diese Weise neues Wissen und eigene Erkenntnisse produziert und somit ein Lernzuwachs stattfindet (vgl. Plasa 2013, S. 19).

Um konstruktives Lernen im Schülerlabor zu ermöglichen, sollten die Schüler ihren Lernstatus erkennen und ihr Vorwissen und ihre Denkweisen erforschen und untersuchen können. Authentische, realistische Situationen, Frage- und Problemstellungen wirken dabei kognitiv aktivierend (vgl. Plasa 2013, S. 20). Durch lebensnahe Situationen können die Schüler auf mehr Vorwissen zurückgreifen, so wirken die Themen auf die Schüler interessant und wichtig.

Von Bedeutung ist außerdem die soziale Interaktion. Wir lernen durch den Austausch mit anderen, indem diskutiert, argumentiert, ergänzt und sich in die Denkweisen anderer hineinversetzt wird (vgl. Plasa 2013, S. 20).

3 Außerschulische Lernorte

Wie oben bereits erwähnt, gehören Schülerlabore zu den außerschulischen Lernorten. Aus diesem Grund wird im Folgenden explizit darauf eingegangen.

3.1 Historischer Hintergrund

Das Lernen an außerschulischen Lernorten hat eine lange Vorgeschichte. Die Institution Schule war schon immer ein abgeschlossener Bereich, in dem das Lernen und der Unterricht im Fokus standen (vgl. Salzmann 2007, S. 433). Erst im Zuge der Reformpädagogik (besonders in den ersten drei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts) begann sich die Schule zu öffnen und den Schülern außerschulische Erfahrungen zu ermöglichen. Die Prinzipien der Reformpädagogik, wie beispielsweise Heimatorientierung, Lebensnähe, Anschauung und Selbsttätigkeit, verlangten eine Öffnung der Institution Schule nach außen hin, um den Schülern gerade diese Erfahrungswerte vermitteln zu können (vgl. Salzmann 2007, S. 434). Außerschulische Lernorte wurden somit in den Unterricht eingebunden, Erfahrungen und Beobachtungen außerhalb der Schule sowie die aktive Verarbeitung dieser gewannen an Bedeutung. Dieser Bedeutungszuwachs reicht bis in unsere heutige Zeit und schlägt sich beispielsweise in kultusministeriellen Vorgaben nieder, die die Einbeziehung außerschulischer Lernorte in den Unterricht fordern (Brühne & Sauerborn 2014, S. 13).

3.2 Begriffsklärung

Es existiert keine einheitliche Definition zu außerschulischen Lernorten, deshalb werden im Folgenden verschiedene Definitionen nebeneinander gestellt. Brühne und Sauerborn (2010, S. 27) halten eine offene Definition für sinnvoll, die den Begriff des außerschulischen Lernortes durch dessen notwendige Merkmale und Bestandteile eingrenzt. Nach ihrer Definition ist außerschulisches Lernen „*die originale Begegnung im Unterricht außerhalb des Klassenzimmers*“ (Brühne & Sauerborn 2010, S. 27). Hopf (1993 S.186; nach Brühne & Sauerborn 2014, S. 14) definiert wie folgt: „*Außerschulische Lernorte sind didaktisch-pädagogisch ergiebige Informations-, Erfahrungs- und Tätigkeitsorte, die außerhalb der Klassenräume ein aktives Erkunden*

und Lernen ermöglichen". Die Lernenden setzen sich mit ihrer Umgebung auseinander, können aktiv mitgestalten und Inhalten mehrperspektivisch begegnen (vgl. Brühne & Sauerborn 2010, S. 27). Lernen findet also nicht ausschließlich in der Schule statt. Davon ausgehend ist nach Mitchell (1974, S. 43 ff.; nach Dühlmeier 2010, S. 16) die Schule einer von vielen Lernorten, die zur Erziehung beitragen.

Außerschulische Lernorte sollen den Schülern ermöglichen, grundlegende Verhaltensweisen zu beobachten und ihnen „*reale komplexe Erfahrungsfelder und Situationen*" bieten (Burk & Claussen 1994, S. 22). Sie sollen sowohl die Lernform der Begegnung ermöglichen als auch das Kennenlernen konkreter Tätigkeiten. Die Schüler sollen fachmethodische und sozial-kommunikative Fähigkeiten erweitern und längerfristig Kompetenzbereiche stärken, die nur umständlich im alltäglichen Unterricht zu erreichen wären (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 13). In außerschulischen Lernorten können sie außerdem ihre kommunikativen Beurteilungsfähigkeiten ausbauen, praktische Handlungsweisen erproben und lebensbedeutsame und praktische Erfahrungen machen (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 13). Der heutzutage kompetenzbasierte Unterricht fordert, dass mehrere Wahrnehmungs- und Lernkanäle angeregt werden sollen, was in außerschulischen Lernorten ermöglicht werden kann.

Die Vielzahl an Lernorten kann in primäre und sekundäre Lernorte gegliedert werden (vgl. Dühlmeier 2010, S. 17).
Primäre Lernorte sind Institutionen, in denen das Lernen im Fokus steht, wie beispielsweise alle Arten von Schulen und Universitäten. Nimmt man die Schule als Beispiel, lassen sich verschiedene Lernbereiche festmachen, wie zum Beispiel der Klassenraum mit Leseecke, Experimentierecke, Computertischen, oder das Schulgebäude mitsamt all seiner Räumlichkeiten. *Sekundäre Lernorte* bezeichnen Orte, in denen gelernt werden kann, die aber in erster Linie jedoch andere Aufgaben haben. Durch die gezielte Einbeziehung in den Unterricht werden diese Orte zu Lernorten, wodurch jeder Ort die Möglichkeit hat, als außerschulischer Lernort zu gelten (vgl. Dühlmeier 2010, S. 17).
Eine weitere Kategorie bilden *Lernstandorte*. Diese bezeichnen Lernorte, die dauerhaft zum Erkunden und Lernen zur Verfügung stehen und pädagogisch-didaktisch und methodisch für Kinder und Jugendliche aufbereitet wurden (vgl.

Salzmann 2007, S. 435). Lernstandorte gibt es im Rahmen von (Schul-) Museen, zoologische Gärten und Theater.

Dühlmeier (2010, S. 21) gliedert außerschulische Lernorte in vier Kategorien: Lernorte in der Arbeitswelt, Lernorte in der Naturwelt, Lernorte in der Kulturwelt und Schülerlabore und Science-Center. Der Besuch dieser Lernorte kann in unterschiedlichen Formen erfolgen, wobei in der heutigen Schulpädagogik von der Exkursion die Rede ist. Der Begriff, der aus dem Lateinischen kommt und „Streifzug", „Ausflug" meint, bezeichnet Erkundungsaktivitäten aus dem Klassenraum heraus zu einem Lernort außerhalb der Schule. Dort sollen sie einen Bereich ihrer Lebenswelt erforschen (vgl. Dühlmeier 2010, S. 18). Exkursionen können sowohl einmalig als auch mehrmals oder sogar regelmäßig stattfinden und sind vor allem dann wichtig, wenn bestimmte Objekte oder Objektbereiche in ihrer originalen, ursprünglichen Form nur an Ort und Stelle, in der für das Objekt natürlichen Umgebung erfahren werden können (vgl. Salzmann 2007, S. 436).
Außerschulische Lernorte werden nach Brühne & Sauerborn (2014, S. 32) auch nach ihrer Lernstruktur unterschieden. Dabei geht es um den Grad der Offenheit des Lernens, die je nach Lernort variieren kann. Unterschieden wird, inwieweit das Lernangebot aufbereitet und der Lernprozess dadurch strukturiert wird. *Freies bzw. offenes Lernen* findet dann statt, wenn das Lernangebot teilweise didaktisch aufbereitet und wenig vorstrukturiert wird (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 32). Dies findet hauptsächlich an Lernorten statt, die die Naturwelt betreffen. Lernorte, die ein ausführlich aufbereitetes Angebot zur Verfügung stellen, sodass Lernprozesse stark vorstrukturiert sind, beziehen sich auf *definiertes, strukturiertes Lernen*. Gemischtes Lernen ist dann gegeben, wenn das Angebot nur bis zu einem gewissen Maß vorstrukturiert ist. Die Rahmenbedingungen der Orte, die in diesem Bereich hauptsächlich Lehr-, Lern- und Erlebnispfade sind, schränken gewissermaßen die Lernmöglichkeiten ein, jedoch kann der Ablauf des Besuchs und die Offenheit der Lernphasen individuell gestaltet werden (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 32).

3.3 Methodische Möglichkeiten außerschulischer Lernorte

Die Schule hat nicht nur die Aufgabe, theoretisches Wissen zu vermitteln. Eine Ausrichtung an handlungsorientiertem Unterricht und einer anschaulichen

Vermittlung von Inhalten, die sich an der Lebenswelt der Kinder orientieren, gewinnt immer mehr an Bedeutung (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 63). Da außerschulische Lernorte hierbei einen wesentlichen Beitrag leisten können, sollte auf eine Vielfalt an Methoden zurückgegriffen werden. Es können dabei unterschiedliche methodische Lernformen zum Einsatz kommen, um angestrebte Kompetenzen zu erreichen. Meyer (2004; nach Brühne & Sauerborn 2014, S. 63) führt drei methodische Ebenen an, die im Folgenden verkürzt aufgezählt werden:

- Die *Mikromethodik*: beobachten, beschreiben, präsentieren, …
- Die *Mesomethodik*: Sozialform (Einzel-, Partner-, Gruppenarbeit), Aktionsform (darbietend, erarbeitend, entdeckenlassend)
- Die *Makromethodik* (Erkundung, Experiment, Lernzirkel und -stationen vor Ort)

Anzumerken ist hierbei jedoch, dass die Sozialform der Einzelarbeit beim außerschulischen Lernen eher zu vernachlässigen ist, da sich Partner- oder Gruppenarbeiten besser eignen, um sozial-kommunikative Fähigkeiten weiterzuentwickeln (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 63).

Der Sachunterricht ist durch seine Themenvielfalt besonders gut für Exkursionen zu außerschulischen Lernorten geeignet (vgl. Dühlmeier 2010, S. 4). Es bietet sich aber auch an, den Besuch außerschulischer Lernorte fächerübergreifend zu planen und zu organisieren (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 16).
Außerschulische Lernorte können zu jeder Zeit in den Unterricht eingebunden werden, das heißt, sowohl als Einstieg als auch als Abschluss oder während einer Unterrichtseinheit. Es ist jedoch wichtig, dass sich die Lehrkraft im Vorfeld über das didaktische Potenzial des Lernortes bewusst ist (vgl. Dühlmeier 2010, S. 32). Wesentlicher Bestandteil sollte in jedem Fall die Vor- und Nachbereitung sein. Ergebnisse sollten durch die Schüler präsentiert und gedeutet werden, Erfahrungen sollten reflektiert und in einen größeren Zusammenhang eingebettet werden (vgl. Salzmann 2007, S. 437f.). Nur durch eine Auswertung des in außerschulischen Lernorten Erlebten und eine Reflexion der Erfahrungen kann das Gelernte verankert und ein Erkenntniszuwachs erzielt werden (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 16).

Wie oben bereits erwähnt, ist in außerschulischen Lernorten ein hohes Maß an Handlungsorientierung möglich. Diese setzt sich nach Gudjons (2008; nach Landtwing Blaser 2014, S. 95) aus Primärerfahrungen (also dem Lernen „aus erster Hand“) und Eigentätigkeit zusammen. Eigentätigkeit wird hierbei als Grundvoraussetzung gesehen, um sich Erfahrung anzueignen (vgl. Landtwing Blaser 2014, S. 95). Die Handlungen und Erfahrungen eines Individuums stellen die Grundlage für die Entwicklung des Denkens dar. Aebli (1980, 1981; nach Möller 2007, S. 412) sieht das Handeln als den Ursprung, da aus ihm Schemata, Operationen und Begriffe hervorgehen und das somit für die Entwicklung des Denkens essentiell ist. Durch bewusstes Handeln in Lernorten außerhalb der Schule werden Denkvorgänge angeleitet, aus denen kognitive Strukturen entstehen (vgl. Aebli 1980; nach Brühne & Sauerborn 2014, S. 15f.) Für den Unterricht und das Lernen bedeutet dies, dass den Schülern eigenständiges Handeln ermöglichen werden sollte, damit sie sich dem Lerngegenstand in einer veränderten Art und Weise nähern können (vgl. Schmidtke 2012; nach Landtwing Blaser 2014, S. 95).

3.4 Chancen außerschulischer Lernorte

Außerschulische Lernorte haben vielerlei Vorteile, die im Folgenden erläutert werden. Welche Chancen außerschulische Lernorte auf das Lernen haben, wird zunächst aus der lernpsychologischen Perspektive erläutert. Die Motivation spielt für das Lernen eine zentrale Rolle. Aufmerksamkeit und Motivation gegenüber dem Lerninhalt lassen sich nur durch die Aktivierung der Interessen der Schüler, durch aktives Lernengagement und Leistungsanreize erzeugen (vgl. Weinert 1998, S. 9f.; nach Dühlmeier 2010, S. 23f.). Hier kommt außerschulischen Lernorten eine wichtige Bedeutung zu, da sie Interesse wecken und das Lernengagement steigern können, insbesondere durch die Einbeziehung der Schüler in die Wahl des Lernortes und des Themas. Authentische Lernsituationen in außerschulischen Lernorten ermöglichen, dass die Schüler anwendungsfähiges Wissen erwerben, welches im Gegensatz zum erworbenen Wissen in der Schule steht, das oftmals nicht auf alltägliche Situationen übertragen werden kann. Bei einer aktiven Auseinandersetzung mit dem Lernort kann ganzheitliches und anwendungsfähiges Wissen aufgebaut und Gelerntes in verschiedenen Situationen angewendet werden (vgl. Dühlmeier 2010, S. 24f.). Wichtig ist hierbei die Vor- und Nachbereitung der Besuche, da der effektivste

Wissenszuwachs von Phasen der Instruktion durch die Lehrkraft begleitet wird (vgl. Thiel 2006, S. 374; nach Dühlmeier 2010, S. 25).
Außerschulische Lernorte haben außerdem auch sozialisationsbedingte Chancen. Sozialerfahrungen, die den Kindern durch ihre Familien vermittelt werden, nehmen durch die veränderte familiale Lebenswelt immer weiter ab. Auch Spiel- und Freizeitgestaltung sowie der Umgang mit neuen Medien haben Veränderungen erfahren. Daraus folgt unter anderem, dass Kinder ihre Umwelt nicht mehr unkontrolliert erschließen und erforschen und ihnen die Wirklichkeit nicht mehr unmittelbar, sondern indirekt durch Medien vermittelt wird (vgl. Jürgens 1993, S. 69ff.; nach Dühlmeier 2010, S. 26). Die Schule versucht, diesen Erscheinungen entgegenzuwirken. In außerschulischen Lernorten können sie Erfahrungen machen, die ihnen sonst verwehrt bleiben. Diese Erfahrungen sind auch für den Unterricht interessant, da sie dort aufgegriffen und vertieft werden können (vgl. Peschel 2014, S. 131). Außerschulische Lernorte können also unterstützend wirken, da die Schüler Erfahrungs- und Handlungsräume in der Umwelt erleben und so eventuelle Erfahrungsdefizite ausgeglichen werden können (vgl. Hellberg-Rode 2004, S. 145f.; nach Dühlmeier 2010, S. 26). Weiterhin werden durch außerschulische Lernorte Wahrnehmungssinne und das Nutzen verschiedener Lernkanäle geschult. Dadurch wird der Lerngegenstand besser erfassbar und im besten Fall wird Wissen somit langfristig abgespeichert (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 17).

Auch bezüglich der Schulpädagogik lassen sich Vorteile von außerschulischen Lernorten ausmachen. Sie bieten Lebensnähe durch Beobachtungen an Originalorten, die Schüler können sich eine eigene Vorstellung von dem Lerngegenstand machen und Arbeitsabläufe kennenlernen. Durch außerschulische Lernorte können sie den Lerngegenstand unmittelbar erfahren, anstatt ihn, wie in der Schule, nur mit didaktischen Materialien nachzuvollziehen (vgl. Dühlmeier 2010, S. 27). Außerschulische Lernorte begünstigen außerdem die Entwicklung einer fragenden Haltung: Schüler sollten ermutigt werden, etwas so lange zu hinterfragen, bis sie es durchschaut haben (vgl. Dühlmeier 2010, S. 27). Die Wirksamkeit außerschulischer Lernorte ist am größten, wenn die Schüler die Gelegenheit haben, aktiv zu handeln. Der hohe Grad an Handlungsorientierung stellt somit einen weiteren Vorteil dar (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 17). Auch die Methodenkompetenz der Schüler kann im Zuge der Informationsbeschaffung und -verarbeitung bei der Vorbereitung des Besuchs, der Nutzung fachspezifischer Methoden im außerschulischen Lernort und

der Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse bei der Nachbereitung gesteigert werden (vgl. Dühlmeier 2010, S. 28). Weiterhin werden soziale Kompetenzen durch das gemeinsame Lernen in Partner- oder Gruppenarbeit gefördert. Die Kooperationsfähigkeit, Toleranz, Hilfsbereitschaft und andere soziale Fähigkeiten können somit gesteigert werden. Oftmals findet ein Lernen statt, das sogar über den geplanten Umfang hinausreicht. Vernetzendes Denken kann somit gefördert werden und bildet einen guten Ansatz für fächerübergreifenden Unterricht (vgl. Dühlmeier 2010, S. 28). Durch den Besuch von außerschulischen Lernorten zur Erkundung der Umwelt öffnet sich die Schule dem gesellschaftlichen Umfeld und den übrigen Lernorten (vgl. Dühlmeier 2010, S. 29). Zuletzt haben außerschulische Lernorte einen hohen lebenspraktischen Bezug und fördern die Selbstständigkeit der Schüler (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 17).

3.5 Grenzen außerschulischer Lernorte

Trotz der vielfältigen Chancen außerschulischer Lernorte gibt es auch Grenzen. Für Lehrkräfte bedeutet solch ein Besuch einen hohen Organisations- und Zeitaufwand. Diesen Mehraufwand was die Planung und Vorbereitung betrifft sehen viele Lehrer als Nachteil an. Auch die innerschulische Abstimmung und Genehmigungen durch die Schulleitungen und durch die Eltern der Schüler ist nicht immer unproblematisch (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 17). Einige Lehrkräfte könnten außerdem ihre fachliche Kompetenz als nicht ausreichend ansehen, um auf Fragen angemessen reagieren zu können. Dies kann jedoch insofern entkräftet werden, als dass Fragen an Experten des Lernortes weitergegeben oder gegebenenfalls im Unterricht nach eigenen Nachforschungen beantwortet werden können (vgl. Dühlmeier 2010, S. 30). Es besteht die Möglichkeit, dass Schüler ihre Aufmerksamkeit nicht auf die von der Lehrkraft intendierte Lerngelegenheit richten, sondern auf andere Aspekte des Lernortes. Falls Schüler im Vorfeld nicht das nötige Wissen für den Lernort erworben haben, könnten sie durch fehlendes Verständnis überfordert sein (vgl. Dühlmeier 2010, S. 30). Weiterhin spielen auch die Experten des Lernortes eine wichtige Rolle, da sie die Fähigkeit besitzen sollten, Erklärungen auf der Verstehensebene der Schüler zu erläutern (vgl. Dühlmeier 2010, S. 30). Einige außerschulischen Lernorte ermöglichen es den Kindern nicht, selbst aktiv zu handeln. Schwierig ist oft auch, klassische Kriterien zur Leistungsbewertung einzuhalten (vgl. Bohl 2009; Winter 2010; nach Brühne & Sauerborn 2014, S. 17).

4 Experimentieren

Um Schülern naturwissenschaftliche Inhalte näher zu bringen, ist es wichtig, dass sie sich durch eigenständiges Experimentieren mit Phänomenen aktiv und praktisch auseinandersetzen (vgl. Windt 2011, S. 35). Aus diesem Grund und durch die tragende Rolle des eigenständigen Experimentierens in Schülerlaboren, wird in diesem Abschnitt näher darauf eingegangen.

4.1 Begriffsklärung

Zunächst soll der Begriff des Experiments[1] definiert werden.
Unter einem Experiment versteht man eine „*planmäßige, grundsätzlich wiederholbare Beobachtung von Naturvorgängen unter künstlich hergestellten, möglichst veränderlichen Bedingungen*“ (Hoffmeister (Hrsg.) 1955, S. 288; zit. nach Bäuml 1979, S. 40). Wodzinski (2010, S. 156) beschreibt das Experimentieren in Bezug auf den Physikunterricht „*als das planvolle Herstellen und Auswerten von Beobachtungssituationen*“. Das Experimentieren ist eine Methode der Erkenntnisgewinnung, die sowohl bei Wissenschaftlern, als auch in der Schule oder im Alltag Anwendung findet (vgl. Wodzinski 2004, S. 9; nach Windt 2011, S. 35). Bäuml (1979, S. 41) beschreibt fünf Merkmale, die ein Experiment hat: Es muss planmäßig, künstlich hergestellt, abänderbar, wiederholbar und kontrollierbar sein.

4.2 Der Experimentierprozess als Modell

Da der Prozess des Experimentierens auch durch das Verwerfen von Hypothesen, dem Umschwenken und der Bildung von neuen Hypothesen geprägt sein kann, kann man sich diesen Prozess als eine Spirale vorstellen (siehe Abb. 2, in Anlehnung an Höttecke 2008; nach Backhaus & Braun 2009, S. 111f.).

[1] Die Begriffe Experiment und Versuch werden im Folgenden nicht unterschieden, da sie nach Tesch (2001; nach Engeln 2004, S. 22) trotz minimaler Unterschiede dasselbe meinen.

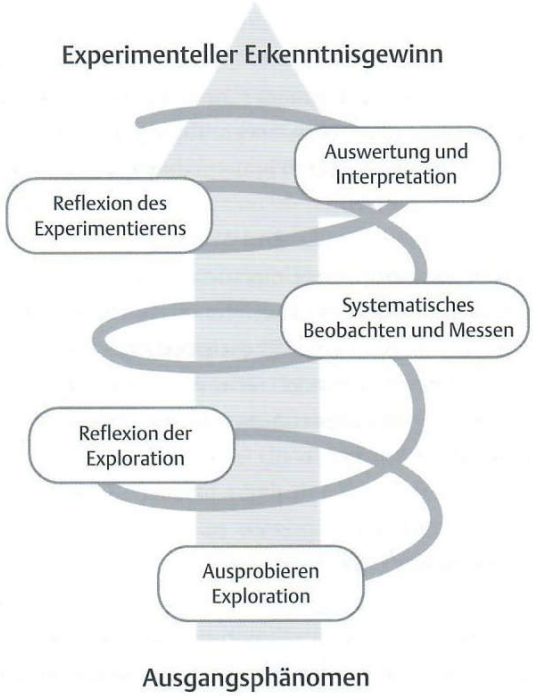


Abbildung 2: Spiraldarstellung des Experimentierprozesses (Braun 2009; nach Backhaus & Braun 2009, S.112)

In dieser Modellvorstellung finden sich Aspekte wie das Explorieren, das Beobachten, die Reflexion, Auswertung und Interpretation, die zum Experimentierprozess gehören. Die Spirale verläuft ohne exakten Anfangs- und Endpunkt. Das kommt daher, dass sich, abhängig von der jeweiligen Situation des Experiments, sowohl Ausgangspunkt als auch Ziele und Erkenntnisse unterscheiden können (vgl. Backhaus & Braun 2009, S. 111). Während des Experimentierens durchläuft man die in der Abbildung dargestellten Phasen zyklisch, gewinnt jedoch Erkenntnisse, die sich in der Aufwärtsrichtung der Spirale niederschlagen.

4.3 Experimente im schulischen Kontext

Experimente lassen sich in zwei Kategorien gliedern. Auf der einen Seite finden sie in der Naturwissenschaft als wissenschaftliches Experiment zur Erkenntnisgewinnung Anwendung, auf der anderen Seite finden sie auch im schulischen Kontext als Lehrer- oder Schülerexperiment statt (vgl. Engeln 2004, S. 23).

Während in der Forschung neue Erkenntnisse gewonnen werden sollen, geht es bei Experimenten in der Schule in erster Linie um das Nachvollziehen physikalischer Sachverhalte (vgl. Schlichting 2010, S. 131). Dabei dienen Experimente der

Veranschaulichung, dem Erfahren physikalischer Phänomene und der Steigerung der Motivation (vgl. Millar 1998, nach Engeln 2004, S. 23).
Im Folgenden wird sich auf die Art von Experimenten beschränkt, die sich in der Schule beziehungsweise mit Schülern durchführen lassen.

In der Schule sollen Neugier und Motivation bezüglich naturwissenschaftlicher Sachverhalte vermittelt werden und Schülern ermöglicht werden wissenschaftliche Arbeitsweisen kennenzulernen. Aus diesem Grund ist das Experimentieren wichtig und sollte sowohl in der schulischen als auch weiterführenden Ausbildung Anwendung finden (vgl. Backhaus & Braun 2009, S.106f.). Auch in der Grundschule haben Experimente einen hohen Stellenwert: Ein zentrales Ziel des Sachunterrichts ist es, den Schülern zu ermöglichen, eigenständig mithilfe von Experimenten Fragen zu klären (vgl. Wodzinski 2010, S. 153). Zum einen gilt das Experiment als unterrichtsmethodisches Element, mit welchem Schülern Phänomene näher gebracht und zum Unterrichtsgegenstand gemacht werden können und mit welchem Zusammenhänge verdeutlicht und Fachwissen aufgebaut werden kann. Zum anderen kann das Experiment selbst als Lerngegenstand gesehen werden (vgl. Wodzinski 2010, S. 153).

4.3.1 Klassifikation von Experimenten

Experimente lassen sich nach verschiedenen Aspekten klassifizieren, die im Folgenden stichpunktartig aufgeführt werden (vgl. Engeln 2004, S. 35ff.):

Experimente lassen sich zunächst nach der *Gruppengröße* klassifizieren. Weiterhin kann bezüglich der *Datenerfassung* unterschieden werden. Qualitative Experimente beziehen sich dabei auf eine unmittelbare, subjektive Erfassung, während sich quantitative Experimente auf eine objektive Datenerfassung beziehen. Klassifiziert werden kann außerdem bezüglich des *technischen Aufwandes*. Zu nennen sind dabei Freihandversuche, die ohne apparativen Aufwand auskommen, Experimente mit großem technischen Aufwand und Experimente, die mit schulischer Ausrüstung durchzuführen sind. Gearbeitet wird entweder mit Computern zur Datenaufbereitung oder ganz ohne Computer. Die *Ablaufform* der Experimente bildet ein weiteres Kriterium. Zu nennen sind hier Einzelversuch, Parallelversuch (mehrere Versuche

gleichzeitig, die eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse ermöglichen) und Versuchsreihe (mehrere sich ergänzende Versuche, die wirksam zur Erreichung eines Ziels beitragen). Mit Hinblick auf den *Realitätsbezug* unterscheidet man zwischen dem Experimentieren oder dem Modellversuch mit realen Objekten, der Computersimulation und dem Gedankenexperiment. Experimente mit realen Objekten beziehen sich auf das mittelbare oder unmittelbare Beobachten eines Sachverhaltes, während bei Modellversuchen statt eines unmittelbaren Objektes ein Ersatzobjekt mit Analogien zum eigentlichen Objekt verwendet wird. Computersimulationen stellen Eigenschaften und Beziehungen des Untersuchungsgegenstandes abstrahiert dar. Gedankenexperimente können sich auch auf unreale Situationen beziehen und benötigen keinerlei apparativen Aufwand. Auch nach dem *Grad der Betreuung* können Experimente unterschieden werden. Sie können entweder durch einen Fachmann betreut werden oder ohne Betreuung stattfinden. Bei ersteren wird weiterhin unterschieden, ob die Schüler selbstständig arbeiten oder assistieren können. Letzter Aspekt der Klassifizierung ist die *Art der Ergebnissicherung*. Diese kann entweder gar nicht, oder mithilfe von Notizen, eines Arbeitsblattes oder eines Ergebnisprotokolls dokumentiert werden (vgl. Engeln 2004, S. 35ff.) .

Experimente lassen sich in zwei Bereiche unterteilen, je nachdem, wer aktiv handelnd am Experiment beteiligt ist. Lehrer- oder Demonstrationsexperimente werden – wie der Name bereits sagt – von der Lehrkraft vorbereitet und durchgeführt. Auf der anderen Seite steht das Schülerexperiment, das von den Schülern aktiv durchgeführt wird. Im schulischen Alltag existieren häufig auch Mischformen, beispielsweise, wenn die Lehrkraft an einem Schülerexperiment beteiligt ist und es gemeinsam mit den Schülern durchführt (vgl. Engeln 2004, S. 23). Die für Schülerlabore relevante Variante ist das Schülerexperiment, weshalb im Folgenden besonders auf dieses eingegangen wird. Anschließend daran werden Freihandexperimente erläutert. Diese können sowohl als Schüler- als auch als Demonstrationsexperiment eingesetzt werden.

4.3.2 Schülerexperimente

Schülerexperimente zeichnen sich dadurch aus, dass Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente durch die Schüler erfolgt. Dies findet je nach Klassenstufe relativ selbstständig oder mit Unterstützung statt (vgl. Berger 2010a, S. 154). Experimente, die eigenständig von Schülern durchgeführt werden, können die Selbstständigkeit, Geschicklichkeit und Motivation der Schüler steigern (vgl. Backhaus & Braun 2009, S. 106f.). Die Schüler sollen durch das selbstständige Experimentieren ein Wissenschaftsverständnis entwickeln, physikalische Gesetzmäßigkeiten erkennen, lernen, wissenschaftlich zu denken, fachspezifische experimentelle Fähigkeiten aufbauen und außerdem soziale Kompetenzen stärken (vgl. Mayer 2007; Trendel, Fischer 2007; nach Wodzinski 2010, S. 153; Berger 2010, S. 34). Trotz der sehr positiven Auswirkungen von Schülerexperimenten kommen diese in Deutschland im Unterricht nicht allzu oft zum Einsatz. Stattdessen wird vermehrt auf Lehrer- beziehungsweise Demonstrationsexperimente zurückgegriffen (vgl. Labudde 2000; Reinhold 1994; nach Engeln 2004, S. 29). In der Sekundarstufe I nehmen Schülerexperimente zwar zu, das Problem hierbei ist jedoch, dass diese nicht hauptsächlich auf die Eigenständigkeit beim Experimentieren ausgerichtet sind (vgl. Tesch & Duit 2004; nach Engeln 2004, S. 29).

Schülerexperimente lassen sich in verschiedene Formen des Experimentierens gliedern:

- Angeleitetes Experimentieren

Beim angeleiteten Experimentieren werden sowohl der Ablauf als auch das Ziel der Untersuchung vom Lehrer vorgegeben (vgl. Backhaus & Braun 2009, S. 13). Dieser strukturiert den Experimentierprozess und leitet die Schüler an. Die naturwissenschaftlichen Hintergründe sollen außerdem im Anschluss an das Experiment besprochen werden (vgl. Lück 2003, S. 102ff., nach Windt 2011, S. 41). Die Anleitung durch die Lehrkraft ist durch deren Expertenwissen wichtig für den Lernprozess der Schüler (vgl. Dollase 2009, S. 33f.; nach Windt 2011, S. 41).

- Nachforschendes Experimentieren

Die Schüler können sich eigene Untersuchungsziele überlegen und nach diesen die Experimente durchführen. Backhaus & Braun (2009, S. 13) nennen als Beispiel das vorgegebene Thema der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien. Die Schüler müssen sich dabei selbst für einen Untersuchungsgegenstand entscheiden und die Experimente eigenständig planen und umsetzen.

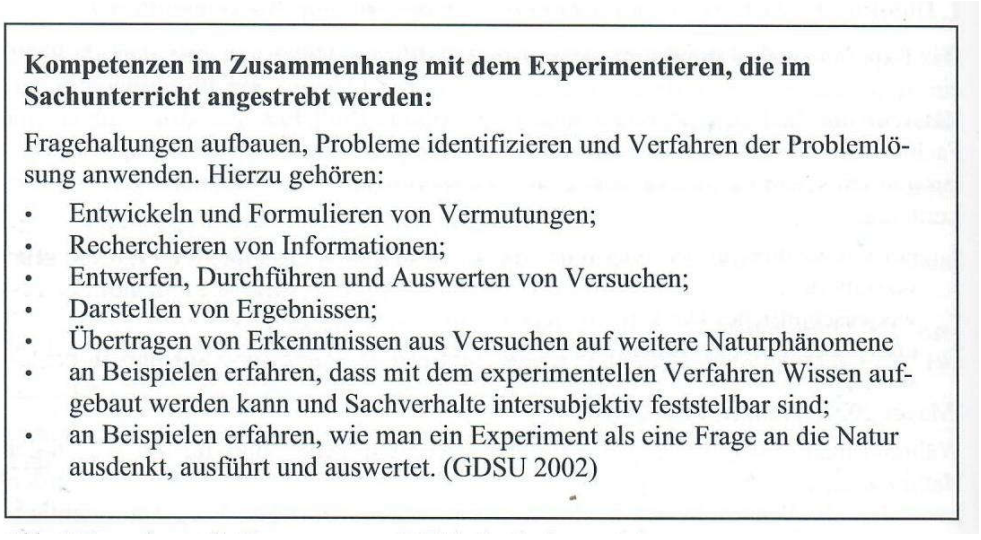
- Entdeckendes Experimentieren

Beim entdeckenden Experimentieren geht es darum, dass die Schüler vorgegebene Experimente durchführen und danach selbstständig Schlussfolgerungen daraus ziehen und Gesetze formulieren sollen (vgl. Backhaus & Braun 2009, S. 13).

- Freies Experimentieren

Beim freien Experimentieren werden keinerlei Vorgaben gemacht: Das bedeutet, die Schüler entscheiden selbst, wann sie experimentieren wollen, über welche Inhalte sie forschen möchten und wie sie dabei vorgehen (vgl. Windt 2011, S. 42).

In der folgenden Tabelle sind Kompetenzen aus dem Perspektivrahmen Sachunterricht dargestellt, die durch das Experimentieren erworben werden können (siehe Abb. 3).



Kompetenzen im Zusammenhang mit dem Experimentieren, die im Sachunterricht angestrebt werden:

Fragehaltungen aufbauen, Probleme identifizieren und Verfahren der Problemlösung anwenden. Hierzu gehören:

- Entwickeln und Formulieren von Vermutungen;
- Recherchieren von Informationen;
- Entwerfen, Durchführen und Auswerten von Versuchen;
- Darstellen von Ergebnissen;
- Übertragen von Erkenntnissen aus Versuchen auf weitere Naturphänomene
- an Beispielen erfahren, dass mit dem experimentellen Verfahren Wissen aufgebaut werden kann und Sachverhalte intersubjektiv feststellbar sind;
- an Beispielen erfahren, wie man ein Experiment als eine Frage an die Natur ausdenkt, ausführt und auswertet. (GDSU 2002)

Abbildung 3: Experimentelle Kompetenzen (Wodzinski 2010, S. 154)

Die Schwierigkeit bei Schülerexperimenten ist, den Schülern genügend Freiraum für kreative Ideen beim Experimentieren zu geben und Aufgaben nicht zu kleinschrittig

und wie bei einer „Kochanleitung“ zu verfassen (vgl. Berger 2010a, S. 155). Trotzdem sollten Aufgaben klar formuliert sein, sodass die Schüler genügend Unterstützung haben und zu angemessenen Lösungen gelangen. Nach Harlen (1999; nach Engeln 2004, S. 44f.) sind Schülerexperimente vor allem sinnvoll, weil sie den Schülern das Kennenlernen von Phänomenen ermöglichen und sie unterstützen, ihren persönlichen Erfahrungsschatz zu erweitern, weil sie ihre Vorstellungen überprüfen können und ihre Methodenkompetenz durch naturwissenschaftliches Experimentieren erweitern. Zu beachten ist dabei, dass sie die Schüler herausfordern aber nicht überfordern sollten, um Interesse zu wecken und ihnen die Möglichkeit zur Entwicklung eines positiven Selbstkonzeptes zu geben (vgl. Woolnough 1998; nach Engeln 2004, S. 45). Wichtig ist außerdem eine Nachbesprechung der Versuche. Reflexionen machen es möglich, dass die Schüler besser nachvollziehen können, welchen Zusammenhang Theorie und Daten haben (Hodson 1993; White 1996; nach Engeln 2004, S. 46).

4.3.3 Freihandexperimente

„*Freihandexperimente bzw. Freihandversuche dienen der Demonstration physikalischer Zusammenhänge und Gesetze*“ (zit. nach Schlichting 2010, S. 131). Sie sollen das Wesentliche darstellen, dabei aber Effekte erzeugen, die die Beobachter staunen lassen. Sie sind leicht und mit Alltagsmaterialien oder Materialien, die sich in der Physiksammlung einer Schule finden lassen sollten, durchführbar. Sie sollen im Idealfall Denkanstöße hervorrufen und Lernprozesse initiieren (vgl. Fiesser 2003, S. 248).

Freihandversuche zeichnen sich durch einen geringen Vorbereitungsaufwand und eine einfache Durchführung aus und sind somit gut und spontan in der Schule einzusetzen, auch, weil keine oder kaum Kosten entstehen und trotz geringem Aufwand faszinierende Effekte erzeugt werden können. Aus diesem Grund eignen sie sich als vom Lehrer vorgeführte Demonstrationsversuche, lassen sich jedoch auch von Schülern in Gruppen durchführen. Freihandversuche beziehen sich meist auf qualitative Aussagen. Es geht nicht darum, genaue Messungen zu erzeugen, vielmehr ist es das Ziel, zwei Prozesse zu vergleichen (vgl. Fiesser 2003, S. 249).

Oft wird diese Art von Versuchen für den Einstieg genutzt, um die Schülermotivation zu steigern und die Aufmerksamkeit zu fesseln. Das Phänomen wird den Kindern vorgeführt, entwickelt eine erstaunende und verblüffende Wirkung und regt zum

Nachdenken an, wodurch es eventuell zu ersten Erklärungsversuchen kommt. Freihandversuche sind eine gute Möglichkeit, um echte Lerngelegenheiten zu schaffen. Fragen werde aufgeworfen, da sich die Beobachtungen der Schüler meist nicht mit ihrem Vorwissen deckt. Dadurch kann eine hohe Motivation erwartet werden, sich gedanklich mit dem Phänomen auseinanderzusetzen (vgl. Fiesser 2003, S. 249). Ein Problem ist jedoch, dass sich auch andere Beobachtungen machen lassen und Experimente nicht wie Schulexperimente nur einen bestimmten Aspekt thematisieren. Das führt dazu, dass unter Umständen auch unerwartete Effekte thematisiert werden und damit das eigentlich zu Untersuchende nicht mehr im Fokus steht (vgl. Schlichting 2010, S. 139). Ein entscheidender Vorteil von Freihandexperimenten gegenüber Schulexperimenten ist, dass durch die Verwendung von alltäglichem Material das Phänomen selbst im Mittelpunkt steht und die Schüler motiviert werden, Überlegungen anzustellen, warum es dazu kommt. Bei Experimenten, die spezielle Geräte benötigen, wird oftmals die Erklärung dafür auf die spezielle Apparatur zurückgeführt (vgl. Schlichting 2010, S. 139).

Teil 2: Entwicklung des Schülerlabors

Der zweite Teil soll sich mit der Entwicklung des Schülerlabors beschäftigen. Dabei erfolgt im Vorfeld zunächst die Sachanalyse, anschließend daran methodisch-didaktische Überlegungen zum Schülerlabor sowie die Entwicklung des Forscherhefts und der angestrebte Kompetenzerwerb mitsamt fachlichen Lernzielen.

5 Sachanalyse

Bevor ein Schülerlabor erstellt werden kann, sollte man sich mit den dem Schülerlabor zugrundeliegenden physikalischen Grundlagen und den damit zusammenhängenden Schülervorstellungen befassen. Dieses Kapitel bildet die theoretische Grundlage, auf der das Schülerlabor erstellt wurde. Die physikalischen Grundlagen zum Sehvorgang und zum Spiegel werden erläutert und dienen als Basis, um im späteren Verlauf der Arbeit zu entscheiden, welche Aspekte des Spiegels im Schülerlabor behandelt werden sollen.

5.1 Physikalische Grundlagen

In diesem Kapitel gehe ich zunächst auf den Sehvorgang und die Lichtwege ein, was zur Reflexion und somit zu den Grundlagen des Spiegels führt.

5.1.1 Der Sehvorgang

Um sehen zu können, muss Licht in unsere Augen fallen, da wir Licht nicht wahrnehmen können, wenn es nicht in unser Auge gelangt.
Selbstleuchtende Körper und Lichtquellen sehen wir, wenn ihr Licht oder ein Teil ihres Lichtes in unser Auge fällt. Wenn Licht auf nicht selbst leuchtende Körper fällt, wird von dort das Licht in verschiedene Richtungen gestreut. Wenn ein Teil dieses Lichtes auf diesem Weg in unser Auge gelangt, können wir den Körper sehen (vgl. Boysen et al. 1991, S. 11).
Ein Gegenstand wird also dann sichtbar, wenn das Licht, das von ihm ausgeht, oder Licht, dass durch ihn gestreut wird, in unser Auge fällt.

5.1.2 Licht an Grenzflächen: Streuung und Reflexion

Weiße Flächen oder Gegenstände streuen das meiste auftreffende Licht zurück, wohingegen dunkle Gegenstände das meiste Licht absorbieren und nur ein kleiner Teil gestreut wird. Lichtdurchlässige, „durchsichtige“ Körper wie Glas oder Flüssigkeiten ermöglichen es, Licht fast ungehindert hindurchzulassen (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 55). Milchglas zum Beispiel wird als durchscheinend angesehen. Das Licht kann durch es hindurchscheinen und wird dabei in alle Richtungen gestreut (vgl. Boysen et al. 1991, S. 11).

Bei manchen Oberflächen wird Licht, das aus einer Richtung auftrifft; wieder in eine bestimmte Richtung gestrahlt. Man spricht hierbei von Reflexion (vgl. Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013; o. S.). Bei der Reflexion unterscheidet man zwischen gerichteter und ungerichteter Reflexion. Unter einer *ungerichteten Reflexion* versteht man das Streuen des Lichts in alle Richtungen (siehe Abb. 4). Ein Gegenstand, der Licht ungerichtet reflektiert, kann aus allen Richtungen gesehen werden (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 16). Die *gerichtete Reflexion* findet zum Beispiel bei Spiegeln oder sehr glatten Oberflächen, wie Glas, Metall oder Wasser statt (vgl. Boysen et al. 1991, S. 25). Hier wird das Licht in einem bestimmten Winkel in eine bestimmte Richtung umgelenkt (siehe Abb. 4). Das Lichtbündel wird dabei vollständig reflektiert (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 16). Wenn also ein Spiegel von einer Lichtquelle angestrahlt wird, erscheint die Spiegelfläche für den Betrachter hell, wenn das reflektierte Lichtbündel in seine Augen fällt. Wenn man jedoch von allen anderen Richtungen auf die Spiegelfläche schaut, bleibt diese dunkel, da das Licht nicht direkt in das Auge des Betrachters reflektiert wird (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 16).

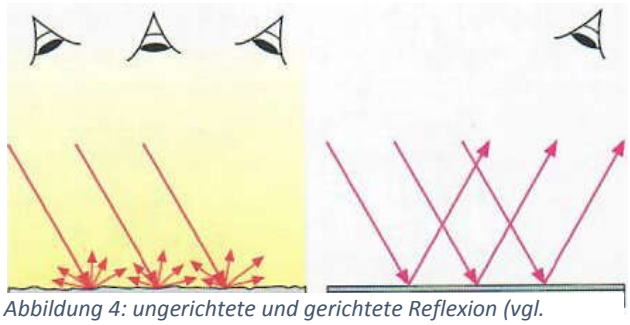


Abbildung 4: ungerichtete und gerichtete Reflexion (vgl. Bredthauer et al. 2009, S.16)

Wie oben bereits erwähnt, findet bei Spiegeln eine gerichtete Reflexion statt. Diese erfolgt stets nach dem Reflexionsgesetz.

5.1.3 Reflexionsgesetz

Trifft ein Lichtbündel auf einen ebenen Spiegel, wird es reflektiert. Als den Einfallswinkel α bezeichnet man den Winkel zwischen einfallendem Lichtbündel und dem Lot zur Spiegelfläche. Der Reflexionswinkel α‘ ist der Winkel zwischen dem reflektierten Strahl und dem Lot (vgl. Kühlke 2011, S. 13).

Es gilt Folgendes (vgl. Kühlke 2011, S. 13):

- Einfallendes und reflektiertes Lichtbündel sowie das Lot zum Spiegel befinden sich in einer Ebene. Diese steht senkrecht auf der Spiegelfläche. Das Lot befindet sich an dem Punkt, an dem das Lichtbündel auf den Spiegel trifft.
- Einfalls- und Reflexionswinkel sind gleich groß, α=α‘ (siehe Abb. 5).
- Der Lichtweg ist bei der Reflexion umkehrbar. Fällt Licht aus der Richtung des reflektierten Strahls auf den Spiegel, wird der Reflexionswinkel zum Einfallswinkel und der Einfalls- zum Reflexionswinkel (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 17).

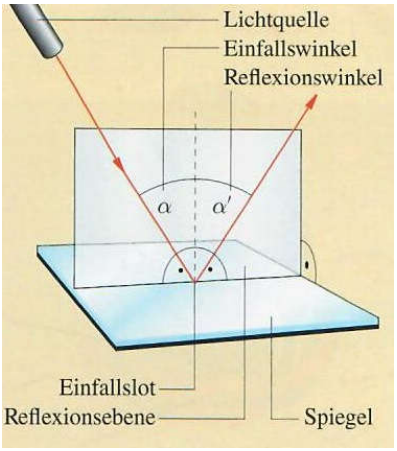


Abbildung 5: Reflexionsgesetz (vgl. Backhaus et al. 2011, S.57)

5.1.4 Eigenschaften von Spiegelbildern am ebenen Spiegel

Das Spiegelbild liegt hinter dem Spiegel, von wo jedoch bei einem lichtundurchlässigen Spiegel kein Licht in unser Auge fallen kann. Spiegelbilder sind demnach *virtuelle Bilder*, das heißt Bilder, die gesehen werden, jedoch nicht auf einen Schirm aufgefangen werden können (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 124).
Das Spiegelbild liegt im gleichen Abstand hinter dem Spiegel, wie der Gegenstand vor dem Spiegel steht. Es hat außerdem dieselbe Größe wie das Original vor dem Spiegel. Gegenstand und Spiegelbild liegen auf einer Geraden, die senkrecht zum Spiegel steht (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 124).
Der Spiegel vertauscht nicht rechts und links: Die rechte Seite des Gegenstandes vor dem Spiegel befindet sich auch beim Spiegelbild auf der rechten Seite. Oben und unten werden vom Spiegel ebenfalls nicht vertauscht. Der Spiegel vertauscht aber vorne und hinten, also die Richtung senkrecht zum Spiegel. Die Vorderseite des Gegenstandes befindet sich beim Spiegelbild hinten (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 124).

5.1.5 Die Entstehung von Spiegelbildern

Das Licht eines Gegenstandes wird an einer spiegelnden Fläche nach dem Reflexionsgesetz reflektiert und fällt so in unser Auge. Unser Gehirn ist der Annahme, dass sich Licht stets geradlinig ausbreitet, weshalb wir Gegenstände in der Richtung sehen, aus der das reflektierte Licht kommt. Sehen wir also ein Spiegelbild, nehmen wir dieses so wahr, als ob das Licht von einem Gegenstand ausgeht, der sich hinter dem Spiegel befindet. Uns wird nicht bewusst, dass sich die Richtung des Lichtbündels ändert, weshalb wir das Bild hinter dem Spiegel in der Richtung sehen, aus der das reflektierte Lichtbündel in unser Auge trifft (vgl. Boysen et al. 1991, S. 25). Der Gegenstand und sein Spiegelbild liegen auf einer Geraden, die senkrecht auf dem Spiegel steht (vgl. Diehl et al. 2008, S. 266). Verlängert man die Randstrahlen des reflektierten Lichtbündels, erhält man in deren Schnittpunkt die Punkte hinter der Spiegelfläche, von denen das Licht herzukommen scheint (siehe Abb. 6) (vgl. Boysen et al. 1991, S. 25). Das Spiegelbild erscheint immer an der gleichen Stelle, egal, von welchem Punkt aus man es betrachtet (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 18).

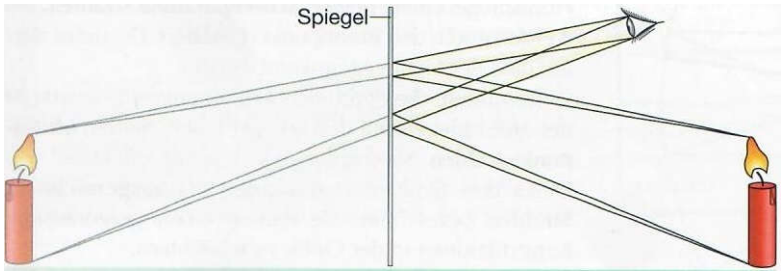


Abbildung 6: Der Strahlenverlauf beim Spiegel (Cieplik 2010, S. 37)

5.1.6 Spezielle Spiegel

Winkelspiegel

Als Winkelspiegel bezeichnet man zwei sich an den Kanten berührende Spiegel. Abhängig von dem Winkel, in dem sie zueinander stehen, entstehen unterschiedlich viele Spiegelbilder, die in einem Kreis angeordnet sind (vgl. Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.). Verändert man den Winkel, in dem die beiden Spiegel zueinander stehen, verändert sich die Anzahl der Spiegelbilder des Gegenstandes zwischen den Spiegeln. Je kleiner der Winkel zwischen den Spiegeln, desto mehr Spiegelbilder entstehen. Je größer der Winkel wird, desto mehr verringert sich die Anzahl der Spiegelbilder. Wenn x der Winkel zwischen den Spiegeln und n die Anzahl der Spiegel ist, dann gilt n=360/x-1 (vgl. Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.).

Eine Besonderheit entsteht, wenn der Winkel zwischen den beiden Spiegelflächen 90° misst, also die zwei Spiegel senkrecht zueinander stehen. Trifft ein Lichtbündel auf einen der Spiegel, kann er auch vom zweiten reflektiert werden. Das Licht wird parallel reflektiert (siehe Abb. 7), wenn es in einer Ebene senkrecht zu den Spiegeln verläuft (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 17). Bei einem Winkel von 90° entsteht ein seitenverkehrtes virtuelles Spiegelbild. Was vor dem Spiegel rechts ist, sieht man im Spiegel auf der linken Seite (vgl. Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.).

Tripelspiegel

Tripelspiegel bestehen aus drei Spiegeln, die senkrecht zueinander angeordnet sind. Bei diesem Spiegel wird Licht aus jeder Richtung parallel zurückgestrahlt (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 17). Das Spiegelbild erscheint kopfüber und vertauscht links und rechts. Das heißt, wenn man sich vor dem Tripelspiegel in eine Richtung bewegt, bewegt sich das Spiegelbild in die entgegengesetzte Richtung (vgl. Boysen et al. 1991, S. 27). Ein auf den Spiegel treffendes Lichtbündel wird drei Mal reflektiert und nach der dritten Reflexion in dieselbe Richtung zurückgelenkt, aus der es kam (siehe Abb. 8). Verwendet werden diese Spiegel beispielsweise in Rückstrahlern bei Fahrzeugen oder bei Reflektoren. Da sie Licht in dieselbe Richtung zurückwerfen, aus der es kam, sind sie deshalb aus dieser Richtung gut zu sehen (vgl. Boysen et al. 1991, S. 27).

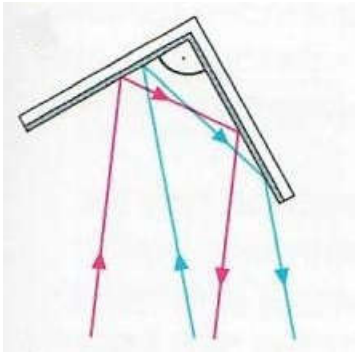


Abbildung 7: Strahlenverlauf beim Winkelspiegel (Bredthauer et al. 2009, S.17)

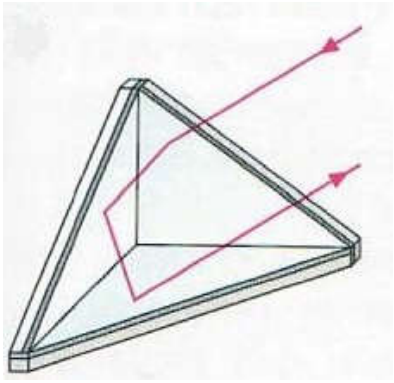


Abbildung 8: Strahlenverlauf beim Tripelspiegel (Bredthauer et al. 2009, S.17)

Gekrümmte Spiegel

An gekrümmten Flächen erscheint das Spiegelbild anders als bei einem Ebenen Spiegel, wodurch besondere Phänomene zu beobachten sind. Die Bildentstehung erfolgt bei diesen Spiegeln anders als bei den zuvor beschriebenen ebenen Spiegeln (siehe Kapitel 5.1.4). Trotz dessen trifft auch an gekrümmten Flächen das Reflexionsgesetz zu. Durch die Krümmung hat das Einfallslot auf jedem Flächenstück eine andere Richtung (vgl. Boysen et al. 1991, S. 28). Das Einfallslot wird wie folgt beschrieben: Trifft ein Lichtstrahl auf die gekrümmte Fläche, wird gedanklich im Auftreffpunkt eine Tangentialebene gebildet. Die Normale zu der Tangentialebene ist dann das Einfallslot (vgl. Engelhardt et al. 2005, S. 8).

Bei einem einfallenden Lichtbündel sind durch die unterschiedlichen Richtungen der zwei Einfallslote auch die Einfallswinkel unterschiedlich (vgl. Boysen et al. 1991, S.

28). Trifft ein Lichtbündel mit parallelen Strahlen auf einen gekrümmten Spiegel, werden die Strahlen durch die Krümmung so reflektiert, dass sie nach der Reflexion nicht mehr parallel verlaufen (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 20). Je nach Krümmung der Spiegeloberfläche unterscheidet man zwischen Hohl- und Wölbspiegel, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird.

Der Hohlspiegel

Bei Hohlspiegeln (Konkavspiegel) ist die Spiegeloberfläche nach innen gewölbt: die Mitte liegt also tiefer als der Rand der spiegelnden Fläche (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 20).

Fallen parallele Lichtstrahlen auf einen Hohlspiegel, treffen sich die reflektierten Strahlen im Brennpunkt F (in dieser Erklärung, wird von einem Parabolspiegel und keinem sphärischen Hohlspiegel ausgegangen, da sich nur bei Parabolspiegeln alle reflektieren Strahlen in einem Punkt treffen).

Der Hohlspiegel hat die Besonderheit, dass sowohl virtuelle als auch reelle Bilder entstehen können. Ob ein reelles oder ein virtuelles Bild entsteht, hängt von der Brennweite f (Abstand zwischen Spiegel und Brennpunkt) und der Gegenstandsweite g ab (vgl. Engelhardt et al. 2005, S. 8).

Steht der Gegenstand in größerem Abstand zum Spiegel als die Brennweite des Spiegels (g>f), sieht man ein reelles, also vor dem Spiegel liegendes, auf dem Kopf stehendes Bild, wie in Abb. 9 zu sehen ist (vgl. Berthold et al. 2012, S. 787; Engelhardt et al. 2005, S. 8).

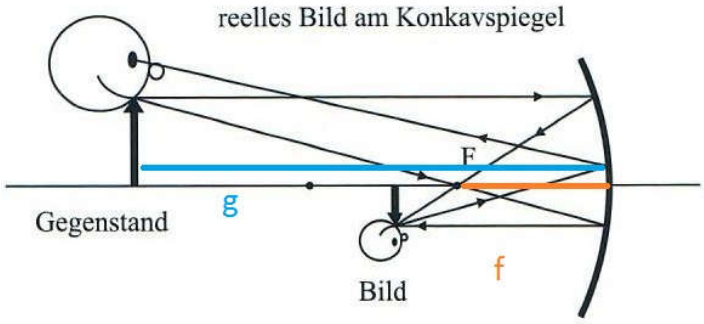


Abbildung 9: reelles Bild am Hohlspiegel (Berthold et al. 2012, S. 787)

Ist der Abstand des Gegenstandes zum Spiegel kleiner als die Brennweite (g<f), erscheint ein vergrößertes, aufrecht stehendes virtuelles Bild, das hinter dem Spiegel liegt (siehe Abb. 10) (vgl. Engelhardt et al. 2005, S.8). Je näher der Gegenstand am Brennpunkt ist, desto größer wird das Bild (vgl. Berthold et al. 2012, S.788).

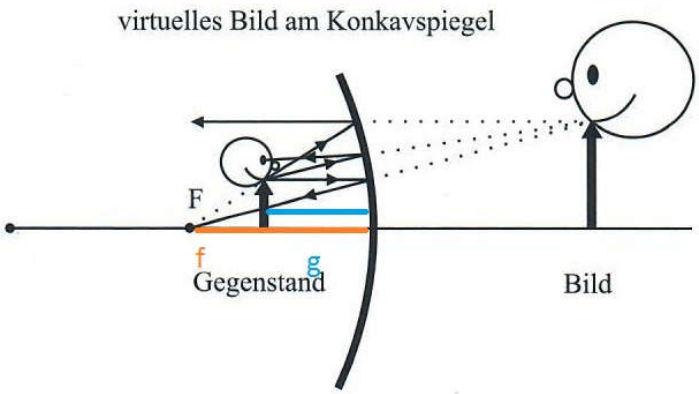


Abbildung 10: virtuelles Bild am Hohlspiegel (Berthold et al. 2012, S. 788)

Der Wölbspiegel

Bei Wölbspiegeln (Konvexspiegeln) ist die Spiegeloberfläche nach außen gewölbt: die Mitte der Spiegeloberfläche liegt also höher als der Rand (vgl. Bredthauer et al. 2009, S. 20). Das Spiegelbild erscheint bei Konvexspiegeln ein verkleinertes, aufrecht stehendes virtuelles Bild, wie Abb. 11 zeigt (vgl. Berthold et al. 2012, S. 787).

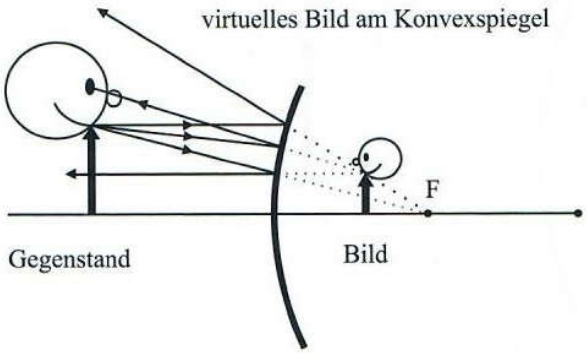


Abbildung 11: virtuelles Bild am Wölbspiegel (Berthold et al. 2012, S. 787)

5.2 Schülervorstellungen

Kinder haben schon in jungen Jahren „*in vielfältigen Alltagserfahrungen tief verankerte Vorstellungen zu den Phänomenen, Begriffen und Prinzipien, um die es im Unterricht gehen soll*“ (Duit 2011a, S. 3). Meist decken sich die Schülervorstellungen nicht mit den naturwissenschaftlichen Gegebenheiten, sie sind oft sogar gegensätzlich, wodurch Probleme beim Lernen entstehen können (vgl. Duit 2011a, S. 3).

Vorstellungen, die die Schüler in den Unterricht mitbringen, sind wichtig für ihren Lernprozess, sie üben einen Einfluss sowohl auf die Beobachtungen aus, die die Schüler machen, als auch auf ihr Handeln bei Experimenten und die anschließende Einschätzung und Interpretation (vgl. Duit 2011c, S. 20). Wir nehmen Informationen so wahr, dass sie zu unseren Vorstellungen passen und diese nicht verändert werden müssen (vgl. Wodzinski 2011, S. 26). Neue Informationen verknüpft unser Gehirn immer mit bekanntem Wissen und Vorstellungen. So werden auch neue Sachverhalte im Unterricht von jedem Schüler individuell interpretiert und diese Interpretation muss nicht immer mit dem übereinstimmen, was die Lehrkraft intendiert hat (vgl. Duit 2011b, S. 267).

Schülervorstellungen werden nach Wodzinski (2011, S. 26) als prozedurales, automatisiertes Wissen gesehen, was dadurch nur schwer abänderbar ist. Oftmals führen Widersprüchlichkeiten zwischen der Schülervorstellung und dem Ausgang eines Experiments nicht dazu, dass der Schüler seine Vorstellung als falsch ansieht und angleicht. Vielmehr tendieren Schüler dazu, ihre Vorstellung weiterhin als korrekt anzusehen und die Gegenbeweise, die durch Experimente gezeigt wurden, auf andere Umstände zurückzuführen (vgl. Duit 2011c, S. 21). Ein einzelnes Experiment überzeugt Schüler in den wenigsten Fällen davon, dass ihre Vorstellungen nicht korrekt sind. Vorstellungen werden nur ungern aufgegeben, egal, wie überzeugend und widersprüchlich zu den Schülervorstellungen die Experimente sind (vgl. Duit 2011c, S. 21).

5.2.1 Schülervorstellungen zum Sehvorgang

Am häufigsten vertreten Schüler die Annahme, dass Licht Objekte erhellt und diese somit zu sehen sind (vgl. Guesne 1984, S. 90; Claus, Stork, Wiesner 1982, S. 83; nach Wiesner 2011a, S. 156). Eine Verbindung vom Gegenstand zum Auge wird oftmals

als unnötig angesehen. Sie sind meist der Auffassung, dass nicht selbstleuchtende Gegenstände kein Licht abstrahlen und somit von ihnen auch kein Licht ins Auge des Betrachters fallen kann (sowohl vor als auch nach dem Optikunterricht) (vgl. Wiesner 2011b, S. 80f.). Damit einher geht in ihrer Argumentation, dass auch kein Licht vom Spiegel aus der Richtung des Spiegelbildes ins Auge fällt, um es wahrzunehmen und sehen zu können. Ein Unterschied wird jedoch gemacht, wenn Gegenstände selbst leuchten. So können die Schüler in etwa sogar unter Beachtung des Reflexionsgesetzes den Lichtweg konstruieren (vgl. Wiesner 2011b, S. 81).
Auch nachdem das Thema Optik in der Schule behandelt wurde, haben die meisten Schüler jedoch trotzdem noch keine konkrete physikalische Vorstellung, wie der Sehvorgang vonstatten geht (vgl. Hoffmann, Wiesner 1982, S. 311; nach Wiesner 2011a, S. 156).

5.2.2 Schülervorstellungen zum Spiegel

In Bezug auf Spiegel wissen die Schüler, dass ein Spiegel Spiegelbilder erzeugt und Licht zurückwirft, da sie in Alltagserfahrungen bereits wahrgenommen haben, dass ein Spiegel blenden kann (vgl. Heran-Dörr & Wiesner 2010, S. 118). Bei nicht selbst leuchtenden Gegenständen erkennen sie die Beziehung zwischen dem Spiegelbild und Licht jedoch nicht an. Es wird keine Beziehung zwischen Zurückwerfen des Lichts und des Spiegelbildes gesehen, obwohl der Spiegel das Spiegelbild zurückwirft. (vgl. Blumör 1993, S. 102). Das kommt daher, dass sie sich, wie bereits oben erwähnt, mit der Vorstellung schwer tun, dass Gegenstände Licht, das auf sie trifft, wieder abstrahlen. So auch, dass das Licht, das auf einen Gegenstand trifft, von ihm abgestrahlt wird und auf den Spiegel trifft, der es in unser Auge reflektiert (vgl. Heran-Dörr & Wiesner 2010, S. 118). Die Schüler sind außerdem der Auffassung, dass der Spiegel das Spiegelbild, also das, was er „sieht“, zum Betrachter zurückwirft. Auf diese Weise wird oft auch begründet, dass ein Taschenspiegel weiter vom Gesicht weggehalten werden muss, um mehr vom Gesicht zu sehen (vgl. Wiesner 2011b, S. 80).

Weit verbreitet ist die Vorstellung, dass der Spiegel links und rechts vertauscht. Diese Formulierung wird häufig im Alltag gebraucht, was eine Erklärung für diesen Irrglauben sein könnte (vgl. Blumör 1993, S. 97). Eine weitere Erklärung hierfür könnte sein, dass die Schüler sich gedanklich in das eigene Spiegelbild hineinversetzen

(vgl. Blumör 1993, S. 97; Wiesner 2011a, S. 158). Aber auch die Vorstellung einer Seitenvertauschung, wie zum Beispiel beim Händeschütteln, ist denkbar (vgl. Blumör 1993, S. 97f.).

Die meisten Schüler geben an, dass sie das Spiegelbild „im“ Spiegel sehen (vgl. Wiesner 2011b, S. 81). Dies kann auch auf eine gängige Alltagsformulierung zurückgeführt werden (vgl. Heran-Dörr & Wiesner 2010, S. 118f.). Weiterhin geben Schüler oftmals an, dass das Spiegelbild auf der Oberfläche des Spiegels liege (vgl. Wiesner 2011a, S. 156).
Sowohl Primar- als auch Sekundarstufenschüler tun sich schwer zu begreifen, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt (vgl. Wiesner 2011a, S. 157f.). Als Erklärung nennen sie, dass ein Spiegel undurchsichtig sei, dass hinter dem Spiegel kein Platz sei, wenn er beispielweise an einer Wand hängt und das Spiegelbild dann theoretisch in der Wand sein müsste (vgl. Heran-Dörr & Wiesner 2010, S. 119). Sie unterscheiden jedoch die Aussagen „man sieht das Spiegelbild“ und „das Spiegelbild ist“ hinter dem Spiegel (vgl. Wiesner 2011b, S. 81). Die Aussage „man sieht es hinter dem Spiegel“ wird eher akzeptiert als die Aussage, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel sei. Die erste Formulierung lässt den Gedanken zu, dass man es zwar hinter dem Spiegel sieht, es in Wirklichkeit jedoch im Spiegel ist (vgl. Wiesner 2011b, S. 81).

5.2.3 Konsequenzen für den Unterricht

Wenn die Lehrkraft die Vorstellungen der Schüler kennt, kann sie Schüleräußerungen besser nachvollziehen, einordnen und darauf reagieren. Weiterhin können methodische Alternativen sinnvoller eingesetzt werden, da die Lehrkraft besser an die Vorstellungen der Schüler anknüpfen kann (vgl. Wiesner 2011b, S. 80).

Duit (2003, S. 13f.) benennt drei verschiedene Wege, wie die Lehrkraft im Unterricht auf die Schülervorstellungen eingehen kann:

1. Anknüpfen

Als Ausgangspunkt des Unterrichts werden Schülervorstellungen genommen, die möglichst viel mit den wissenschaftlichen Sichtweisen gemein haben und ihnen im besten Fall nicht widersprechen. So sollen die Schüler langsam, ausgehend von ihren eigenen Vorstellungen, zu einer wissenschaftlichen Sichtweise geführt werden (vgl. Duit 2003, S. 13).

2. Umdeuten

Wie bei der Methode des Anknüpfens soll auch beim Umdeuten ein kontinuierlicher Lernweg stattfinden. Indem man sich Aspekte der Alltagsvorstellungen der Schüler heraussucht und verdeutlicht, dass es in den Grundzügen nicht falsch ist, können die vorunterrichtlichen Vorstellungen durch Erklärungen erweitert, ergänzt oder abgeändert werden (vgl. Duit 2003, S. 13).

3. Konfrontieren

Bei dieser Methode sollen die Schüler in einen kognitiven Konflikt geraten, indem man Schülervorstellung und physikalische Sichtweise gegenüberstellt und so deutlich macht, dass die Schülervorstellung unzureichend oder falsch ist. Eine zweite Möglichkeit, einen solchen kognitiven Konflikt zu erzeugen, ist, die auf Grundlage der Schülervorstellung formulierte Vermutung bezüglich eines Experiments und den Ausgang bzw. das Ergebnis dieses Experiments gegenüberzustellen (vgl. Duit 2003, S.13f.). Bei der Methode des Konfrontierens handelt es sich, anders als bei den ersten beiden vorgestellten Methoden, um einen diskontinuierlichen Lernweg.

Bei der Entscheidung, welche der drei Wege der angemessenste für den Unterricht ist, sollte beachtet werden, welche Schwierigkeiten und Nachteile das Erzeugen eines kognitiven Konflikts mit sich bringen kann. Ein Aspekt ist, dass die Schüler diesen auch als solchen wahrnehmen, wie es von der Lehrkraft beabsichtigt wurde (vgl. Duit 2003, S. 14). Wiesner (1995; nach Duit 2003, S. 14) merkt außerdem an, dass viele Experimente nicht genug verdeutlichen, welchen Unterschied Schülervorstellungen im Gegensatz zu physikalischen Sichtweisen haben. Des Weiteren ist es zeitaufwendig, auf alle Vorstellungen der Schüler einzugehen, da es durch hartnäckiges Argumentieren seitens der Schüler oftmals nur zu einem Ende kommen kann, wenn die Lehrkraft die Diskussion durch ihr Expertenwissen beendet (vgl. Duit 2003, S. 14). Ein reibungsloserer Weg ist es daher, Schülervorstellungen nicht explizit zu thematisieren und nicht in Kontrast zu physikalischen Vorstellungen zu stellen, sondern den Schülern mithilfe passender Experimente und Argumentationen einen kontinuierlichen Lernweg zu ermöglichen (vgl. Kircher et al. 2001, S. 53f.; nach Duit 2003, S. 14).

Bezogen auf die Ziele des Unterrichts ergeben sich zwei Positionen. Mandl (1993; nach Wodzinski 2011, S. 32) beispielsweise sieht das Ziel darin, die Alltagsvorstellungen der Schüler zu löschen und diese durch physikalische Sichtweisen zu ersetzen. Im Gegensatz dazu stehen Positionen, die die Ansicht vertreten, dass sich alltägliche und physikalische Vorstellung nicht gegenseitig ausschließen müssen. Solomon (1983; nach Wodzinski 2011, S. 32) argumentiert, dass es vielmehr gewinnbringend sei, Schülern dazu zu verhelfen, ein Verständnis beider Arten der Vorstellungen (die alltägliche und die physikalische) zu erreichen, sie zu verstehen, sie zu unterscheiden, mit ihnen argumentieren und in unterschiedlichen Kontexten mit beiden umgehen zu können. Auch Jung (1981; nach Wodzinski 2011, S. 32f.) merkt an, dass ein Grundstein darin liegen kann, Situationen mit einer physikalischen Sicht zu sehen, ohne dass eventuell bereits bestehende Konzepte vollkommen ersetzt werden müssen. Duit (2011b, S. 268) vertritt ebenfalls die Ansicht, dass das Aufgeben der Schülervorstellungen nicht notwendig und auch nicht vollständig möglich ist. Ziel sollte es also sein, die Schüler nach und nach an physikalische Sichtweisen heranzuführen und ihnen die Vorzüge physikalischer Vorstellungen in bestimmten Situationen näherzubringen (vgl. Duit 2011b, S. 268). Deshalb solle nicht das Ziel sein, die Schülervorstellungen komplett auszulöschen, sondern sie vielmehr in Relation zu physikalischen Vorstellungen zu setzen (vgl. Jung 2011, S. 19).

Ein Ansatzpunkt nach Jung (2011, S. 18f.) sollte darin bestehen, gemeinsam mit den Schülern ihre Alltagsvorstellungen in Bezug zu physikalischem Wissen zu setzen und zu diskutieren. Weiterhin sollte dies dauerhaft geschehen, da sich neu gewonnene Einsichten nicht ein für alle Mal festsetzen, sondern mit der Zeit vergessen werden und die Schüler wieder auf ihre ursprünglichen Alltagsvorstellungen zurückgreifen (vgl. Jung 2011, S. 19). Wichtig ist, dass Schüler Zeit haben, selbst aktiv zu werden und sich mit optischen Phänomenen durch eigenes Handeln zu beschäftigen und zu versuchen, Erklärungen für diese zu finden (vgl. Meier 1989; nach Blumör 1993, S. 124).

6 Didaktische und methodische Überlegungen

Nachdem allgemeine Grundlagen zu Schülerlaboren sowie physikalische Grundlagen zum Spiegel erläutert und auf die Schülervorstellungen eingegangen wurden, sollen in diesem Kapitel nun didaktische und methodische Überlegungen zur Entwicklung des Schülerlabors zum Spiegel dargestellt werden. Diese Überlegungen sollen das Fundament bilden, auf dem das Schülerlabor und das Forscherheft entwickelt und erstellt werden. Dabei geht es sowohl um den Bezug des Spiegels zur Lebenswelt der Kinder und um eventuell benötigte Lernvoraussetzungen als auch um die Auswahl der Aspekte, die im Schülerlabor behandelt werden sollen. Weiterhin werden Ablauf und Organisation des Schülerlabortages erläutert sowie auf verschiedene Methoden eingegangen, die für dieses Schülerlabor zentral sind. Abschließend wird auf die Auswahl der Sozialformen, auf Möglichkeiten der Differenzierung und auf die Überprüfbarkeit des Lernprozesses eingegangen.

6.1 Bezug zur Lebenswelt der Kinder

Das Thema „Spiegel“ ist Kindern bereits durch vielerlei außerschulische Erfahrungen bekannt. Sie kennen Spiegel aus ihrem Alltag, der Spiegel ist ein Gegenstand, der ihnen überall begegnet, sei es in Wohnungen, auf der Straße oder in Geschäften. Zudem kennen Kinder Spiegel auch aus Märchen oder Filmen, wo sie oftmals als Gegenstände mit besonderen und magischen Eigenschaften dargestellt werden. Durch die allgegenwärtige Präsenz von Spiegeln kann ihr Interesse geweckt werden, sich zum einen auch in alltäglichen Situationen mit den Phänomenen des Spiegels auseinanderzusetzen, zum anderen kann der Spiegel als ein spannender Gegenstand kennengelernt werden, da neue Phänomene entdeckt werden können. Durch die Beschäftigung mit diesem Thema können die Schüler dafür sensibilisiert werden, Phänomene im Alltag bewusst wahrzunehmen und sie genau zu beobachten. Außerdem können sie angeregt werden, ihre eigenen Alltagsvorstellungen zu hinterfragen und diese im Idealfall mit physikalischen Vorstellungen zu verknüpfen.

Zum Thema Spiegel können bereits in der Grundschule Grundlagen geschaffen werden, die für den Unterricht in den weiterführenden Schulen von Vorteil sein können. Schüler haben von sich aus ein großes Interesse an Phänomenen der Naturwissenschaften (vgl. Köster 2006, S. 43). Durch das Ausprobieren und

Experimentieren mit dem Spiegel können sie schon früh an das naturwissenschaftliche Arbeiten herangeführt und mit ihm vertraut gemacht werden. Dies kann im Unterricht genutzt werden, um durch die Möglichkeit der eigenständigen Erarbeitung Motivation und Interesse gegenüber naturwissenschaftlichen Themen zu stärken.

6.2 Lernvoraussetzungen

Das Schülerlabor ist für die dritten und vierten Jahrgangsstufen von Grundschulen geeignet. Die Schüler sollten bereits in der Lage sein, weitgehend selbstständig zu lesen, Gedanken und Vermutungen zu verbalisieren und angemessen mit anderen Schülern zusammenzuarbeiten. Durch die oftmals nicht gänzlich ausgereiften Lese- und Schreibkompetenzen der Schüler der ersten und zweiten Jahrgangsstufe sowie die oftmals noch notwendige Anleitung beim Arbeiten ist das Schülerlabor für diese Altersgruppen nicht ideal.
Geplant wurde das Schülerlabor so, dass fachlich keine speziellen Vorkenntnisse vorhanden sein müssen. Die Experimente sind so gewählt, dass sie von den Schülern selbstständig durchgeführt und Erklärungen für die erfahrenen Phänomene erarbeitet werden können. Voraussetzungen sind lediglich, dass die Schüler weitestgehend sicher im Lesen und Schreiben sind. Da das Experimentieren an Stationen stattfinden soll, wäre es wünschenswert, wenn die Schüler im Unterricht bereits Erfahrungen mit dem selbstständigen Arbeiten an Stationen gesammelt haben, was einen ruhigeren und geregelteren Ablauf der Experimentierphase zur Folge hätte. Gleiches gilt für das gemeinsame Arbeiten mit einem Partner. Nicht zwingend erforderlich ist es, dass die Schüler bereits selbst experimentiert haben. Jeder Schüler bekommt ein Forscherheft, welches mit Symbolen, Bildern und genauen Aufgabenstellungen versehen wurde, die den Schülern das Durchführen der Experimente und das Finden von Erklärungen erleichtern sollen.

6.3 Didaktische Reduktion des Themas

Das Thema Spiegel eignet sich, um unter verschiedenen Aspekten in unterschiedlichen Klassenstufen behandelt zu werden. Auch in der Grundschule eignet sich der Spiegel gut, um den Schülern zu ermöglichen, eigenständig und spielerisch experimentierend Phänomene wahrzunehmen, zu beobachten und daraus Erkenntnisse abzuleiten.

Das Thema Spiegel lässt sich in zwei Themenbereiche gliedern: zum einen das Spiegelbild und zum anderen die Reflexion. Für die Erstellung eines Schülerlabors für die dritte bis vierte Jahrgangsstufe habe ich beschlossen, die Experimente so zu wählen, dass sie sich nur auf das Spiegelbild und die daran beobachtbaren Phänomene beziehen.

Zentrales Merkmal des Schülerlabors ist es, dass die Schüler selbst aktiv werden, eigenständig experimentieren und dadurch zu Erkenntnissen gelangen. Ich habe bei der Erstellung des Schülerlabors darauf geachtet, einfach durchführbare Versuche auszuwählen, die zum größten Teil zu Hause oder im Unterricht wiederholbar sind. Besonderen Wert bei der Auswahl der Versuche wurde auf das eigenständige Erarbeiten der Erkenntnisse mittels detaillierten Fragen im Forscherheft gelegt.

Bei Station 1 und 2 sollen die Schüler selbstständig herausfinden, dass der Spiegel nicht rechts und links, nicht oben und unten, sondern vorne und hinten vertauscht. Hierfür gibt es im Schülerlabor eine Vielzahl an kleineren Versuchen, mithilfe derer die Schüler dies durch genaue Beobachtungen herausfinden können. Durch gezielte Fragen im Forscherheft können die Schüler in ihren Beobachtungen und in ihrem Erkenntnisprozess gelenkt werden und so die richtigen Antworten finden.

Ein zweiter Aspekt, der im Schülerlabor untersucht werden soll, ist die Bestimmung des Orts des Spiegelbildes, womit sich Station 3 befasst. Es wurden Versuche aufgenommen, in denen die Schüler feststellen können, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt.

Bei Station 4 sollen die Schüler mit Spiegelschrift experimentieren. Dabei geht es sowohl um das Lesen von Spiegelschrift als auch um den Versuch, selbst etwas in Spiegelschrift zu verfassen. Hier soll im Idealfall ein Bezug dazu hergestellt werden, dass das Schreiben kompliziert ist, da der Spiegel vorne und hinten vertauscht und man somit Acht geben muss, wenn man einen Strich zur Spiegeloberfläche hin- oder von dort weg zeichnen will. Diese Thematik soll außerdem auf den Alltag bezogen werden und einen Bezug zur Lebenswelt der Kinder herstellen, indem die Schüler Erklärungen finden sollen, warum Aufschriften auf manchen Autos in Spiegelschrift verfasst wurden.

Die Schüler haben bei Station 5 die Möglichkeit, sich mit den Eigenschaften spezieller Spiegel, wie dem Hohl-, Wölb-, Winkel- und Parallelspiegel zu befassen. So können sie sowohl einiges über Verzerrungen lernen als auch über die besondere Anordnung

der Spiegelflächen bei Winkel- und Parallelspiegeln und die damit zusammenhängende veränderbare Zahl der Spiegelbilder und Mehrfachspiegelungen.

Ich habe mich außerdem entschlossen, bei Station 6 das Experimentieren mit einem halbdurchlässigen Spiegel in das Schülerlabor aufzunehmen, da die Schüler so die Möglichkeit haben, einmal hautnah die Besonderheiten dieses Spiegels zu erleben. Das Experimentieren mit einem halbdurchlässigen Spiegel und das Nachvollziehen der herrschenden Lichtverhältnisse ist für eine Grundschulklasse sehr komplex und würde sich vermutlich eher für höhere Jahrgangsstufen eignen. Dass die zu beobachtenden Phänomene jedoch sehr eindrucksvoll sind und zu erwarten ist, dass diese Begeisterung bei den Schülern hervorruft, sind weitere Argumente, den halbdurchlässigen Spiegel als Station aufzunehmen. Dass die Schüler verstehen, wie exakt der Spiegel funktioniert, ist nicht vorgesehen und auch viel zu kompliziert, gleiches gilt für die Reflexionen und Brennpunktbestimmung bei Hohl- und Wölbspiegeln. Die Schüler sollen die Phänomene erleben und spielerisch herausfinden, wie und unter welchen Gegebenheiten sich die Spiegelbilder bei Hohl- und Wölbspiegeln verändern, und verstehen, dass die Lichtverhältnisse beim halbdurchlässigen Spiegel eine wichtige Rolle spielen. Sie sollen erkennen, dass die Lichtverhältnisse darüber entscheiden, ob man das Spiegelbild erkennt oder durch den Spiegel hindurchsehen kann. Um die Komplexität etwas zu reduzieren, leitet eine der Betreuungspersonen die Station und steht für Erklärungen bereit.

Da im Vorfeld schlecht abgeschätzt werden kann, wie schnell die Schüler arbeiten, habe ich mich entschieden, Zusatzmaterial zur Verfügung zu stellen. Zum einen können im Forscherheft auf den letzten zwei Seiten kleinere Aufgaben bearbeitet werden, zum anderen steht ein Symmetriespiel (siehe Anhang 8) zur Verfügung, das bei Bedarf an die Schüler herausgegeben werden kann.

Da das Schülerlabor so wenig lehrerzentriert wie möglich sein soll, wird darauf verzichtet, Schülervorstellungen explizit in Bezug zu physikalischen Vorstellungen zu setzen. Vielmehr ist das Ziel, die Schüler an das eigenständige Experimentieren heranzuführen und sie zu ermutigen eigene Beobachtungen anzustellen und den Alltagsgegenstand Spiegel einmal aus einer anderen Sicht zu sehen. Ein Experiment alleine kann Schüler oftmals nicht davon überzeugen, dass ihre Alltagsvorstellungen nicht richtig sind. Es führt vielmehr zu Argumentationsversuchen, aus welchen

Gründen das Experiment einen anderen Ausgang hatte, als der Schüler angenommen hatte (vgl. Duit 2003, S. 9). Aus diesem Grund wurden bei den Stationen 1 und 3 mehrere Versuche zu einem Phänomen angeboten, die den gleichen Ausgang haben. Durch vielfältige Kontexte und andere Perspektiven und Aufgabenstellungen soll so die durch die Versuche gewonnene Erkenntnis vertieft werden und Erklärungen an Überzeugungskraft gewinnen. Es wird erwartet, dass durch die Wiederholungen die Schüler Erklärungen eher annehmen und Lernergebnisse besser verinnerlichen, als wenn jeweils nur ein Experiment angeboten würde.

6.4 Überlegungen zum Ablauf und zur Organisation

Zunächst bekommen die Schüler eine Einführung über das Schülerlabor, da sie sich in einer neuen, unbekannten Umgebung befinden. Im Folgenden wird der Ablauf des Schülerlabortages, die Dauer der Experimentierphasen und der Pause besprochen. Pläne mit der zeitlichen Einteilung des Tages werden im Raum ausgehängt, die der Visualisierung und Transparenz dienen, damit die Schüler jederzeit den Überblick behalten (siehe Anhang 2: Ablaufplan). Außerdem werden Regeln für das Experimentieren und den Umgang miteinander und mit den Materialien besprochen, damit eine gute und angenehme Arbeitsatmosphäre ein reibungsloses Experimentieren ermöglicht. Weiterhin wird das Forscherheft vorgestellt und erläutert, wie es aufgebaut und wie es zu handhaben ist. Dies soll den Schülern verdeutlichen, was im Schülerlabor von ihnen gefordert wird. Auf ein Einstiegsexperiment wird verzichtet, da den Schülern so viel Zeit wie möglich zur Verfügung gestellt werden soll, selbstständig zu experimentieren und ausreichend Zeit für die Stationen zu haben.
Im Anschluss an den Einstieg können die Schüler in zwei Experimentierphasen in Partnerarbeit an sechs Stationen die Phänomene des Spiegels selbstständig entdecken. Die Experimente wurden bis auf eine Ausnahme so gewählt, dass das selbstständige Arbeiten möglich ist. Nur bei einer Station (Station 6) ist es nicht möglich, die Schüler alleine experimentieren zu lassen. Hier haben sie die Möglichkeit, die Station gemeinsam mit einem Betreuer in Gruppen, bestehend aus sechs Schülern, zu bearbeiten.

Im Schülerlabor herrscht ein klarer Ordnungsrahmen: Jede Station befindet sich an einer Tischgruppe, die mit der Stationsnummer beschriftet ist (siehe Anhang 4: Stationskarten). Das Material der Stationen steht aufgebaut auf den Tischen bereit (siehe Abb. 12). Bei den Stationen, die aus mehreren Experimenten bestehen, ist die Bezeichnung der einzelnen Experimente auf den Tisch geklebt (z. B. Experiment 1A, Experiment 1B usw.). Dies hat den Vorteil, dass die Schüler sich leichter zurechtfinden können und ersichtlich ist, an welchen Platz welches Experiment durchgeführt werden kann. Die Schüler benötigen zur Bearbeitung der Stationen nichts weiter als ihr Forscherheft und etwas zu schreiben. Alles Weitere befindet sich an den Stationen selbst.

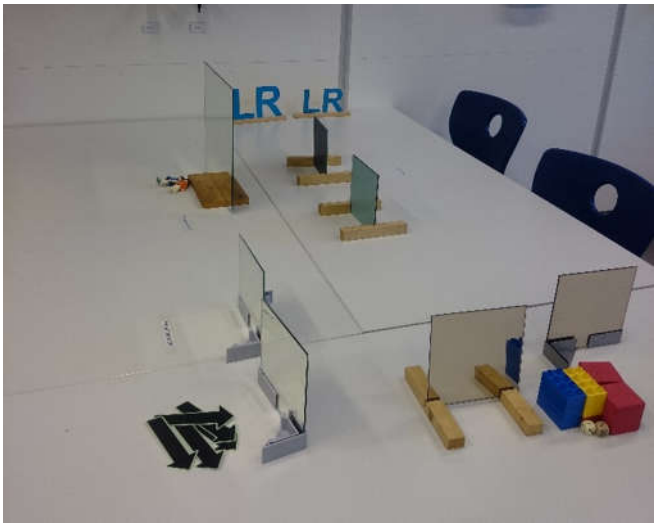


Abbildung 12: Tisch mit Material zu Station 1

Um zu vermeiden, dass sich zu viele Kinder an einer Station befinden und nicht genügend Material für jeden zur Verfügung steht, ist eine maximale Anzahl von sechs Kindern an einer Station vorgesehen. Einzige Ausnahme hierbei bildet Station 2. An dieser Station findet das Spiegelzeichnen statt und es gibt nur vier Arbeitsplätze.

Zum Abschluss des Schülerlabortages findet sich die ganze Klasse im Plenum zusammen und es erfolgt eine kurze Reflexionsrunde, in denen die Schüler die Möglichkeit haben, sich zu dem Tag im Schülerlabor zu äußern. Dabei sollen sie darauf eingehen, was ihnen gefallen hat und wo sie Verbesserungsbedarf sehen.

Einstieg und Abschlussrunde wurden bewusst so kurz wie möglich gehalten, da die Schüler nur von 9 bis 12 Uhr Zeit haben. Somit bleibt mehr Zeit zum selbstständigen Experimentieren.

6.5 Methodische Überlegungen

In den folgenden Abschnitten soll auf die Methoden eingegangen werden, die im Schülerlabor zum Spiegel Anwendung finden. Zum einen ist bedingt durch die Auswahl der zu behandelnden Aspekte das Lernen an Phänomenen ein wichtiger Punkt. Auf die Methode der Beobachtung soll ebenfalls eingegangen werden, da das genaue Beobachten ein essentieller Bestandteil der Stationen ist. Abschließend soll die Methode der Stationenarbeit dargestellt werden.

6.5.1 Lernen an Phänomenen

Wie bereits erwähnt, sollen die Schüler im Schülerlabor die Phänomene und Eigenschaften des Spiegels untersuchen.
Ein Phänomen wird durch unsere Sinne ganzheitlich wahrgenommen und wirkt auf uns. Kinder nehmen sie meist unbefangen wahr, ohne genaue Erklärungen zu kennen. Von diesem Ausgangspunkt aus können sich Fragen entwickeln und verstehendes Lernen beginnen (vgl. Bosse 2003, S. 185). Das Lernen an Phänomenen im naturwissenschaftlichen Unterricht hat Martin Wagenschein (1896-1988) geprägt. Durch Phänomene soll es möglich gemacht werden, verstehend zu lernen, da eine intensive Auseinandersetzung mit der Sache in ihrer Erscheinungsform, also dem Phänomen, als Grundlage für das Verstehen gesehen wird (vgl. Bosse 2003, S. 184). Phänomene sollen überraschen, beeindrucken und insgesamt etwas zeigen, was in dieser Form nicht erwartet wurde (vgl. Löffler 1998, S. 133; nach Bosse 2003, S. 185). Dies als Ausgangspunkt soll die Schüler dazu anregen, sich näher mit dem Phänomen zu beschäftigen, es zu erforschen und eine fragende Haltung zu entwickeln. Somit schließt das Lernen an Phänomenen an das entdeckende Lernen an (vgl. Bosse 2003, S. 185). Kinder sind von Natur aus an der Wissenschaft interessiert und wissenschaftsorientiert (vgl. Wagenschein (1937) 1997, S. 9; nach Köster & Lück 2006, S. 7). Das heißt, durch ihre natürliche Neugier und ihrem Interesse können sie selbstständig eigene Zugänge zu Phänomenen finden, indem sie explorieren und Neues erkunden und beobachten (vgl. Köster & Lück 2006, S. 9). Durch das Handeln mit Phänomenen werden die Schüler an die Physik herangeführt (vgl. Wagenschein 1980, 97; nach Bosse 2003, S. 186).

Da es in Schülerlaboren darum geht, dass Schüler eigenständig experimentieren, finden fast ausschließlich Schülerversuche statt. Nur bei Station 6 findet eine Mischform statt: Die Schüler und die Betreuungsperson führen das Experiment gemeinsam durch. Dieses Experiment kann also nicht als reiner Schülerversuch benannt werden.
Im Schülerlabor habe ich für die Versuche die Form des entdeckenden Experimentierens gewählt (siehe dazu Kapitel 4.3.2). Die Experimente sind im Forscherheft meist (bis auf Station Nr. 6) detailliert vorgegeben. Sie schließen mit Fragen ab, die darauf zielen, die Schüler zum Nachdenken und zum Schlussfolgern anzuregen. Sie sollen durch die Fragen das im Experiment Beobachtete reflektieren und so zu eigenen Erkenntnissen kommen.

6.5.2 Beobachtung

Im Schülerlabor zum Spiegel spielt die Beobachtung eine wichtige Rolle. Die Experimente zeichnen sich dadurch aus, Spiegelbilder und deren Eigenschaften bewusst zu beobachten.
Staeck (1995, S. 251; nach Reeken 2003, S. 39) definiert Beobachten als „*das Erfassen von Bewegungen, Verhaltensweisen und Reaktionen über eine bestimmte Zeit und auf bestimmte Anlässe hin*“. Das Beobachten ist ein aktiver Prozess, der sowohl Vermutungen als auch Annahmen und Interessen mit einbezieht. Es lassen sich drei wesentliche Unterschiede zum Wahrnehmen feststellen: zum einen hat die Beobachtung einen gewissen Zweck und eine Absicht, weshalb beobachtet wird, zum anderen werden bestimmte Aspekte herausgefiltert. Drittens sind die Ergebnisse auswertbar (vgl. Greve & Wentura 1997, S. 12; nach Reeken 2003, S. 39). Nicht nur im Alltag, auch in der Wissenschaft finden Beobachtungen statt.
Schon Kinder in der Vorschule können Phänomene analytisch wahrnehmen. Insofern sind auch schon Grundschüler gute Beobachter und sind fähig, aufgrund von Beobachtungen Aspekte auszuwählen, zu gliedern, zu vergleichen und zu ordnen (vgl. Reeken 2003, S. 41). Beobachtungen gehören zum Alltag der Kinder, sie ziehen Schlüsse aus dem Beobachteten und lernen daraus.
Gerade durch den Zuwachs audiovisueller Medien in der kindlichen Lebenswelt und der damit verbundenen Erhöhung visueller Reize wird die Wahrnehmung der Kinder immer oberflächlicher und ungenauer (vgl. Reeken 2003, S. 41). Aus diesem Grund

ist es sinnvoll, der Beobachtung auch in der Schule eine größere Bedeutung zuzusprechen. Die Schüler sollen sensibilisiert werden, genauer und länger zu beobachten, Phänomene gezielt wahrzunehmen und zu verstehen. Beobachtungen zielen einerseits darauf ab, neue Phänomene wahrzunehmen, andererseits soll jedoch auch bereits Wahrgenommenes erneut beobachtet werden, sodass die Schüler dies in neue Kontexte einordnen können (vgl. Reeken 2003, S. 42). Sie dienen sowohl der unmittelbaren Informationsgewinnung, die die Kinder durch die Realitätsnähe motivieren und faszinieren kann, als auch der kindlichen Welterschließung (vgl. Reeken 2003, S. 42).

Durch genaue Fragestellungen im Forscherheft werden gezielte Beobachtungen ermöglicht. Auf diese Weise werden die Schüler aufgefordert, genau und bewusst zu beobachten, sodass sie zu den erwarteten Erkenntnissen gelangen können. Gerade weil die Schüler in Partnerarbeit selbstständig arbeiten sollen, wurde darauf geachtet, kleinschrittige Beobachtungsaufgaben zu stellen, um den Kindern zu ermöglichen, zielgerichtet zu beobachten. Durch die subjektive Wahrnehmung kann vieles sehr unterschiedlich beobachtet und interpretiert werden. Beobachtungen werden durch die jeweiligen Vorstellungen des Betrachters beeinflusst, so nimmt jeder Schüler vor allem die Dinge wahr, die zu seiner Vorstellung passen. Daraus ergibt sich, dass nicht unbedingt jeder das Gleiche sieht und Beobachtungen von Schüler zu Schüler unterschiedlich ausfallen können (vgl. Duit 2011c, S. 20). Um Beobachtungsfehler möglichst gering zu halten, arbeiten die Schüler gemeinsam mit einem Partner zusammen und können sich somit austauschen und ihre Beobachtungen vergleichen, um zu einem Schluss zu gelangen.
Die Beobachtungsergebnisse sollen die Schüler direkt im Forscherheft dokumentieren. Dafür wurden unterschiedliche Dokumentationsformen gewählt: So soll dies zum Teil schriftlich, in kurzen Sätzen oder Stichpunkten und zum Teil zeichnerisch in Form von einfachen Skizzen geschehen. Weiterhin gibt es auch einige Aufgaben, bei denen das Beobachtete angekreuzt werden soll, um die Komplexität etwas zu reduzieren. Die Dokumentation der Beobachtungen kann im späteren Unterricht genutzt und darauf zurückgegriffen werden, um Sachverhalte zu vertiefen und noch einmal über gewonnene Erkenntnisse zu sprechen.

6.5.3 Stationenarbeit

Da es beim Schülerlabor darum geht, dass die Schüler selbst experimentieren sollen, und um ein breites Spektrum an Versuchen anzubieten, eignet sich die Methode der Stationenarbeit gut. Sie beinhaltet Ziele und Merkmale des Offenen Unterrichts (vgl. Wallrabenstein 1990, Jürgens 1996, Brügelmann 1998, Hanke 2001; nach Miller 2003, S. 272). Stationenarbeit ist eine gute Methode, um den Schülern zu ermöglichen, physikalische Phänomene zu entdecken, Erfahrungen mit ihnen zu sammeln und selbstständig mit verschiedenen Materialien zu experimentieren und Neues auszuprobieren (vgl. Köster 2006, S. 44). Bei der Stationenarbeit werden den Schülern unterschiedliche Lernangebote zu einem Thema zur Verfügung gestellt. Die Schüler haben bei der Bearbeitung der Stationen viele Freiheiten: Sie können selbstständig Aufgaben auswählen, sind in der Reihenfolge der Bearbeitung der Stationen frei und können oft auch selbst über die Lernzeit an den einzelnen Stationen entscheiden (vgl. Miller 2003, S. 274). Bei der Planung von Stationenarbeit können unterschiedliche Schwerpunkte gewählt werden, wie zum Beispiel das Üben und Festigen von bereits erarbeitetem Wissen oder aber, wie im Fall des Schülerlabors zum Spiegel, das entdeckende und problemlösende Lernen, bei dem Experimentier-, Konstruktions- und Beobachtungsaufgaben zum Einsatz kommen (vgl. Miller 2003, S. 275). Die vorherrschende Sozialform ist in dieser Phase hauptsächlich Gruppen- oder Partnerarbeit. Somit kann Stationenarbeit die sozialen Kompetenzen der Schüler stärken (vgl. Köster 2006, S. 53). Durch das Lernen an Stationen können Eigenaktivität, Eigenverantwortung und das Interesse an Physik und Naturwissenschaften gefördert werden. Durch das selbstständige, aktive Experimentieren steht die intrinsische Motivation dieser Methode im Fokus (vgl. Kircher & Schneider 2003, S. 197).

6.6 Sozialformen

Zu Beginn des Schülerlabortages wird die Sozialform des Plenums gewählt. Die Schüler bekommen so Informationen über das Schülerlabor, was sie erwartet und welche Regeln beachtet werden müssen. Die Sozialform des Plenums ist hier sinnvoll, da die Aufmerksamkeit gebündelt nach vorne gerichtet wird und Informationen schnell vermittelt werden können.

In der Experimentierphase sollen die Schüler in Tandems arbeiten. Bei der Sozialform der Partnerarbeit steht die Schüler-Schüler-Interaktion im Fokus (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 66). Dies hat den Vorteil, dass die Schüler lernen zu kommunizieren, sich jederzeit beraten und austauschen können und es ihnen durch gemeinsames Arbeiten eventuell leichter fällt, Experimente durchzuführen und Erklärungen zu finden. Produktivität und Kreativität können somit gesteigert werden (vgl. Nuhn 1995, S. 14). Durch die Partnerarbeit können die Schüler in heterogenen Schulklassen in einer positiven Art und Weise zusammen arbeiten und gegenseitig voneinander profitieren. Die gegenseitige Hilfe, die Entwicklung gemeinsamer Lösungsstrategien und das Nachvollziehen und Akzeptieren anderer Meinungen und Ansichten fördern den respektvollen Umgang miteinander und stärken somit die sozial-kommunikativen Kompetenzen und die Teamfähigkeit der Schüler (vgl. Brühne & Sauerborn 2014, S. 66). Durch die gegenseitige Unterstützung können auch leistungsschwächere Schüler optimal partizipieren.
Es sind an jeder Station genug Materialien vorhanden, falls Schüler das gleiche Experiment alleine und nicht gemeinsam mit dem Tandempartner durchführen möchten. So wird ermöglicht, dass die Tandempartner auch parallel ein Experiment durchführen können und jeder Schüler die Möglichkeit hat, zu experimentieren und eigene Beobachtungen zu machen.

Eine Abschlussrunde beendet den Tag im Schülerlabor. Hier finden sich die Schüler wieder im Plenum zusammen. Es soll gemeinsam noch einmal auf den Tag und die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse zurückgeblickt werden. Das Plenum eignet sich hierbei besonders, da so die Beiträge jedes Schülers von allen wertgeschätzt werden können.

Die Gruppenbildung erfolgt im Idealfall bereits im Vorfeld durch die Lehrkraft. So kann Unruhe vermieden werden, da die Schüler bereits wissen, wer ihr Lernpartner ist. Zum anderen spart es Zeit, die für das Experimentieren genutzt werden kann. Die Lehrkraft hat den besten Überblick, wer am effektivsten zusammenarbeiten kann, welche Tandems sinnvoll sind und welche nicht. So kann ein reibungsloser Arbeitsablauf gewährleistet und Zeit effektiv genutzt werden.

6.7 Differenzierung

Durch die Sozialform der Partnerarbeit ergeben sich Differenzierungsmöglichkeiten. Dadurch, dass sich die Schüler gegenseitig helfen können, werden besonders lernschwächere Schüler gefördert. Diese erlangen einen Lernzuwachs durch ihren Partner, während dieser durch Erklärungen, Erläuterungen und durch Vormachen seine Fähigkeiten steigern kann (vgl. Nuhn 1995, S. 15).
Die einzelnen Stationen bauen nicht aufeinander auf, weshalb eine bestimmte Reihenfolge bei der Bearbeitung der Stationen nicht erforderlich ist. So entsteht mehr Flexibilität bei der Bearbeitung. Die Schüler sind freier und können sich von ihren Interessen leiten lassen, also die Stationen, die sie am spannendsten finden, zuerst bearbeiten. Auch die Verweildauer an den Stationen ist nicht vorgegeben. So können die Schüler in ihrem eigenen Lerntempo arbeiten und selbst bestimmen, wie lange sie an einer Station arbeiten. Sie können auf diese Weise differenziert arbeiten, da sich langsamere Tandems mehr Zeit für die Bearbeitung der Stationen nehmen können. Durch den freien Zeitrahmen wird auch nicht erzwungen, dass jeder Schüler alle Stationen bearbeitet haben muss. Es wird mehr Wert darauf gelegt, an den Stationen gründlich zu arbeiten und die Aufgaben und Experimente, die angefangen wurden, auch fertig zu stellen. Als zusätzliches Differenzierungsangebot für schnelle Paare, die mit der Bearbeitung aller Stationen vor der Zeit fertig sind, gibt es Zusatzaufgaben und ein Symmetriespiel. Die Schüler haben somit Gelegenheit zum individuellen Arbeiten, dadurch dass sie die Höhe des Anspruchs bei der Aufgabenbearbeitung sowie den Arbeitsrhythmus selbst bestimmen (vgl. Nuhn 1995, S. 15).

Eine weitere Differenzierung ist durch die Aufgabenformate gegeben. Ich habe versucht, die Aufgaben so zu wählen, dass sie abwechslungsreiche Antwortformate bieten, die Schüler jedoch nicht zu viel lesen und schreiben müssen. Die Aufgaben, die eine freie Antwort verlangen, können die Schüler gemäß ihrem Leistungsstand beantworten. So können sie selbst entscheiden, wie ausführlich sie diese Aufgaben beantworten wollen, ob sie beispielsweise einen kurzen Text oder nur Stichpunkte schreiben. Gleiches gilt für die Aufgaben, bei denen eine Skizze als Antwort verlangt wird.

6.8 Überprüfbarkeit des Lernprozesses

In der Schule sollen Kinder mit der Physik vertraut gemacht werden, indem sie Phänomenen begegnen und sie erfahren (vgl. Wagenschein 1999, S. 121; nach Köster 2006, S. 44). Es geht primär also nicht darum, den Kindern Physik oder andere naturwissenschaftliche Sachverhalte gezielt beizubringen. Der Sachunterricht in der Grundschule sollte vielmehr ermöglichen, Phänomene zu erleben, sie zu entdecken und mit ihnen vertraut zu werden (vgl. Köster 2006, S. 44). Nach diesem Grundsatz richtet sich auch das Schülerlabor zum Spiegel: Die Schüler sollen in erster Linie spielerisch Erfahrungen sammeln und ihren Horizont erweitern, ohne dass das Lernen von abfragbarem Wissen im Fokus steht. Es geht vielmehr darum, dass Schüler durch selbstständige Experimente Erfahrungen sammeln, ihr Wissen erweitern und Spaß am Entdecken und Forschen haben. Die Schüler sollen nach Möglichkeit ihre Alltagsvorstellungen erweitern und durch das selbstständige Experimentieren die physikalischen Sichtweisen kennenlernen. Aus diesem Grund ist nicht vorgesehen, mit Tests ihren Wissenszuwachs abzufragen. Die Schüler sollen ohne den Druck, gute Lernergebnisse zu erzielen, sich primär auf die Sache an sich konzentrieren und sich dem Experimentieren und Explorieren widmen. Eine Ergebnissicherung findet jedoch statt, da die Schüler ihre Erkenntnisse in das Forscherheft eintragen. Das Heft dient dazu, dass die Schüler etwas selbst Erarbeitetes mit nach Hause nehmen, nachlesen oder nachschauen können, Experimente wiederholen oder das Heft vervollständigen können.

7 Entwicklung des Forscherheftes

Um den Schülern das eigenständige Arbeiten zu erleichtern, bekommen sie ein Forscherheft, in dem alle Stationen, Experimente und Aufgaben enthalten sind (siehe Anhang 1: Forscherheft). Da im Vorfeld nicht klar ist, wie sicher die Schüler lesen können und weil mangelnde Lesekompetenz ein Hindernis darstellen könnte, soll der Textanteil im Forscherheft so gering wie möglich gehalten werden. Außerdem geben Fotos des Versuchsaufbaus zusätzliche Hilfestellung und machen lange schriftliche Erklärungen oder Materiallisten überflüssig. Gute Verständlichkeit mit gering gehaltenen Leseanteilen stehen im Vordergrund.

Um die Schüler daran zu erinnern, dass im Schülerlabor bestimmte Regeln gelten, sind diese vorne im Forscherheft abgedruckt. So haben sie die Möglichkeit, noch einmal nachzulesen. Auf der darauffolgenden Seite befindet sich eine Checkliste. Dort sind in einer Tabelle alle Stationen mit den jeweiligen Experimenten aufgeführt, die die Schüler bei vollständiger Bearbeitung abhaken können. Außerdem finden sich in der Checkliste die Seitenzahlen zu den jeweiligen Experimenten und Stationen. Diese sollen ein schnelles Finden der zugehörigen Aufgaben eines Experimentes gewährleisten und unnötiges Suchen im Heft ersparen. In der letzten Spalte haben die Schüler die Möglichkeit, die Experimente mithilfe von Smileys zu bewerten. Dies ist besonders für mich interessant, um nachzuvollziehen, wie den Schülern die einzelnen Experimente gefallen haben oder ob man die Auswahl der Experimente in Zukunft verändern könnte.

7.1 Erläuterung der verwendeten Symbole

Um den Aufbau der Aufgaben im Forscherheft zu erleichtern, wurden Symbole verwendet. Durch diese soll die Struktur der Arbeitsblätter transparent werden. Das Symbol der Hand ( ) soll zeigen, dass die Schüler etwas aktiv tun sollen, wie zum Beispiel das Bewegen eines Objektes vor dem Spiegel. Der Stift ( ) leitet eine Schreib-, Ankreuz- oder Zeichenaufgabe ein. Das Symbol einer Glühbirne ( ) weist auf einen Tipp hin. Die Brille ( ) soll verdeutlichen, dass die Schüler etwas lesen sollen. Das Symbol wurde außerdem verwendet, wenn die Schüler etwas gezielt beobachten, aber nicht anfassen oder bewegen sollen.

7.2 Zur Aufgabenstellung

Da im Vorfeld nicht sicher ist, ob eine dritte oder eine vierte Klasse das Schülerlabor besuchen wird, wurde darauf verzichtet, ausschließlich offene Fragen zu stellen, die ausführliche Antworten erfordern. Die offenen Fragen, die im Forscherheft zu finden sind, sind fast ausschließlich knapp zu beantworten. Bei einigen Aufgaben muss gelesen und angekreuzt werden, bei anderen müssen Sätze vervollständigt werden. Diese Variation an Antwortmöglichkeiten soll einerseits sicherstellen, dass die Schüler weder durch zu vieles Schreiben ermüden noch die Lust verlieren. Andererseits sollen sie dennoch gefordert und zum selbstständigen Denken angeregt werden, selbst Erklärungen zu finden und nicht nur Vorgegebenes zu vervollständigen. Auf diese Art und Weise soll auch die Schreibkompetenz gefördert werden. Da es bei einigen Versuchen kompliziert sein kann, Beobachtungen in Worte zu fassen und zu beschreiben, können die Schüler jedoch stattdessen auch Skizzen anfertigen. Der Vorteil, wenn die Schüler ihre Beobachtungen visualisieren, ist, die Dinge aus einem anderen Blickwinkel zu sehen. Unter Umständen kann es ihnen auf diese Weise leichter fallen, einen bestimmten Sachverhalt zu begreifen.

Die Aufgaben wurden oft relativ eng gewählt, um die Schüler in ihrem Beobachtungs- und Erkenntnisprozess in eine gewisse Richtung zu lenken und somit zu erleichtern. Sie folgen so aufeinander, dass den Schülern ermöglicht wird, schrittweise zur richtigen Erkenntnis und zum richtigen Ergebnis zu kommen.

7.3 Die einzelnen Stationen

Im Folgenden soll beschrieben werden, aus welchen Experimenten sich die einzelnen Stationen zusammensetzen, auf welche Aspekte geachtet wurde und was von den Schülern erwartet wird. Beschriftet wurden sowohl die einzelnen Stationen als auch die Experimente, um den Überblick zu erleichtern. Zu einigen Stationen gehören mehrere Experimente, weshalb ich bei der Bezeichnung der Experimente jeweils die Nummer der Station gewählt habe und dann fortlaufend mit A, B, C, usw. beschriftet habe. Zur Übersicht, welches Material benötigt wird, habe ich im Forscherheft bei jedem Experiment ein Foto vom Versuchsaufbau eingefügt (Zur besseren Übersicht über die benötigten Materialien findet sich für die Lehrkraft in Anhang 3 eine Liste). Zur besseren Anschaulichkeit werden die Experimente mit Ausschnitten aus dem Forscherheft erläutert.

7.3.1 Station 1: Was vertauscht der Spiegel

Diese Station besteht aus vier Experimenten. Bei Experiment 1A sollen die Schüler eine Figur vor dem Spiegel in unterschiedliche Richtungen bewegen. Um den Erkenntnisprozess schrittweise zu ermöglichen, wurde das Bewegen in jede Richtung einzeln in Aufgaben gefasst. Um den Textanteil gering zu halten, wurde, wie in Abbildung 13 zu sehen ist, mithilfe von Fotos die jeweilige Richtung angezeigt.

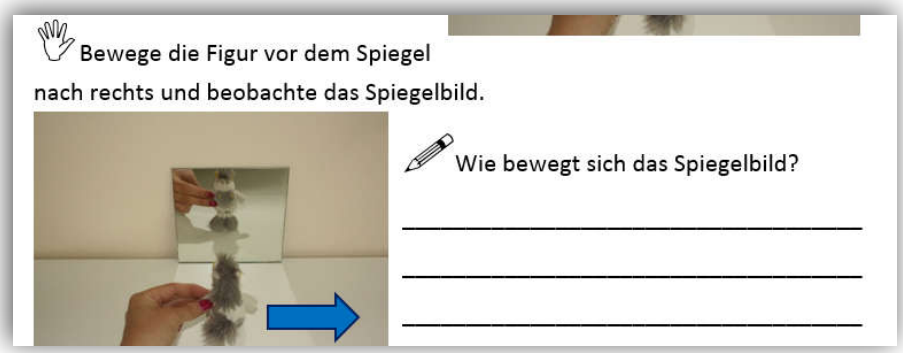


Abbildung 13: Beispielaufgabe zu Experiment 1A

Dieses Aufgabenformat ist für die Richtungen nach rechts, nach links, nach oben und unten gleich und es wird von den Schülern ein kurzer Antwortsatz beziehungsweise das Aufschreiben der jeweils beobachteten Richtung erwartet. Für das Bewegen der Figur zum Spiegel hin und vom Spiegel weg wurde eine Ankreuzaufgabe (siehe Abb. 14) gewählt, um den Schülern die Beantwortung zu erleichtern und Verständnisprobleme zu vermeiden.

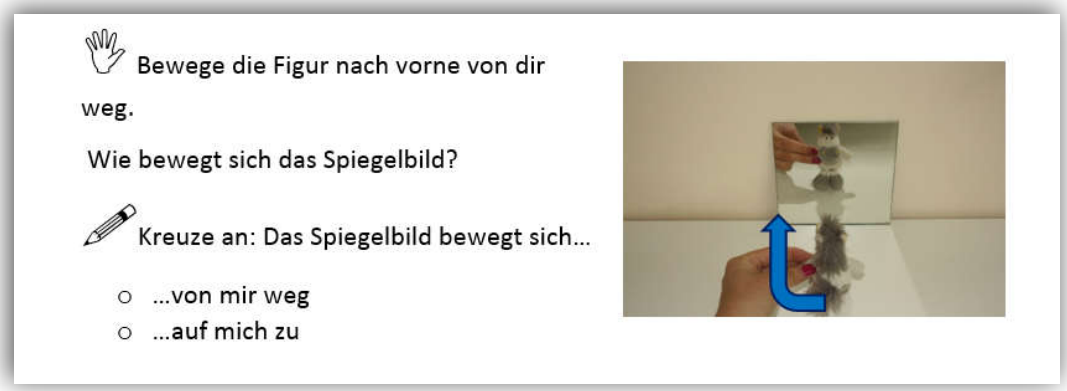


Abbildung 14: zweite Beispielaufgabe zu Experiment 1A

Als Abschluss soll zur Ergebnissicherung in einer Tabelle angekreuzt werden, welche Seiten vom Spiegel vertauscht werden. Das Ankreuzen hat hier den Vorteil, dass den Schülern die Antworten schon vorgegeben werden und sie ihre im Experiment

herausgefundene Erkenntnis nun auf eine zusammenfassende Aufgabe übertragen und entscheiden müssen, welche Variante die richtige ist.
(Idee des Experimentes: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

Bei Experiment 1B soll mithilfe eines Pfeiles vor dem Spiegel, der in verschiedene Richtungen zeigt, herausgefunden werden, welche Seiten vom Spiegel vertauscht werden (Vorlage für die Pfeile: siehe Anhang 5). Bei diesem Experiment sollen die Schüler im Forscherheft vorgegebene Sätze vervollständigen und im Anschluss selbst formulieren, welche Seiten vertauscht werden.

Experiment 1C thematisiert, dass der Spiegel vorne und hinten vertauscht. Dies soll mithilfe eines Würfels herausgefunden werden, der einmal dicht vor und einmal dicht hinter Bauklötzen positioniert werden soll. Da es hierbei darum geht, welche Objekte vor dem Spiegel beim Original und welche beim Spiegelbild zu sehen sind, wurde dies versucht, mithilfe der Aufgabenstellung zu verdeutlichen (siehe Abb. 15).

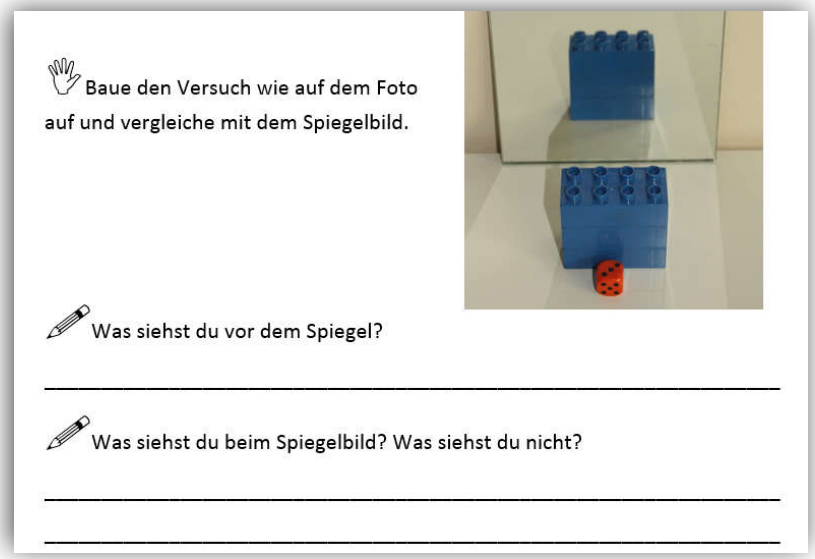
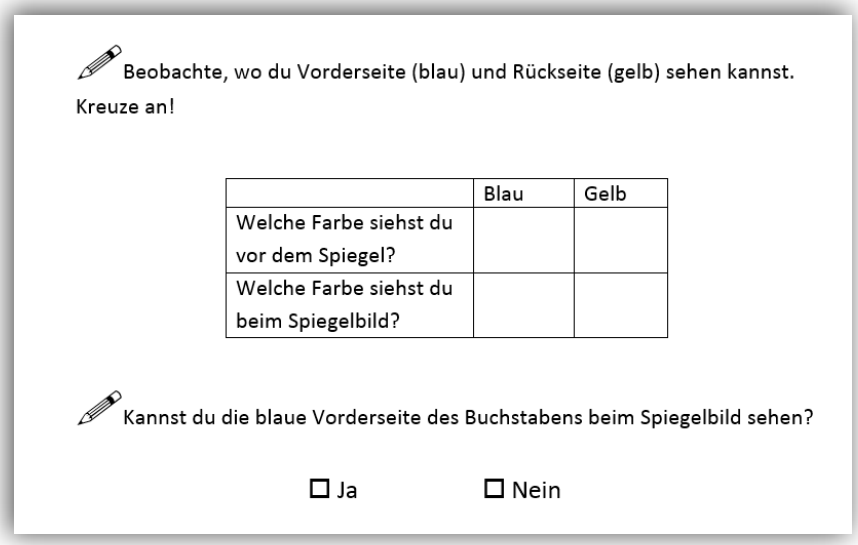


Abbildung 15: Beispielaufgabe zu Experiment 1C

Als abschließende Aufgabe sollen die Schüler frei eine Vermutung formulieren, warum man die beiden Gegenstände vor dem Spiegel anders sieht als beim Spiegelbild. Diese Frage wurde bewusst offen formuliert, um die Schüler anzuregen, selbst nachzudenken und gemeinsam eine mögliche Erklärung zu finden.
(Idee des Experiments: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

Bei Experiment 1D sollen die Schüler anhand von Buchstaben, einem „R“ für rechts und einem „L“ für links zunächst feststellen, dass rechts und links nicht vertauscht werden (Vorlagen für die Buchstaben: siehe Anhang 6). Sie werden zum gezielten

Beobachten aufgefordert. Die erste Aufgabe thematisiert gezielt, auf welcher Seite die jeweiligen Buchstaben im Spiegel zu sehen sind, von daher wird erwartet, dass sie die zweite, offen gestellte Aufgabe beantworten können. Bei dieser sollen sie in eigenen Worten aufschreiben, was sie herausgefunden haben.
Anhand der verschiedenfarbigen Vorder- und Rückseite der Buchstaben kann beobachtet werden, dass der Spiegel vorne und hinten vertauscht. Die Schüler sollen anhand einer kleinen Tabelle und Ankreuzfragen ankreuzen, welche Farbe sie beim Original vor dem Spiegel und welche sie beim Spiegelbild sehen (siehe Abb. 16).


Beobachte, wo du Vorderseite (blau) und Rückseite (gelb) sehen kannst. Kreuze an!

	Blau	Gelb
Welche Farbe siehst du vor dem Spiegel?		
Welche Farbe siehst du beim Spiegelbild?		

Kannst du die blaue Vorderseite des Buchstabens beim Spiegelbild sehen?

☐ Ja ☐ Nein

Abbildung 16: Beispielaufgabe zu Experiment 1D

Abschließend sollen sie wie schon zuvor in eigenen Worten formulieren, was sie herausgefunden haben. Das Experiment schließt mit einem Merksatzkasten ab, der für alle Experimente der Station 1 zu sehen ist. Dort sollen Sätze vervollständigt werden, die thematisieren, welche Seiten der Spiegel vertauscht. Dies soll als zusammenfassende Ergebnissicherung fungieren, sodass die Schüler die drei Aussagen (welche Seiten der Spiegel vertauscht und welche er nicht vertauscht) als wichtigen Merksatz und Erkenntnis in ihrem Forscherheft haben.

7.3.2 Station 2: Das Spiegellabyrinth

Bei Station 2 geht es um das Spiegelzeichnen. Aufgebaut wird diese Station, indem ein Gestell vor einem großen Spiegel aufgebaut wird. Dieses Gestell soll ermöglichen, dass unter ihm problemlos mit einem Stift gezeichnet werden kann, ohne jedoch direkt auf die Hand sehen zu können (siehe Abb. 17). Bei dieser Station sollen die Schüler eine der Malvorlagen unter dieses Gestell legen und sie nachzeichnen, indem sie die Malvorlage ausschließlich im Spiegel sehen können (Malvorlagen entnommen aus Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.; siehe Anhang 7). Die erste Frage zu dieser Station im Forscherheft zielt darauf ab, dass die Schüler feststellen, dass es nicht schwer ist, wenn sie nach rechts oder links malen möchten. Die zweite Frage verlangt eine Erklärung, was passiert, wenn man nach vorne oder hinten malen möchte. Dies zielt darauf ab, dass die Schüler feststellen, dass dies kompliziert ist, da der Spiegel vorne und hinten vertauscht.

Abbildung 17: Schüler beim Spiegelzeichnen

(Idee des Experiments: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

7.3.3 Station 3: Wo sieht man das Spiegelbild?

Mithilfe von zwei Experimenten an Station 3 sollen die Schüler herausfinden, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt.

Bei Experiment 3A sollen die Schüler eine Kerze so vor den Spiegel stellen, dass sie im Spiegel halb zu sehen ist und eine zweite Kerze hinter den Spiegel an die Stelle des Spiegelbildes schieben, sodass sich Spiegelbild und hintere Kerze zu einem Bild ergänzen. Als Hilfestellung ist auf dem Foto im Forscherheft genau abgebildet, wie die Kerze vor dem Spiegel stehen muss. Die Schüler sollen anschließend aufschreiben,

an welche Stelle sie die Kerze geschoben haben und den Abstand beider Kerzen zum Spiegel messen. Anhand dessen sollen sie erkennen, dass beide Kerzen den gleichen Abstand zum Spiegel haben und somit das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt. Dies soll in einer Tabelle angekreuzt werden.
(Idee des Experiments: Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2010, S. 126, S. 135)

Experiment 3B ist ähnlich zum vorherigen Experiment. Hier soll diesmal mithilfe eines Stiftes vor dem Spiegel und seiner Kappe hinter dem Spiegel am Ort des Spiegelbildes verdeutlicht werden, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt. Bei diesem Experiment wurde ein anderes Aufgabenformat als bisher gewählt (siehe Abb. 18). Die Schüler sollen den Sachverhalt zeichnerisch durchdringen, indem sie genau überlegen, welchen Teil des Stiftes und des Spiegelbildes sie in welcher Farbe anmalen sollen. Anschließend sollen sie beschreiben, was ihnen aufgefallen ist, nämlich dass die Kappe hinter dem Spiegel und das Spiegelbild wie ein kompletter Stift aussehen.

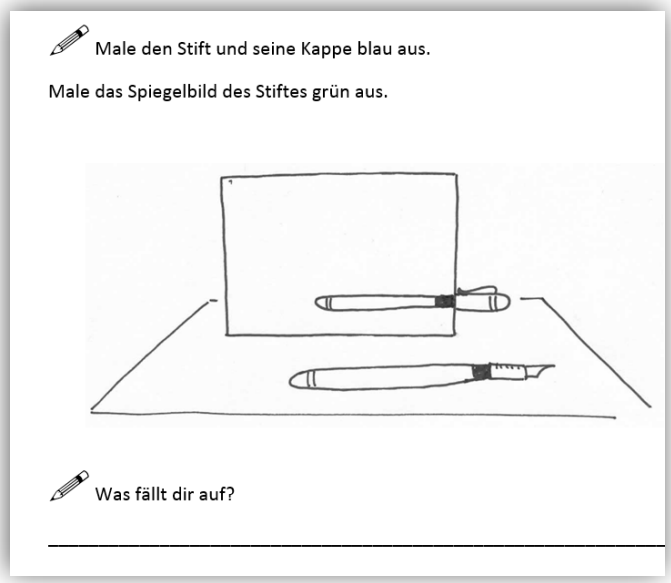


Abbildung 18: Beispielaufgabe Experiment 3B. (die Abbildung wurde entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

Auch die nächste Aufgabe soll zeichnerisch gelöst werden. Der Aufbau des Experimentes wird nun aus der Vogelperspektive gezeigt (siehe Abb. 19). Die Schüler sollen hier die fehlende Kappe an der richtigen Stelle einzeichnen. Die Schwierigkeit liegt hierbei im Wechsel der Perspektive.
Als Abschluss der Station findet sich wieder ein Merksatz, der vervollständigt werden soll.

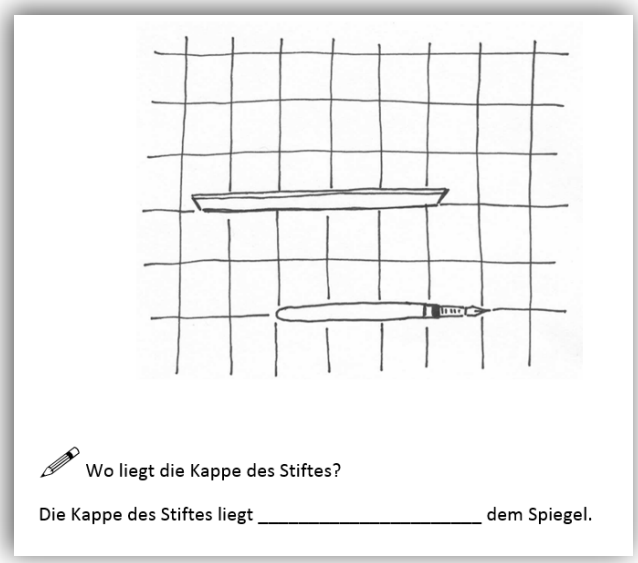


Abbildung 19: 2. Beispielaufgabe Experiment 3B (Die Abbildung wurde entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

(Idee des Experiments: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

7.3.4 Station 4: Spiegelschrift

Bei dieser Station geht es darum, mit Spiegelschrift zu experimentieren. Bei Experiment 4A sollen zunächst vier Begriffe, die in Spiegelschrift geschrieben sind, gelesen werden. Anschließend sollen die Schüler erklären, wie sie die Wörter lesbar gemacht haben, also ob sie sie ohne Hilfsmittel oder gegebenenfalls mit einem Spiegel gelesen haben. Bei der nächsten Aufgabe haben sie Platz, selbst zu probieren, in Spiegelschrift zu schreiben, und sollen außerdem erklären, wie sie vorgegangen sind. Es wird weiterhin im Forscherheft hingewiesen, dass es zum Spiegelschrift-Schreiben auf der nächsten Seite Tipps gibt (siehe Abb. 20).

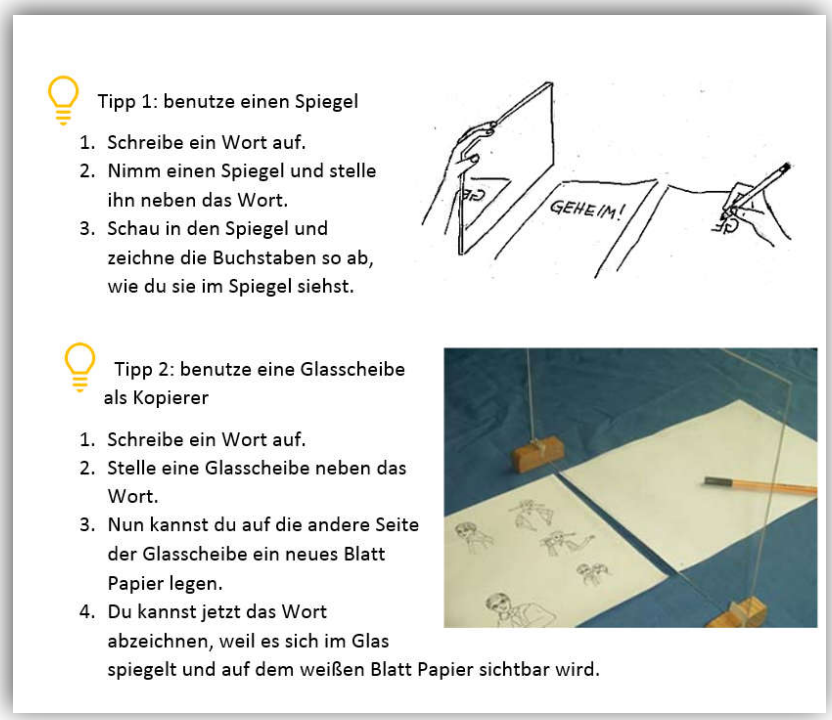


Abbildung 20: Beispielaufgabe Experiment 4A (beide Abbildungen entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.)

Bei Experiment 4B sind zwei kurze Texte in Spiegelschrift abgedruckt (entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.). Der erste Text wird lesbar, wenn man einen Spiegel an die linke oder rechte Seite des Textes hält, beim zweiten Text muss man den Spiegel an die Ober- oder Unterkante halten. Die Schüler sollen beschreiben, wo sie den Spiegel jeweils hinstellen müssen. Anschließend sollen sie probieren, selbst etwas in Spiegelschrift zu schreiben, sodass man es lesen kann, wenn der Spiegel an die Ober- oder Unterkante gehalten wird.

Bei Experiment 4C ist im Forscherheft folgendes Bild abgedruckt:

Abbildung 21: Bild eines Feuerwehrautos (entnommen aus: Lewalter 2005, o. S)

Anhand dieses Fotos sollen die Schüler überlegen, warum auf Fahrzeugen teilweise Spiegelschrift verwendet wird und ihre Vermutungen aufschreiben. Anschließend ist das Wort „Ambulanz“ in Spiegelschrift abgedruckt, jedoch mit einem „d“ statt einem „b“. Die Schüler sollen das Geschriebene auf ihre Richtigkeit überprüfen und es verbessern.

7.3.5 Station 5: Besondere Spiegel

Station 5 befasst sich mit speziellen Spiegeln, wie dem Hohl- und Wölbspiegel, mit einem flexiblen Spiegel als Zerrspiegel und einem Winkel- und Parallelspiegel.
Bei Experiment 5A geht es um das Erkunden der Besonderheiten von Hohl- und Wölbspiegeln. Um die Unterscheidung zwischen Hohl- und Wölbspiegel zu erleichtern, wurden die beiden Spiegel mit ihrer jeweiligen Bezeichnung beschriftet. Die Schüler sollen zunächst herausfinden, welche Form die beiden Spiegel auszeichnet und dies schriftlich in ihren eigenen Worten festhalten (siehe Abb. 22).

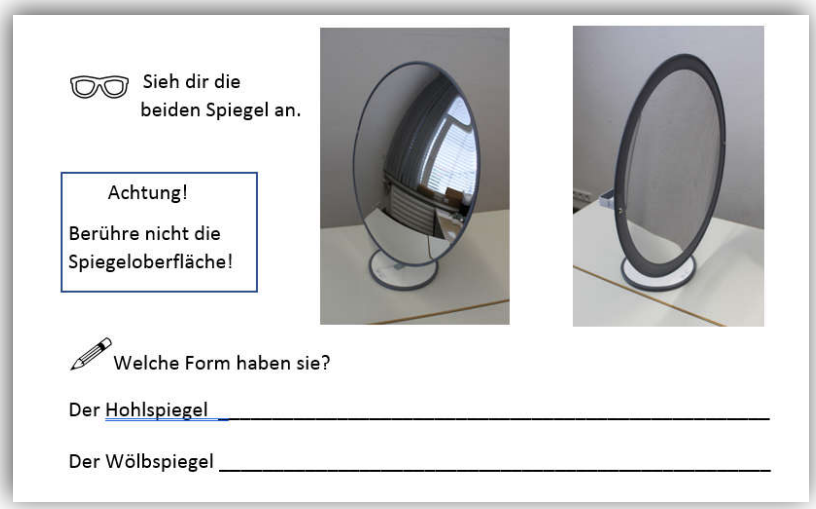


Abbildung 22: Beispielaufgabe Experiment 5A (Quelle linkes Bild: Kürten o. J. a; Quelle rechtes Bild: Kürten o. J. b)

Von den beiden Spiegeln soll zuerst der Wölbspiegel erforscht und das Spiegelbild beobachtet werden. Um den Kindern zu erleichtern, passende Worte zum Beschreiben des Spiegelbildes zu finden, wurde eine Aufgabe im Ankreuzformat gewählt (siehe Abb. 23). Beobachtet werden soll außerdem das Spiegelbild, wenn sich der Abstand zum Spiegel verändert.

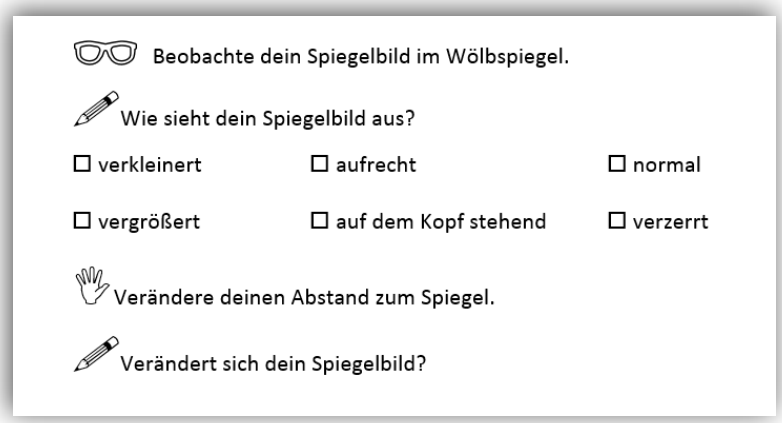


Abbildung 23: zweite Beispielaufgabe Experiment 5A

Als Nächstes sollen sich die Schüler mit dem Hohlspiegel befassen. Da sie auf der vorherigen Seite bereits ihr Spiegelbild beschrieben haben, wurde beim Hohlspiegel auf eine Ankreuzaufgabe verzichtet und stattdessen eine offene Aufgabe gestellt. Da beim Hohlspiegel eine Besonderheit auftritt, wenn sich der Abstand zum Spiegel vergrößert (das Bild hängt von der Gegenstandsweite ab, vgl. dazu Kapitel 5.1.6), liegt der Fokus bei der Betrachtung des Hohlspiegels auf der Beobachtung des Spiegelbildes, während der Abstand zum Spiegel variiert wird. Um den Schülern die Aufgabe zu erleichtern, wurde eine Tabelle gewählt (siehe Abb. 24). Abschließend sollen die Schüler die Spiegelbilder von beiden Spiegeln miteinander vergleichen und besonders darauf achten, wie viel jeweils von der Umgebung sichtbar ist.

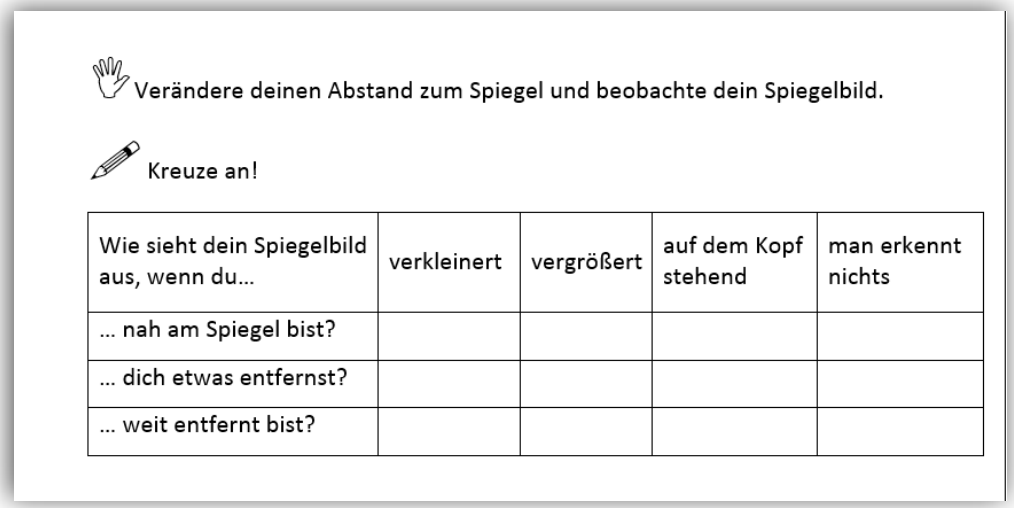


Abbildung 24: dritte Beispielaufgabe Experiment 5A

Bei Experiment 5B sollen die Schüler mit einem flexiblen Spiegelstück experimentieren und ihre verzerrten Spiegelbilder beobachten. Dazu sollen sie den Spiegel vor sich halten und in beide Richtungen biegen. Sie sollen beschreiben, wie ihre Spiegelbilder aussehen, indem sie Sätze vervollständigen. Zum Schluss sollen sie überlegen, in welche Richtung sie den Spiegel biegen müssen, damit er wie ein Hohl- bzw. Wölbspiegel ist.

Bei Experiment 5C geht es darum, mit einem Winkelspiegel zu experimentieren. Die Schüler sollen zunächst schriftlich festhalten, wann man die meisten und wann man die wenigsten Spiegelbilder sieht und ob die Spiegelbilder immer gleich aussehen. Die Schüler sollen darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Spiegelbilder des Objektes abwechselnd je einmal von rechts und einmal von links zu sehen sind. Die nächste Aufgabe sollen die Schüler zeichnerisch lösen. Sie sollen zunächst probieren, genau vier, fünf, sechs und zehn Spiegelbilder zu erzeugen und dann aufzeichnen, wie die Spiegel zueinander stehen müssen. Die Schüler können dies aus der Vogelperspektive zeichnen, also jeweils zwei Striche, die die Spiegelfliesen darstellen sollen und das Objekt als Kreis oder Quadrat. Möglich ist es jedoch auch, die Anordnung der Spiegel aus der Perspektive zu zeichnen, aus der die Schüler auf die Versuchsanordnung blicken. Dies ist jedoch komplizierter und es ist nicht so leicht zu sehen, wie sich der Winkel, in dem die Spiegel zueinander stehen, verändert. Die letzte Aufgabe dieses Experiments bezieht sich auf das Erzeugen von Spiegelbildern mit parallel zueinander stehenden Spiegeln. Nachdem die Schüler herausgefunden haben, dass der Winkel immer kleiner wird, je mehr Spiegelbilder entstehen, werden sie aufgefordert auszuprobieren, ob sie unendlich viele Spiegelbilder erzeugen können. Mithilfe eines Tipps wird ihnen mitgeteilt, dass sie dazu auch zwei einzelne Spiegelfliesen benutzen können. Wie die Spiegel zueinander stehen müssen, sollen sie wieder mithilfe einer Skizze festhalten. Diese Aufgabe wurde bewusst offen gestellt, damit die Schüler die Chance haben, selbst auszuprobieren. Hierbei wird problemlösendes Denken gefordert.

7.3.6 Station 6: Der Spionagespiegel

Station 6 beschäftigt sich mit einem halbdurchlässigen Spiegel. Dieser hat die Besonderheit, dass er auftreffendes Licht zum Teil reflektiert und zum Teil durchlässt. Steht man also in einem erhellten Raum und ist es auf der anderen Seite des Spiegels dunkel, sieht man sein Spiegelbild. Auftreffendes Licht wird reflektiert, ein Anteil wird jedoch vom Spiegel durchgelassen. Steht man auf der dunklen Seite des Spiegels, kann man durch den Spiegel durchsehen, da der Spiegel Licht von der hellen Seite durchlässt (vgl. Joachim Herz Stiftung: Leifi Physik o. J., o. S.).

Wie bereits erwähnt, führt eine Betreuungsperson das Experiment gemeinsam mit Schülern in Sechsergruppen durch. Der Sachverhalt ist komplex und gewissermaßen zu schwierig, um von einer Grundschulklasse vollständig durchdrungen zu werden. Da dieser Spiegel jedoch so besonders ist und die Schüler im Alltag keine Möglichkeit haben, sich mit solch einem Spiegel näher zu befassen, habe ich ihn in das Schülerlabor aufgenommen. Um die Komplexität etwas zu verringern, habe ich mich bei dieser Station für einen Lückentext entschieden, den die Schüler ausfüllen sollen. Zunächst haben die Schüler die Möglichkeit, alle Varianten auszuprobieren: jeweils eine Seite erhellt, die andere dunkel, und beide Seiten erhellt. Nach dem Experimentieren sollen sie den Lückentext gemeinsam ausfüllen und bei Bedarf die einzelnen Situationen und Lichtverhältnisse noch einmal ausprobieren, um die Aufgabe zu bearbeiten. Als Hilfe wurden die einzusetzenden Wörter unterhalb des Lückentextes aufgezählt. Zusätzlich wurde mit Grafiken gearbeitet, die die Lichtverhältnisse visualisieren sollen (siehe Abb. 25). Dies soll den Schülern die Bearbeitung erleichtern.

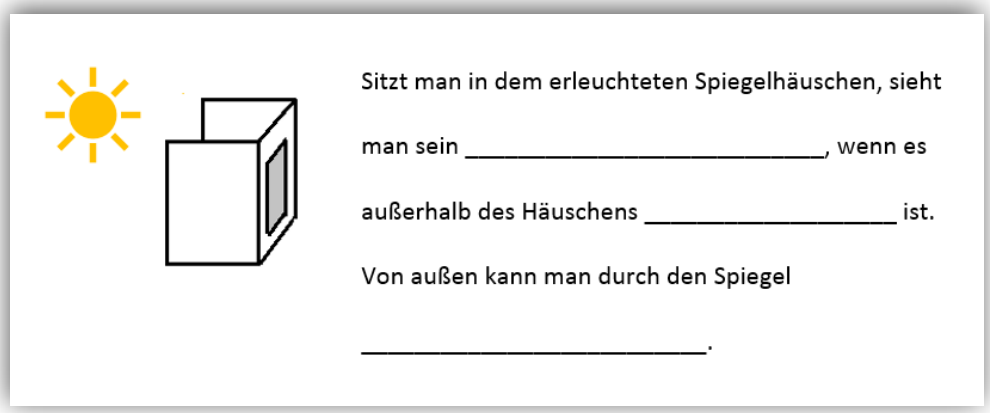


Abbildung 25: Ausschnitt aus dem Lückentext von Station 6

7.3.7 Zusatzmaterial

Da schwer abzuschätzen war, wie schnell die Schüler die Stationen bearbeiten würden, habe ich mich entschlossen, zusätzliches Material anzubieten, falls Schüler frühzeitig fertig werden sollten. Zum einen sind auf den letzten beiden Seiten des Forscherheftes kleine Aufgaben (entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.) abgedruckt, die die Schüler entweder am Ende oder zu einem späteren Zeitpunkt bearbeiten können. Als zusätzliches Angebot steht auch noch ein Symmetrie-Spiel zur Verfügung (Material entnommen aus: Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. 2013, o. S.). Die Schüler sollen dabei kleine Plättchen, die mit verschiedenen Mustern bedruckt sind, so an den Spiegel legen, dass das Plättchen und sein Spiegelbild gemeinsam wie das Muster auf der Vorlage aussieht. Dieses Spiel kann an einzelne Schüler beziehungsweise Tandems bei Bedarf ausgegeben werden.

8 Curriculare Bezüge und Lernziele

In diesem Kapitel soll das Schülerlabor zum Spiegel unter curricularen Aspekten betrachtet werden. Zu Beginn wird auf das hessische Kerncurriculum eingegangen und dargestellt, welche Kompetenzen die Schüler bei der Bearbeitung des Schülerlabors erwerben können. Anschließend werden fachliche Lernziele aufgeführt.

8.1 Bildungsstandards und Inhaltsfelder – das neue Kerncurriculum für Hessen

Von der Kultusministerkonferenz (KMK) wurden von 2002 bis 2004 nationale Bildungsstandards beschlossen (vgl. Hessische Lehrkräfteakademie 2017). Damit soll festgelegt und vereinheitlicht werden, welche Kompetenzen die Schüler zu bestimmten Zeitpunkten in ihrer Schullaufbahn erreichen sollen. Anders als die Lehrpläne, die sich am „Input“ orientierten, sind die Bildungsstandards am Output orientiert (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007, S. 11f.). Sie beziehen sich nicht auf konkrete Inhalte, die vermittelt werden sollen, sondern geben Kompetenzen an, die um thematisch-inhaltliche Bezüge ergänzt werden (vgl. Hessische Lehrkräfteakademie 2017). Die Bildungsstandards dienen als Basis für den Unterricht. Das hessische Kerncurriculum bezieht sich auf die nationalen Bildungsstandards und konkretisiert diese (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 5).

8.1.1 Angestrebter Kompetenzerwerb

Im Folgenden führe ich die Kompetenzen anhand des hessischen Kerncurriculums auf, die durch das Schülerlabor zum Spiegel erreicht werden können.

Überfachliche Kompetenzen

Die Schüler erweitern ihre **Personale Kompetenz** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 9), indem sie

- sich über ihre eigenen Interessen bewusst werden, diese bei der Wahl der Stationen berücksichtigen und so ihre Selbstwahrnehmung stärken.
- sich bei der Durchführung der Versuche mit eventuell geäußerter Kritik durch ihren Lernpartner auseinandersetzen und diese annehmen.

- bei der Bearbeitung der Versuche ihre persönlichen Fähigkeiten weiterentwickeln und kreatives Denken entwickeln.
- selbstständig Lösungsstrategien entwickeln und ihre Beobachtungen und Erklärungen verbalisieren.
- sich mit ihrem Partner absprechen und die eigenen Interessen und Wünsche angemessen zum Ausdruck bringen und auch auf die Interessen des Partners eingehen.
- ihre Zeit selbstständig einteilen und ein Bewusstsein über ihre Stärken und Schwächen entwickeln.

Die Schüler erweitern ihre **Sozialkompetenz** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 9f.), indem sie

- bei der Auswahl der Stationen auf die Bedürfnisse ihres Lernpartners eingehen, miteinander in Interaktion treten und gemeinsam Entscheidungen treffen.
- teamfähig sind, die Stationen gemeinsam bearbeiten und sich gegenseitig helfen.
- kooperativ sind und respektvoll miteinander umgehen, indem sie sich mit anderen Mitschülern und Tandems absprechen, Kritik angemessen äußern und von anderen annehmen und gemeinsam Lösungen für Konflikte finden.
- indem sie Gruppenregeln und Regeln für das Experimentieren im Schülerlabor einhalten.

Die Schüler erweitern ihre **Lernkompetenz** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 10), indem sie

- selbstständig arbeiten in Bezug auf die Auswahl der Stationen, das Durchführen der Versuche und das Finden von Lösungen.
- Versuche sachgerecht durchführen und verschiedene Materialien gezielt einsetzen.
- ihre Arbeitsergebnisse in ihrem Forscherheft auf verschiedene Weise dokumentieren.

Die Schüler erweitern ihre **Sprachkompetenz** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 10), indem sie

- Informationen aus den Aufgabenstellungen gewinnen und so ihre Lesekompetenz fördern.
- ihre Beobachtungen und Erkenntnisse notieren und dabei grundlegende Regeln der Rechtschreibung nutzen.
- in der Interaktion mit ihrem Partner durch deutliches und verständliches Sprechen üben, ihre Gedanken, Ideen und Vorschläge mitzuteilen.
- Mitschülern sowie Betreuungspersonen zuhören und sich an Gesprächen beteiligen.

Kompetenzbereiche

Im Hessischen Kerncurriculum werden drei Kompetenzbereiche für die Primarstufe formuliert: Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S.12f.). Diese beziehen sich auf die allgemeinen fachlichen Kompetenzen. Im Folgenden werden die fachlichen Kompetenzen aufgeführt, die von den Schülern mithilfe des Schülerlabors zum Spiegel erreicht werden können.

Die Schüler erweitern ihre Kompetenz im Bereich der **Erkenntnisgewinnung** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S.17), indem sie Sachverhalte untersuchen, Experimente sachgerecht durchführen, die bei den Experimenten wahrzunehmenden Phänomene gezielt beobachten und Schlüsse daraus ziehen, die auf ihren Alltag übertragbar sind. Sie können weiterhin ihre Kompetenzen erweitern, indem sie die Merkmale verschiedener Spiegel vergleichen, Unterschiede feststellen und gemeinsame Strukturen finden und Erkenntnisse überprüfen.

Die Schüler erweitern ihre Kompetenz im Bereich **Kommunikation** (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S.18), indem sie sich sowohl an Plenumsgesprächen beteiligen als auch bei der Durchführung und Auswertung der Experimente mit ihrem Partner und ihren Mitschülern in Interaktion treten. Weiterhin verwenden sie „treffende Begriffe“ und drücken sich klar verständlich aus, sie können Beobachtungen, Anregungen und Erkenntnisse verbalisieren und darstellen sowie sich

über Argumente austauschen. Sie können Sachverhalte beschreiben und ihre Arbeitsschritte und ihren Erkenntnisprozess dokumentieren.

Inhaltsfelder

Die Inhaltsfelder sollen den Rahmen zur Erschließung der Lebenswelt bilden und beinhalten die Möglichkeit, unter verschiedenen Perspektiven behandelt zu werden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 14). Bildungsstandards und Inhaltsfelder sind miteinander verbunden. Durch die Beschäftigung mit Sachverhalten der Inhaltsfelder können sich die Schüler durch die mehrperspektivische Behandlung des Stoffes anwendungsbezogenes Wissen und Können aneignen (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 19). Die Inhaltsfelder stehen in Bezug zu den *Basiskonzepten*, die als „übergeordnete Regeln, Prinzipien und Erklärungsmuster" definiert werden und in den Inhaltsfeldern weiter ausgeführt werden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 14).

Die Inhaltsfelder bestehen aus den Bereichen Gesellschaft und Politik, Natur, Raum, Technik und Geschichte und Zeit (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 14).

Das Thema Spiegel lässt sich dem Inhaltsfeld *Natur* zuordnen. Die Schüler sollen durch die Beschäftigung mit dem Thema angeregt werden, ihre Umwelt unter physikalischen Aspekten zu betrachten: sie sollen die Phänomene, die an spiegelnden Flächen zu beobachten sind, im Alltag wahrnehmen und die Chance haben, sie „*aus naturwissenschaftlicher Perspektive zu deuten und zu verstehen*" (Hessisches Kultusministerium 2011, S. 15). Um sich ihre Lebenswelt Stück für Stück zu erschließen, müssen Schüler mit physikalischen, chemischen, biologischen und geographischen Grundsätzen in Berührung gebracht werden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011, S. 19).

8.2 Lernziele

Es wird Wert darauf gelegt, schon früh ein naturwissenschaftliches Verständnis zu fördern. Primär hat das Schülerlabor das Ziel, Interesse, Motivation und Begeisterung für die Naturwissenschaften und in diesem Fall insbesondere für die Physik zu wecken. Es soll auch die Entwicklung von anschlussfähigem Wissen gefördert werden, auf das im weiteren Unterricht aufgebaut und angeknüpft werden kann. Im Folgenden werden

nun fachliche Lernziele formuliert, die die Schüler durch die Experimente erreichen können.

Fachliche Lernziele

- Die Schüler sollen herausfinden, dass der Spiegel vorne und hinten, nicht aber links und rechts und oben und unten vertauscht (Station 1 und 2).
- Die Schüler sollen erkennen, dass das Spiegelbild hinter und nicht im oder auf dem Spiegel liegt und zu sehen ist (Station 3).
- Die Schüler sollen mit Spiegelschrift experimentieren und mithilfe von Hilfsmitteln (Spiegel, Plexiglas) Spiegelschrift selbst herstellen (Station 4).
- Die Schüler sollen ihre Erkenntnisse auf ihren Alltag übertragen und so die Vorzüge von Spiegelschrift im Straßenverkehr erkennen (Station 4, Experiment 4C).
- Die Schüler sollen verschiedene Arten von Spiegeln und deren unterschiedliche Eigenschaften, wie Verzerrungen kennenlernen (Station 5).
- Die Schüler sollen optischen Effekte, Phänomene und Besonderheiten von Hohl- und Wölbspiegeln kennenlernen und herausfinden, dass die Spiegelbilder verzerrt sind (Station 5, Experiment 5A).
- Die Schüler sollen Erfahrungen mit flexiblen, beweglichen Spiegeln machen, die optischen Besonderheiten wahrnehmen und sie auf den Hohl- und Wölbspiegel übertragen (Station 5, Experiment 5B).
- Die Schüler sollen Mehrfachspiegelungen erzeugen und beobachten (Station 5, Experiment 5C).
- Die Schüler sollen lernen, dass sich die Anzahl der Spiegelbilder verändert, wenn der Winkel beim Winkelspiegel verändert wird (Station 5, Experiment 5C).
- Die Schüler sollen ihre gewonnenen Erkenntnisse auf ihren Alltag beziehen.
- Die Schüler sollen herausfinden, welche Lichtverhältnisse herrschen müssen, damit beim halbdurchlässigen Spiegel entweder das Spiegelbild sichtbar ist oder man hindurchsehen kann (Station 6).

Teil 3: Auswertung des Schülerlabors

Im dritten Teil geht es um die Auswertung des entwickelten Schülerlabors zum Spiegel. Um es zu erproben und um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie Schüler das Schülerlabor annehmen, sollte es mit mindestens eine Schulklasse durchgeführt werden. Die Eindrücke der Besuche und die von den Schülern ausgefüllten Forscherhefte bilden dabei die Grundlage der Auswertung.

9 Reflexion des Schülerlabortages

Am 26.10.2017 und am 30.10.2017 besuchte je eine Klasse der Geschwister-Scholl-Schule in Schwalbach am Taunus das Schülerlabor. Es handelte sich um zwei vierte Klassen.

Beide Termine liefen äußert positiv ab. Beim ersten Termin am 26.10.2017 kam die Schulklasse pünktlich um 9 Uhr an. Durch die weite Anreise hatten die Schüler keine Möglichkeit gehabt zu frühstücken, weshalb wir ihnen zu Beginn eine kurze Frühstückspause einräumten und ich danach mit der Einführung beginnen konnte. Schon während der Frühstückspause erfreuten sich die Schüler des Hohl- und Wölbspiegels, betrachteten ihr Spiegelbild und schnitten Grimassen. Nach einer kurzen Einführung konnten die Schüler um ungefähr 9:30 Uhr anfangen zu experimentieren und machten sich direkt an die Arbeit. Nach ungefähr einer Stunde gingen wir mit ihnen in den Hof, wo sie Zeit zum Spielen hatten. Nach der Pause verblieb den Schülern noch eine weitere Stunde zum Bearbeiten der Stationen.

Beim zweiten Termin am 30.10.2017 kam die Klasse um 9:15 Uhr an, hatte jedoch schon gefrühstückt, weshalb wird direkt mit der Einführung starten konnten. Dies empfand ich allgemein als angenehmer. Die Frühstückspause fand statt einer Pause draußen im Hof statt. Da die Schüler so keine Möglichkeit zum Spielen und Herumrennen hatten, war die zweite Experimentierphase etwas unruhiger.

Beide Klassen machten sich nach der Einführung sofort an die Arbeit. Während der Experimentierphasen arbeiteten die Schüler motiviert und ich hatte den Eindruck, dass sie das Thema und die Experimente interessierten und sie Freude bei der Bearbeitung der Stationen hatten. Besonders Station 6 mit dem halbdurchlässigen Spiegel bekam viel Zuspruch, die Schüler waren sehr begeisterungsfähig, sodass die einzelnen Experimentierphasen an dieser Station mehr Zeit in Anspruch nahmen, als ich erwartet

hatte. Die gesamte Zeit über herrschte eine harmonische Atmosphäre, die Schüler waren konzentriert bei der Arbeit, gingen vorsichtig mit den Materialien um und arbeiteten sogar ziemlich leise, womit ich nicht gerechnet hatte. Ein einziger „Unfall“ passierte, als ein Schüler einen der flexiblen Spiegel zu weit bog und dieser zu Bruch ging.

Im Allgemeinen hat die zweite Klasse wesentlich mehr Aufgaben bearbeitet als die erste Klasse. Beim ersten Termin hatte ich den Eindruck, dass das Forscherheft für die Schüler zu umfangreich war, da die meisten es nicht einmal annähernd schafften, alles zu bearbeiten. Bei der zweiten Klasse war dies ganz anders. Einige Schüler wurden auf die letzten Minuten sogar fertig und hatten alles in ihrem Forscherheft ausgefüllt. Genug Zeit, um ihnen das Zusatzangebot auszuhändigen, blieb jedoch nicht.

Bei der Abschlussrunde äußerte sich die erste Klasse sehr positiv über den Vormittag im Schülerlabor. Die Schüler hatten viel Spaß und äußerten sich begeistert über Station 6 mit dem halbdurchlässigen Spiegel und über Station 5 mit dem Hohl- und Wölbspiegel. Als Kritikpunkte wurden genannt, dass Station 5 die meiste Zeit besetzt war, sodass einige Kinder nicht die Möglichkeit hatten, dort zu experimentieren oder länger warten mussten, um die Station bearbeiten zu können.

Die Abschlussrunde beim zweiten Termin mit der anderen Klasse verlief dagegen anders. Während ich beim ersten Termin die Schüler aufgefordert hatte, ihre Meinung reihum zu äußern und dies zu vielfachen Wiederholungen des bereits Gesagtem führte, entschloss ich mich bei der zweiten Klasse, die Schüler, die einen Beitrag leisten wollten, aufzurufen, sodass nicht jedes Kind gezwungen war, etwas zu sagen. Ich wies außerdem darauf hin, nur Dinge zu sagen, die noch nicht durch vorherige Äußerungen genannt wurden. Dadurch war diese Feedbackrunde etwas interessanter, weil sich die Schüler bemühten, Neues zu erzählen. Die Schüler dieser Klasse fanden Station 2 mit dem Spiegelzeichnen sowie Station 6 am besten. Als es darum ging, Kritik zu äußern, wurden wir leider durch einen Feueralarm unterbrochen, sodass das Gebäude geräumt werden musste. Da die Klasse um kurz nach 12 Uhr die U-Bahn nehmen musste, konnten die Schüler keine Verbesserungsvorschläge mehr äußern. Die Klassenlehrerin schrieb mir jedoch eine E-Mail mit den Verbesserungsvorschlägen der Kinder. Zwei Kinder beklagten, dass eine der Kerzen, die bei Experiment 3A verwendet werden sollten, verbeult war und deshalb der Effekt im Spiegel nicht so gut sichtbar war. Die Lehrerin schrieb weiterhin, dass es alle Schüler schade fanden, dass es durch den

Alarm zu einem vorschnellen Schluss kam und dass sie gerne noch weiter experimentiert hätten.
Im Allgemeinen war das Feedback zum Schülerlabor sehr positiv.

Schon als die Schüler ankamen, war ich überrascht, wie gut erzogen, ruhig und angenehm die Klasse war. Dies galt für beide Klassen sowie auch für die Experimentierphasen und hatte zur Folge, dass beide Vormittage wie geplant und in einer angenehmen, produktiven Atmosphäre verliefen.

9.1 Auswertung der einzelnen Stationen

Um zu sehen, wie die Schüler die Aufgaben bearbeitet haben, werde ich im Folgenden die einzelnen Stationen unter Zuhilfenahme der Forscherhefte der Schüler auswerten.

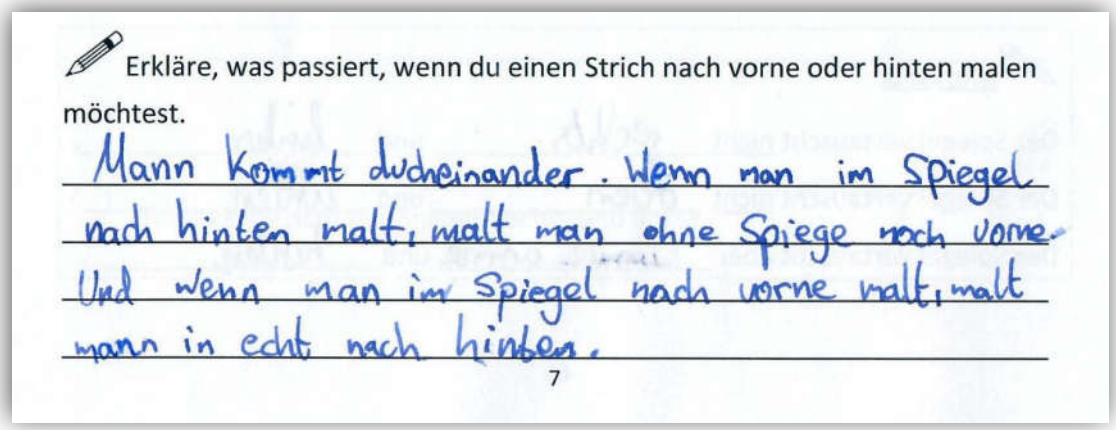
Station 1: Was vertauscht der Spiegel?
Die erste Station lief zum Großteil unproblematisch ab. Bei Experiment 1A wurden die Aufgaben im Forscherheft fast ausschließlich richtig beantwortet. Nur sehr wenige Schüler haben angekreuzt, dass sich das Spiegelbild der Figur auf sie zu bewegt, wenn sie die Figur vom Spiegel weg bewegen und umgekehrt. Wenige Schüler haben außerdem trotz vorheriger richtiger Antworten die Tabelle falsch angekreuzt, die noch einmal zusammenfassen sollte, welche Seiten vom Spiegel vertauscht werden. Insgesamt erschien dieses Experiment jedoch für die Schüler verständlich und gut durchzuführen. Experiment 1B verlief noch unproblematischer, die Schülerantworten im Forscherheft waren richtig und auch während des Schülerlabortages habe ich nicht erlebt, dass zu diesem Experiment Fragen aufgetaucht sind. Anders verlief es mit Experiment 1C, bei dem den Schülern klar werden sollte, dass der Spiegel vorne und hinten vertauscht. Dies sollten sie herausfinden, indem sie einen Würfel einmal vor und einmal hinter Bauklötze stellen und bei beiden Varianten das Spiegelbild beobachten sollten. Hier fiel es ihnen schwer, eine Erklärung zu finden, warum sie die Gegenstände beim Spiegelbild anders sehen als beim Original vor dem Spiegel. In den Forscherheften findet sich oft die Erklärung, dass der Bauklotz den Würfel verdeckt. Besonders beim ersten Schülerlabor-Termin fiel mir auf, dass viele Kinder begründeten, dass ein Spiegel nur das sehe, was vor ihm stehe, er somit eine andere Seite der Gegenstände sehe und eine andere Perspektive zeige. Dies deckt sich mit den im Kapitel 5.2 beschriebenen Schülervorstellungen. Bei der zweiten Klasse, die das

Schülerlabor besuchte, fanden sich hingegen einige Schüler, die richtig antworteten, dass der Spiegel vorne und hinten vertausche und man somit die Rückseite der Objekte beim Spiegelbild sehen könne.
Auch bei Experiment 1D traten einige Schwierigkeiten auf. Viele Schüler haben die Aufgaben zu diesem Experiment nicht vollständig beantwortet und es ist ihnen schwergefallen zu formulieren, was sie herausgefunden hatten. Die ersten Aufgaben, bei denen die Schüler herausfinden und frei formulieren sollten, dass der rechte Buchstabe beim Spiegelbild auch rechts und der linke Buchstabe auch links zu sehen ist, waren dabei noch recht unproblematisch und wurden meist richtig gelöst. Schwierig wurde es jedoch, als sie feststellen sollten, dass der Spiegel vorne und hinten vertauscht. Nur wenige Schüler lösten alle Aufgaben dieses Experiments richtig, einige Schüler hatten jedoch richtige Ansätze. Sie schrieben auf, dass die blaue und die gelbe Seite vertauscht werden. Hier könnte man gut anknüpfen, da dies nur noch abstrahiert werden müsste und statt „blau“ und „gelb“ die Begriffe „vorne“ und „hinten“ verwendet werden sollten. Die Schüler, die dieses Experiment bearbeitet hatten, füllten trotz vorheriger Schwierigkeiten die Merksätze jedoch richtig aus.

Im Vorfeld hatte ich nicht erwartet, dass die Experimente, die sich darauf beziehen, dass vorne und hinten vertauscht werden, für die Schüler so problematisch sind. Aus diesem Grund hatte ich die Aufgaben größtenteils offen, ohne vorgefertigte Antworten gestellt. Da diese beiden Experimente den Schülern jedoch Schwierigkeiten bereiteten und die Mehrzahl falsch antwortete, würde ich das Forscherheft an dieser Stelle überarbeiten. Eventuell würden die Experimente den Schülern leichter fallen, wenn sie die Aufgaben nicht frei beantworten müssten.

Station 2: Das Spiegellabyrinth

Die Station, die sich dem Spiegelzeichnen widmete, bearbeiteten die Schüler mit großer Freude. Einige fanden es nicht nur schwer, nach vorne oder nach hinten zu malen, sondern auch nach rechts oder links zu zeichnen. Die Aufgabe, die in Abbildung 26 dargestellt ist, wurde von den Schülern fast ausschließlich richtig beantwortet. Insgesamt fiel nicht nur bei dieser Station auf, dass die Schüler sich treffend und gut nachvollziehbar ausdrücken konnten.


Erkläre, was passiert, wenn du einen Strich nach vorne oder hinten malen möchtest.

Mann kommt durcheinander. Wenn man im Spiegel nach hinten malt, malt man ohne Spiege nach vorne. Und wenn man im Spiegel nach vorne malt, malt mann in echt nach hinten.

7

Abbildung 26: Schülerantwort zu Station 2

Station 3: Wo sieht man das Spiegelbild?

Station 3 befasst sich mit dem Ort des Spiegelbildes und stellte für die Schüler eine Herausforderung dar. Auch hier hatten einige Probleme und sehr viele Fragen bei der Durchführung der Experimente und der Bearbeitung der Aufgaben. Die Schüler konnten die richtige Position der Kerze und der Kappe des Stiftes erst nach langem Probieren und mit Hilfe herausfinden. Beim ersten Schülerlabortag hatte ich die Versuche so vorbereitet, dass die Spiegelfliesen durch je eine Stütze links und rechts aufrecht standen. Dies irritierte offenbar die Schüler, sodass viele probierten, Kerzen sowie die Kappen des Stiftes auf die Stützen zu legen, um so ein vollständiges Spiegelbild wahrzunehmen. Aufgrund dessen stützen wir die Spiegelfliesen beim darauffolgenden Termin mit nur je einer Stütze an der linken Seite. Es war für die Schüler insgesamt schwierig zu akzeptieren, dass die zweite Kerze beziehungsweise die Kappe des Stiftes hinter den Spiegelrand geschoben werden mussten. Hatten sie

jedoch das Bild einer vollständigen Kerze beziehungsweise eines Stiftes wahrgenommen, konnten sie die Aufgaben oft richtig lösen (siehe Abb. 27).

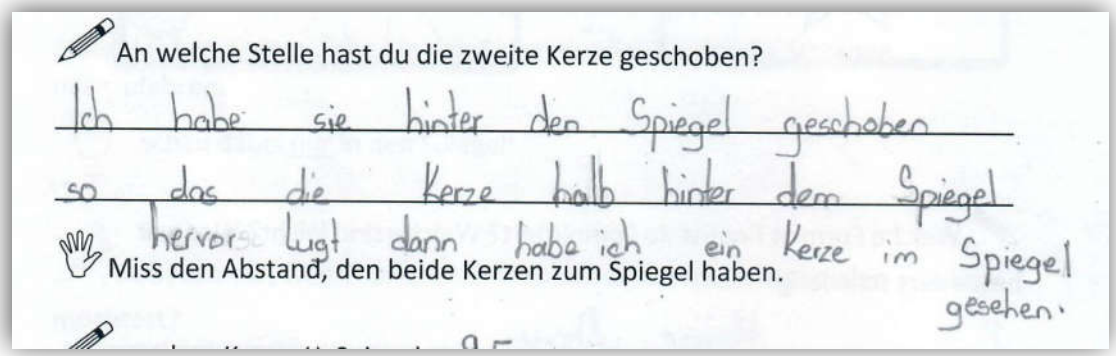


Abbildung 27: Schülerantwort zu Experiment 3A

Nur einige Schüler beantworteten bei Experiment 3A die Frage, wo man das Spiegelbild sehe, falsch. Obwohl sie oftmals korrekt angaben, die Kerze hinter den Spiegel geschoben zu haben, schrieben sie, dass sie das Spiegelbild im Spiegel sähen. Die Antwort, man sähe das Spiegelbild an der rechten Seite des Spiegels, kam auch oft vor.

Bei Experiment 3B wurden die Abbildungen des Stiftes im Forscherheft sehr oft richtig ausgemalt (siehe Abb. 28). Auch die anschließende Frage wurde häufig korrekt beantwortet und genannt, dass Stift und Kappe denselben Abstand zum Spiegel haben müsse, damit ein ganzer Stift im Spiegel zu sehen sei, obwohl die Kappe hinter dem Spiegel liege.

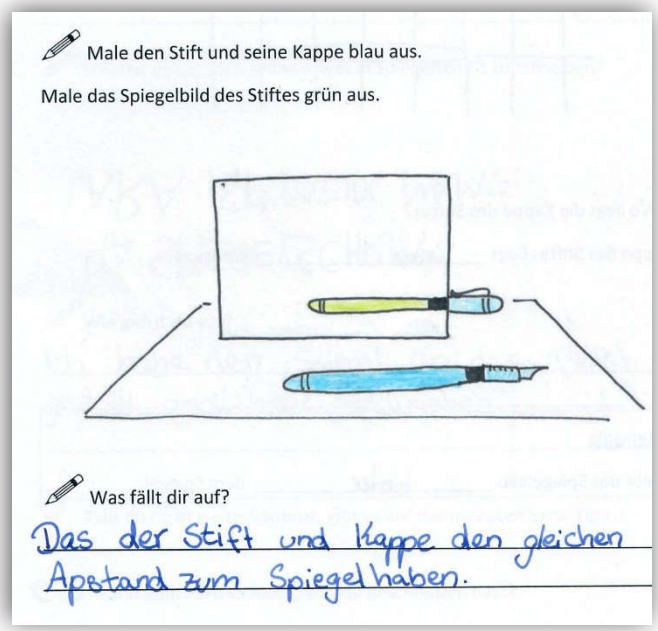


Abbildung 28: Schülerantwort zu Experiment 3B

Bei der zweiten Abbildung, die den Stift und den Spiegel aus der Vogelperspektive zeigen, wurde die Kappe des Stiftes oft direkt an den Spiegel oder nur ein Kästchen hinter den Spiegel gemalt (siehe Abb. 29). Einige Schüler hatten zudem Probleme zu erkennen, aus welcher Perspektive die Gegenstände dargestellt wurden, sodass manche Schüler dazu aufgefordert werden mussten, aufzustehen und von oben herabzusehen.

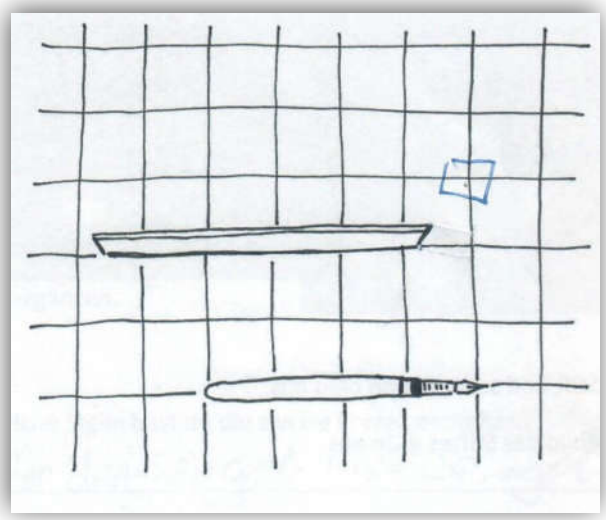


Abbildung 29: Schülerantwort zu Experiment 3B

Auch bei diesem Experiment schrieben die Schüler korrekt, dass sie die Kappe des Stiftes hinter dem Spiegel platziert hatten. Trotzdem beantworteten viele, wie auch beim vorherigen Experiment, dass man das Spiegelbild im Spiegel sehe. Dennoch wurden die Aufgaben zu Experiment 3B öfter richtig beantwortet als bei Experiment 3A. Des Weiteren fiel auf, dass manche Schüler nicht bemerkten, dass Experiment 3B aus zwei Seiten bestand und sie umblättern mussten. An dieser Stelle wäre somit ein Vermerk am unteren Seitenrand sinnvoll, dass es auf der nächsten Seite weitere Aufgaben gibt.

Da diese Station den meisten Schülern Probleme bereitete, wäre es sinnvoll, diesen Sachverhalt im Unterricht aufzugreifen und mit den Schülern daran weiterzuarbeiten.

Station 4: Spiegelschrift

Diese Station verlief wie geplant, es traten keine Probleme auf und die Schüler schienen viel Spaß bei der Bearbeitung zu haben. Bei Experiment 4A sollten sie selbst etwas in Spiegelschrift schreiben, dazu hatte ich auf der darauffolgenden Seite Tipps, falls sie Hilfe brauchten. Viele Schüler haben den Verweis auf die Tipps nicht gelesen, sodass sie auch die Tipps erst gesehen haben, nachdem sie die Aufgaben bereits bearbeitet hatten. Hier müsste man den Hinweis auf die Tipps etwas zentraler platzieren, sodass ihn die Schüler direkt sehen.

Insgesamt aber beschäftigten sich die Schüler oft sehr lange mit der Station. Einige waren sehr kreativ, schrieben lange Sätze bis hin zu ganzen Witzen (siehe Abb. 30; 31), teilweise sogar ohne Hilfsmittel. Nur bei Experiment 4C tauchten vermehrt Fragen auf, warum im Straßenverkehr Spiegelschrift sinnvoll sein kann.

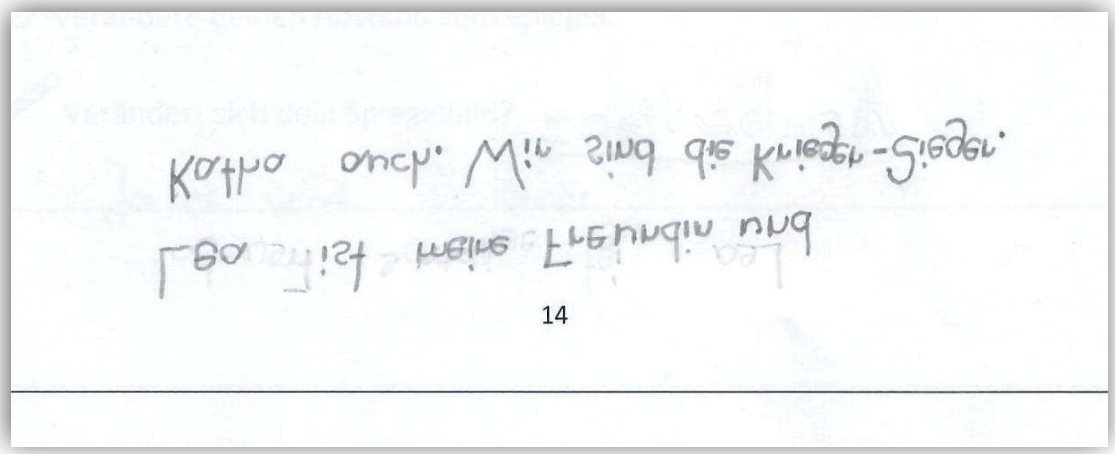


Abbildung 30: Schülerantwort zu Experiment 4A

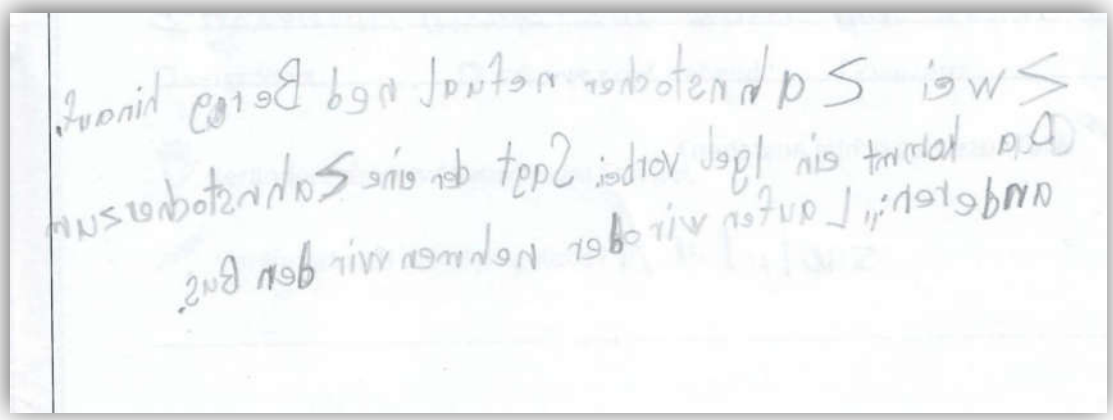


Abbildung 31: zweite Schülerantwort zu Experiment 4A

Station 5: Besondere Spiegel

Station 5 verlief größtenteils auch wie geplant und ohne Schwierigkeiten. Bei Experiment 5A mit dem Hohl- und dem Wölbspiegel fiel jedoch auf, dass einige Schüler den Abstand zum Spiegel nicht genug vergrößerten. Sie standen teilweise nicht auf und entfernten sich nicht ausreichend, somit konnten sie die gewünschten Effekte teilweise nicht wahrnehmen. Dies äußerte sich auch darin, dass die Aussagen in der Tabelle nicht immer richtig angekreuzt wurden.

Auch Experiment 5B und 5C verliefen unproblematisch. Bei Experiment 5C erkannten die meisten Schüler, dass die Spiegelbilder beim Winkelspiegel nicht immer gleich aussehen. Die meisten Schüler erklärten dies aber mit den unterschiedlichen Lichtverhältnissen, je nach Öffnungsgrad des Winkelspiegels. Nur sehr wenige formulierten, dass man „den Würfel immer von einer anderen Seite sieht“. Auch die Skizzen der Schüler waren interessant. Zunächst sollten sie skizzieren, wie die Flächen des Winkelspiegels zueinander stehen müssen, damit eine bestimmte Anzahl an Spiegelbildern entsteht. Die meisten Schüler zeichneten hier eine Draufsicht, also zwei Striche für die Spiegel und einen Kreis für den Gegenstand. Zwei Schülerinnen zeichneten jedoch sehr sorgfältig und genau, wie sie den Winkelspiegel aus ihrer Perspektive sahen (siehe Abb. 32). Einige Schüler haben bei ihren Skizzen den Öffnungsgrad nicht stark variiert, sodass kaum ein Unterschied zwischen den einzelnen Skizzen erkennbar war.

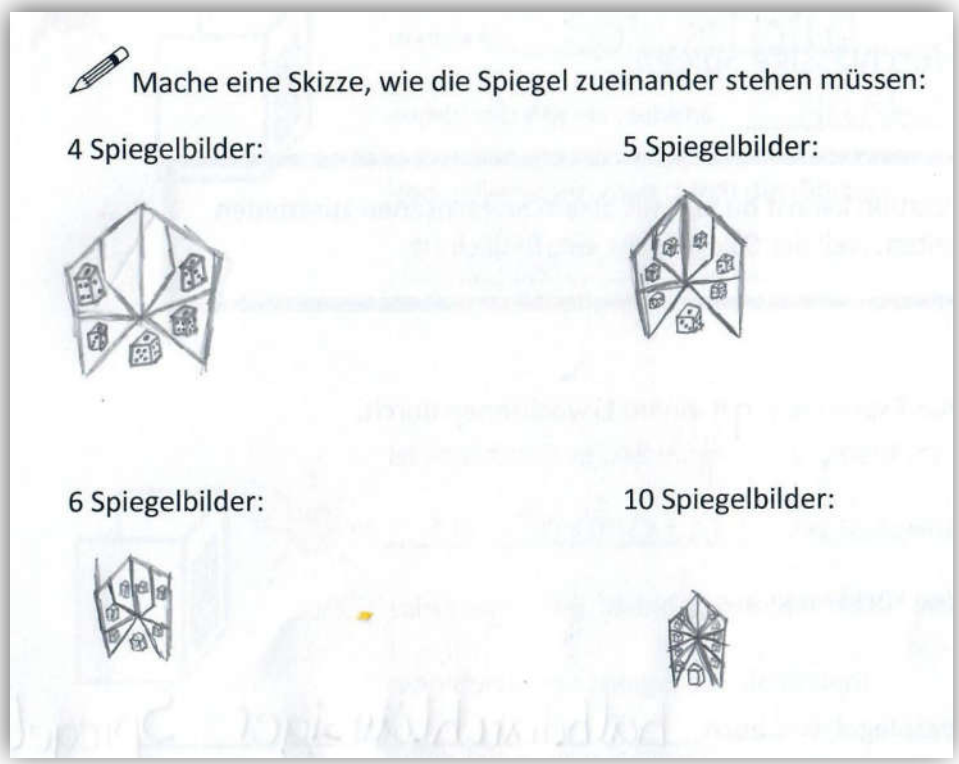


Abbildung 32: Schülerskizze zu Experiment 5C

Nur wenige Schüler zeichneten, wie die Spiegel zueinander stehen müssen, um unendlich viele Spiegelbilder zu erzeugen. Ein Schüler zeichnete, wie bei der Planung erwartet, zwei parallele Linien für die Spiegel. Ein anderer Schüler zeichnete wie in Abbildung 33 zu sehen ist ebenfalls zwei parallele Spiegel aus seiner Perspektive. Bei der Betrachtung der Skizzen fiel auf, dass viele Schüler weiterhin den Winkelspiegel und nicht zwei einzelne Spiegelfliesen benutzt haben. Betrachtet man Abbildung 34, hat der Schüler offenbar zwei Winkelspiegel aneinander gestellt, sodass sie ein Quadrat ergaben. Mithilfe des Gegenstandes in der Mitte der Spiegel hat er somit auch „unendlich viele“ Spiegelbilder erzeugt.

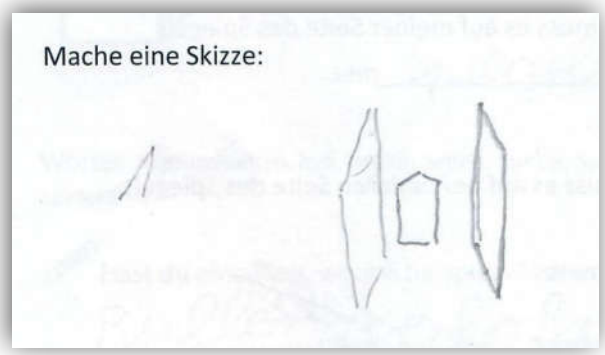


Abbildung 33: Schülerskizze zu Parallelspiegeln

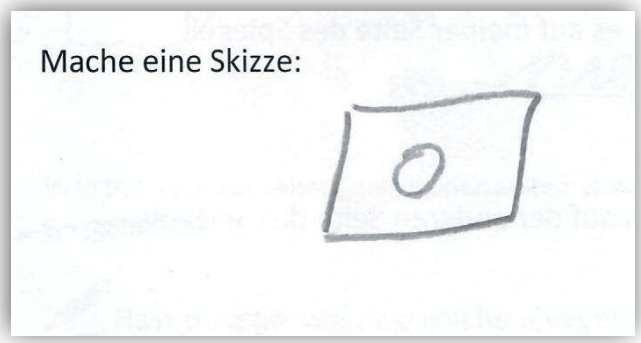


Abbildung 34: zweite Schülerskizze zu Parallelspiegeln

Station 6: Der Spionagespiegel

Die letzte Station war für die Schüler die eindrucksvollste. Sie zeigten viel Begeisterung, den Spiegel zu erforschen, was zur Folge hatte, dass die einzelnen Sechsergruppen viel Zeit an dieser Station verbrachten. Beim Ausfüllen des Lückentextes hatten die Schüler meist Schwierigkeiten, sodass die einzelnen Situationen noch einmal ausprobiert und Lichtverhältnisse variiert werden mussten. Insgesamt klappte das Ausfüllen der Texte jedoch mit dieser Hilfestellung gut. Dies lag vermutlich hauptsächlich daran, dass die beiden Klassen leistungsstark waren.

Im Allgemeinen war ich über die guten Schreib- und Lesekompetenzen der Schüler sehr positiv überrascht. Nur ein Schüler hatte größere Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgaben im Forscherheft. Er ist in Afrika aufgewachsen und erst kürzlich zurück nach Deutschland gekommen. Aus diesem Grund hatte er Probleme, sich auf Deutsch schriftlich auszudrücken. Da die Schreib- und Lesekompetenzen bis auf diese eine Ausnahme sehr zufriedenstellend waren, stellte das Forscherheft meiner Ansicht nach einen angemessenen Schwierigkeitsgrad für beide Klassen dar, wenn auch die erste Klasse nicht so viel bearbeitet hatte wie die zweite. Dennoch würde ich wie oben bereits beschrieben am Forscherheft Kleinigkeiten ändern, wie beispielsweise den Verweis, dass es bei manchen Versuchen auf der nächsten Seite weitergeht. Auch würde ich die Aufgaben zu dem Versuch mit den Buchstaben bei Station 1 im Forscherheft ändern. In der jetzigen Form war es für die Schüler offenbar zu schwer, zu einer Erkenntnis zu kommen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoller, die Fragen kleinschrittiger zu stellen, um den Erkenntnisprozess zu erleichtern.
Station 3, die sich auf den Ort des Spiegelbildes bezog, war für die Schüler auch schwer zu bearbeiten. Zum einen hatten sie mit der Durchführung der beiden Versuche Schwierigkeiten, sodass die Schüler Hilfestellung benötigten. Zum anderen war es für die meisten Schüler schwer zu verinnerlichen, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegt. Wie schon erwähnt, sollte dies im Unterricht nachbearbeitet werden.
Zusammenfassend ist mir jedoch klar geworden, dass das Forscherheft und die Stationen individuell für die Klassen angepasst werden sollten. Bei der Klasse am ersten Schülerlabortag wäre eine längere Bearbeitungszeit beziehungsweise die Möglichkeit, die Experimente an einem anderen Tag fortführen zu können, wünschenswert gewesen. Für die zweite Klasse war der Vormittag genau ausreichend,

da viele Schüler das Forscherheft vollständig bearbeitet hatten. Für eine dritte Klasse wäre das entwickelte Schülerlabor vermutlich zu anspruchsvoll und umfangreich gewesen.

Insgesamt hatten die Schüler einen schönen, abwechslungsreichen und spannenden Tag im Schülerlabor und haben vieles gelernt. Dabei wurden sowohl fachliche als auch motivationale Lernziele erreicht.

10 Fazit

Zu Beginn der Arbeit wurde dargestellt, dass für die Grundschule ein Schülerlabor zum Spiegel entwickelt werden soll. Dabei sollten Motivation, Interesse und Begeisterung für die Naturwissenschaften, und in diesem Fall besonders für die Physik, gefördert werden. Außerdem sollte den Schülern selbstständiges Experimentieren ermöglicht werden, durch das sie sich mit Phänomenen des Spiegels auseinandersetzen und beschäftigen können. Dabei sollten die Schüler auch neue, fachliche Erkenntnisse gewinnen. Ein Anspruch an die Entwicklung des Schülerlabores war außerdem, das Thema abwechslungsreich aufzubereiten, sodass es für die Schüler eine sinnvolle Ergänzung zum Schulunterricht und somit eine gute Lernmöglichkeit an einem außerschulischen Lernort darstellt.
Die beiden Schülerlabortage haben mir gezeigt, wie begeisterungsfähig und intensiv sich Grundschulkinder mit physikalischen Sachverhalten auseinandersetzen können.
Meiner Meinung nach ist das Schülerlabor zum Spiegel für die Grundschulklassen gut geeignet. Ich denke, besonders vierte Jahrgangsstufen können von einem Besuch profitieren. Bis auf einzelne wenige Aspekte sind die Schüler sehr gut zurechtgekommen, hatten Spaß bei der Bearbeitung und haben Neues gelernt. Gerade das positive Feedback der Schüler und der Lehrerinnen hat gezeigt, dass motivationale Ziele erreicht wurden. Bei der Durchsicht der Forscherhefte wurde deutlich, dass auch viele fachliche Lernziele erreicht werden konnten. Ob das entwickelte Schülerlabor auch bei einer dritten Klasse erfolgreich wäre, hängt von der Klasse ab. Sicherlich müsste es angepasst und der Umfang etwas reduziert werden.

Ich habe bei der Anfertigung dieser Arbeit persönlich viel gelernt. Durch das häufige Verändern und Verbessern des Forscherheftes und der einzelnen Aufgaben ist mir noch einmal mehr bewusst geworden, wie viel Zeit die Planung solcher Unterrichtsgegenstände einnimmt und wie wichtig die gründliche Beschäftigung sowohl mit dem Fachlichen als auch mit verschiedenen methodisch-didaktischen Möglichkeiten ist. Besonders schwer ist mir gefallen, eine Einschätzung zu treffen, was für ein Umfang an Aufgaben und Experimenten für die dreistündige Bearbeitung des Schülerlabors angemessen wäre. Erschwerend war außerdem, dass ich die Klassen nicht kannte und anfangs auch nicht wusste, ob eine dritte oder vierte Klasse das Schülerlabor besuchen würde. Des Weiteren fiel es mir schwer einzuschätzen, welcher

Schwierigkeitsgrad für die Aufgaben angemessen wäre. Da forschendes und entdeckendes Lernen gefördert werden sollte, die Schüler jedoch auch in ihrem Erkenntnisprozess unterstützt werden sollten, war es nicht leicht, einen guten Mittelweg zu finden. Ich habe mich bemüht, die Aufgaben abwechslungsreich zu gestalten und so zu formulieren, dass die Schüler sowohl etwas gelenkt als auch gefordert und angeregt werden, sich selbst Gedanken zu machen und Lösungen zu finden. Ich denke, im Großen und Ganzen ist mir dies gut gelungen. Die oftmals ausführlichen Antworten auf offen gestellte Fragen zeigen, dass das Niveau der Aufgabenstellungen für die beiden Klassen im Wesentlichen angemessen war. Lediglich die Aufgaben zu Experiment 1D bei Station 1 stellten für die Schüler eine große Herausforderung dar, sodass dies eventuell überarbeitet werden sollten. Ergänzt werden könnte das Forscherheft außerdem um Hinweise, dass die Bearbeitung mancher Experimente auf der folgenden Seite fortgesetzt wird.

Da es für die Schüler schwer war zu begreifen, dass der Ort des Spiegelbildes hinter dem Spiegel liegt, ist es wünschenswert und sinnvoll, die Experimente im Unterricht nachzubesprechen und Aspekte, die Schwierigkeiten bereiteten, noch einmal aufzugreifen.

Für mich war die Erarbeitung dieses Schülerlabors gewinnbringend, da ich viel Erfahrungen gesammelt habe und das erarbeitete Material eventuell auch später im Unterricht verwenden kann. Ganz besonders gefreut hat mich das positive Feedback der beiden Klassen und der Lehrerinnen.

Literaturverzeichnis

Backhaus, U. & Braun, T. (2009): Impulse für offenes Experimentieren – Forschendes Lernen in der Physik. In: Messner, R. (Hrsg.): *Schule forscht: Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 106-121). Hamburg: edition Körber-Stiftung.

Backhaus, U., Boysen, G., Burzin, S., Heise, H., Heepmann, B., Lichtenberger, J., Mikelskis-Seifert, S., Schlichting, H. J. & Schön, L.-H. (2011): *Fokus Physik: Gymnasium* (Band 1). Berlin: Cornelsen Verlag.

Bäuml, M.-A. (1979): *Das Experiment im Sachunterricht der Grundschule – Umweltorientiertes, wissenschaftsorientiertes, schülerorientiertes Lernen durch Experimentieren*. Anbach: Michael Prögel Verlag.

Behrendt, M. (2009): Eine Reise durch Schülerlabore und Science Center. In: Messner, R. (Hrsg.): *Schule forscht: Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 145-165). Hamburg: edition Körber-Stiftung.

Berger, V. (2010): Die experimentelle Methode. In: Mikelskis-Seifert, S. & Rabe, T. (Hrsg.): *Physik Methodik – Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl.) (S. 29-43). Berlin: Cornelsen Verlag.

Berger, V. (2010a): Im Unterricht experimentieren. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.): *Physik-Didaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Auflage) (S. 149-167). Berlin: Cornelsen Verlag.

Berthold, C., Christ, D., Braam, G., Haubrich, J., Herfert, M., Hilscher, H., Kraus, J. & Möller, C. (2012): *Physikalische Freihandexperimente* (Band 2: Akustik, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Optik) (4. Auflage). Köln: Aulis Verlag. Deubner.

Bosse, U. (2003): Lernen an Phänomenen. In: Reeken, D. v. (Hrsg.): *Handbuch Methoden im Sachunterricht* (S.184-195). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Brühne, T. & Sauerborn, P. (2014): *Didaktik des außerschulischen Lernens* (5. unveränderte Auflage). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Blumöhr, R., Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. (2013): Spiegel. In: Wilhelm, T.; Wiesner, H. (Projektleitung): *SUPRA - Sachunterricht praktisch und konkret*. Goethe-Universität Frankfurt am Main. [Internet] Verfügbar unter: http://www.supra-lernplattform.de/index.php/lernfeld-natur-und-technik/spiegel [letzter Zugriff: 16.10.2017].

Blumör, R. (1993): *Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik – Ein Beitrag zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts in der Grundschule*. Magdeburg; Essen. Westarp-Wissenschaften.

Boysen, G., Glunde, H., Heise, H., Muckenfuß, H., Schepers, H. & Wiesmann, H.-J. (1991): *Physik für Gymnasien: Länderausgabe A* (Gesamtband). Berlin: Cornelsen Verlag.

Bölsterli, K., Seilnacht, T. & Wilhelm, M. (2014): Das Lernlabor der Pädagogischen Hochschule Luzern. In: Brovelli, D., Fuchs, K., Rempfler, A. & Sommer Häller, B. (Hrsg.): *Außerschulische Lernorte – Impulse aus der Praxis* (Tagungsband zur 3. Tagung Außerschulische Lernorte der PH Luzern vom 10. November 2012) (S. 89-94). Münster [u.a.]: LIT Verlag.

Bredthauer, W., Klar, G., Lichtfeld, M., Reimers, J., Schmidt, M. & Wessels, P. (2009): *Impulse Physik 1 – für die Mittelstsufe der Gymnasien*. Stuttgart [u.a.]: Ernst Klett Verlag.

Brühne, T. & Sauerborn, P. (2014): *Didaktik des außerschulischen Lernens* (5. Auflage). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.) (2007): *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. [Internet] Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/pub/Bildungsforschung_ Band_1.pdf [letzter Zugriff am 20.09.2017].

Burk, K. & Claussen, C. (Hrsg.) (1994): *Lernorte außerhalb des Klassenzimmers I: Didaktische Grundlegung und Beispiele* (5. unveränderte Auflage). Frankfurt am Main: Arbeitskreis Grundschule e.V.

Cieplik, D. (Hrsg.) (2010): *Erlebnis Physik 1*. Braunschweig: Schroedel Verlag.

Diehl, B., Erb, R., Heise, H., Kotthaus, U., Lindner, K., Schlichting, H.-J., Schmalhofer, C., Schön, L.-H., Schröder, K. G., Schulze, H., Schulze, P. M.,

Tews, W., Tillmanns, P. C. & Winter, R. (2008): *Physik Oberstufe* (Gesamtband). Berlin: Cornelsen Verlag.

Duit, R. (2003): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Kircher, E. & Schneider, W. B. (Hrsg.). *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1-26). Berlin [u.a.]: Springer.

Duit, R. (2011a): Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S. 3-7) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Duit, R. (2011b*): Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Stand der Dinge und Ausblick.* In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S. 267-272) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verl. Deubner.

Duit, R. (2011c): Vorstellung und Experiment – Von der eingeschränkten Überzeugungskraft experimenteller Beobachtungen. In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg*.): Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S. 20-22) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Dühlmeier, B. (2010): Grundlagen außerschulischen Lernens. In: Dühlmeier, B. (Hrsg.): *Mehr außerschulische Lernorte in der Grundschule – neun Beispiele für den fächerübergreifenden Sachunterricht* (2. erweiterte und überarbeitete Auflage) (S. 6-50). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Engelhardt, P., Herdt, D., Müller, R., Schmidt-Roedenbeck, C. & Wiesner, H. (2005): Wölb- und Hohlspiegel, Spiegelteleskope, Auge, Farben. In: Born, G. & Schwarze, H. (Hrsg.): *Unterricht Physik. Experimente – Medien – Modelle* (Band 3/II: Optik III/2). Köln: Aulis Verlag Deubner.

Engeln, K. (2004): Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. In: Fischler, H., Niedderer, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.): *Studien zum Physiklernen* (Band 36). Berlin: Logos Verlag.

Engeln, K. (2010): Praktikum, Lernort Labor. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.): *Physik-Didaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Auflage) (S. 167-176). Berlin: Cornelsen Verlag.

Fiesser, L. (2003): Freihandversuche im Physikunterricht. In: Kircher, E. & Schneider, W. B. (Hrsg.): *Physikdidaktik in der Praxis* (korrigierter Nachdruck) (S. 248-265). Berlin [u.a.]: Springer Verlag.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht* (vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Heran-Dörr, E. & Wiesner, H. (2010): Themenfeld Spiegel und Spiegelbilder. In: Kahlert, J. & Demuth, R. (Hrsg.): *Wir experimentieren in der Grundschule. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge* (S. 114-141) (2. durchgesehene Auflage). Köln: Aulis Verlag Deubner.

Hempelmann, R. (2016): *BNE im Schülerlabor*. [Internet]. Verfügbar unter: http://www.bne-im-schuelerlabor.de [letzter Zugriff: 18.10.2017].

Hessische Lehrkräfteakademie (2017): *Bildungsstandards*. [Internet] Verfügbar unter: https://la.hessen.de/irj/LSA_Internet?cid=0c7f992fdd9dae5ffec4ca280a08e29a [letzter Zugriff am 20.09.2017].

Hessisches Kultusministerium (Hrsg.) (2011): *Bildungsstandards und Inhaltsfelder – Das neue Kerncurriculum für Hessen. Primarstufe. Sachunterricht*. [Internet] Verfügbar unter: https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kc_sachunterricht_prst_2011.pdf [letzter Zugriff am 20.09.2017].

Joachim Herz Stiftung: Leifi Physik (o. J.): *Optik: Lichtreflexion: Spiegelgeschichte*. [Internet]. Verfügbar unter: https://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/geschichte [letzter Zugriff: 09.11.2017].

Jung, W. (2011): Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der*

Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner (S. 15-19) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Kircher, E. & Schneider, W. B. (Hrsg.) (2003). *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin [u.a.]: Springer.

Köster, H. (2006): Freies Explorieren mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht. In: Lück, G; Köster, H (Hrsg.): *Physik und Chemie im Sachunterricht* (S.43-56). Bad Heilbrunn [u.a.]: Julius Klinkhardt [u.a.].

Köster, H. & Lück, G. (2006): Einleitung. In: Lück, G; Köster, H (Hrsg.): *Physik und Chemie im Sachunterricht* (S.7-11). Bad Heilbrunn [u.a.]: Julius Klinkhardt [u.a.].

Kühlke, D. (2011): *Optik: Grundlagen und Anwendungen; mit Abbildungen, Tabellen, Beispielen und Aufgaben mit Lösungen* (3. überarbeitete und erweiterte Auflage). Frankfurt am Main: Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch.

Kürten, J. (o. J. a): *Schulverein des Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasiums e.V.* [Internet]. Verfügbar unter: http://www.schulverein-bonni.de/jpg/projekte-2010_2011-physik_demonstrationsspiegel-1.jpg [letzter Zugriff: 09.11.2017].

Kürten, J. (o. J. b): *Schulverein des Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasiums e.V.* [Internet]. Verfügbar unter: http://www.schulverein-bonni.de/jpg/projekte-2010_2011-physik_demonstrationsspiegel-2.jpg [letzter Zugriff: 09.11.2017].

Landtwing Blaser, M. (2014): Möglichkeiten und Grenzen der Handlungsorientierung in der Gestaltung außerschulischer Lernorte. In: Brovelli, D., Fuchs, K., Rempfler, A. & Sommer Häller, B. (Hrsg.): *Außerschulische Lernorte – Impulse aus der Praxis* (Tagungsband zur 3. Tagung Außerschulische Lernorte der PH Luzern vom 10. November 201)2 (S. 95-103). Münster [u. a.]: LIT Verlag.

LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. (2017): *Die Karte für junge Forscher*. [Internet]. Verfügbar unter: http://www.schuelerlabor-atlas.de/ [letzter Zugriff: 18.10.2017].

Lewalter, C. (2005): *Freiwillige Feuerwehr Waldsolms-Brandoberndorf.* [Internet]. Verfügbar unter: http://www.feuerwehr-

brandoberndorf.de/Aktuelles/Beschrift/beschrift.html [letzter Zugriff: 09.11.2017].

Miller, S. (2003): Werkstattunterricht und Stationenlernen. In: Reeken, D. v. (Hrsg.): *Handbuch Methoden im Sachunterricht* (S. 272-281). Hohengehren: Schneider Verlag.

Möller, K. (2007): Handlungsorientierung im Sachunterricht. In: Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., Kahlert, J., Reeken, D. v. & Wittkowske, S. (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 411-416). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Nuhn, H.-E. (1995): *Partnerarbeit als Sozialform des Unterrichts*. Weinheim; Basel: Beltz Verlag.

Peschel, M. (2014): Außerschulische, Lernorte in der Sachunterrichtsausbildung. In: Brovelli, D., Fuchs, K., Rempfler, A. & Sommer Häller, B. (Hrsg.): *Außerschulische Lernorte – Impulse aus der Praxis* (Tagungsband zur 3. Tagung Ausßerschulische Lernorte der PH Luzern vom 10. November 2012) (S.131-135). Münster [u.a.]: LIT Verlag.

Plasa, T. (2013): Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren In: Fischler, H., Niedderer, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Band 152). Berlin: Logos Verlag.

Reeken, D. v. (2003): Beobachtung. In: Reeken, D. v. (Hrsg.): *Handbuch Methoden im Sachunterricht* (S.39-46). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Salzmann, C. (2007): Lehren und Lernen in außerschulischen Lernorten. In: Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., Kahlert, J., Reeken, D. v. & Wittkowske, S. (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 433-438). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Schlichting, H. J. (2010): Freihandexperimente zwischen Schulexperimenten und Alltagsphänomenen. In: Hellmich, F., Köster, H. & Nordmeier, V. (Hrsg.): *Handbuch Experimentieren* (S. 131-152). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Wiesner, H. (2011a): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S.155-159) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Wiesner, H. (2011b): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten mit dem Spiegelbild. In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S. 80-83) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Windt, A. (2011): Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich - Evaluation verschiedener Lernsituationen. In: Fischler, H., Niedderer, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Band 122). Berlin: Logos Verlag.

Wodzinski, R. (2010): Experimentieren lernen. In: Hellmich, F., Köster, H. & Nordmeier, V. (Hrsg.): *Handbuch Experimentieren* (S. 153-170). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Wodzinski, R. (2011): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Hopf, M., Müller, R. & Wodzinski, R. (Hrsg.): *Schülervostellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (S. 23-36) (3. unveränderte Auflage). Köln: Aulis-Verlag Deubner.

Anhang

Anhang 1: Forscherheft

Anhang 2: Ablaufplan

Anhang 3: Materialliste

Anhang 4: Stationskarten

Anhang 5: Pfeile für Experiment 1B

Anhang 6: Buchstaben für Experiment 1D

Anhang 7: Malvorlagen für Station 2

Anhang 8: Symmetriespiel