

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik

Experimentierstationen in der Grundschule

Schriftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung für ein
Lehramt an Grundschulen im Frühjahr 2009

eingereicht von
Saskia Wüst
im September 2008

Betreuer: AR Dr. Thomas Wilhelm

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei allen, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst vielen Dank an die Grundschule Reichenberg, Frau Ludwig und die vielen Schüler, die die Stationen mit so großer Begeisterung ausprobiert haben. Die Experimente in einer so freundlichen und offenen Schule aufbauen zu dürfen war eine große Hilfe.

Ich danke auch Herrn Dr. Schuller, der durch seine tatkräftige Unterstützung und praktischen Ideen vieles erleichtert, und durch seine Zusage, die Stationen zu pflegen, den Bau erst ermöglicht hat. Zudem wäre diese Arbeit ohne seine Anregung nie zustande gekommen.

Besonders erwähnt werden müssen auch die Mitarbeiter der Wissenschaftlichen Werkstatt für Forschung und Lehre, Abteilung Mechanik der Fakultät für Physik und Astronomie, allen voran Herr Eggermann: Herzlichen Dank für den sorgfältigen Bau der Stationen und die vielen guten Ideen zur Umsetzung.

Mein Dank gilt auch meinen Eltern und StR Uwe Hoffmann. Sie waren eine große Hilfe, nicht nur beim Lackieren, Zusammenbauen und Lösen kniffliger Konstruktionsprobleme.

Dem Gymnasium Dinkelsbühl sei für die Dauerleihgabe des begehbaren Kaleidoskops gedankt, durch die einige Mühe gespart werden konnte.

Danke ebenfalls an den Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik und Prof. Dr. Thomas Trefzger, ohne deren finanzielle Unterstützung und den zur Verfügung gestellten schönen Arbeitsplatz der Bau der Experimentierstationen und das Schreiben der Arbeit nicht so einfach möglich gewesen wären.

Besonders herzlichen Dank an AR Dr. Thomas Wilhelm, den Betreuer meiner Arbeit. Danke für eine weit über das übliche Maß hinausgehende Unterstützung, sowohl durch Ideen, Ratschläge als auch tatkräftige Mithilfe.

Vielen Dank!

Inhalt

1. Einleitung	4
2. Motivation	6
2.1.1. Entwicklungspsychologische Grundlagen.....	6
2.1.2. Experimente im Sachunterricht	9
2.1.3. Vorteile von Experimentierstationen.....	11
2.2. Warum Experimentierstationen in der Schule?.....	12
2.2.1. Befunde verschiedener Untersuchungen	13
2.2.2. Einsatzmöglichkeiten in der Schule	18
2.2.3. Die Kinderwerkstatt an der Grundschule Reichenberg	20
3. Die Stationen	21
3.1. Ziele.....	21
3.2. Planung und Bau.....	21
3.2.1. Auswahl der Stationen.....	21
3.2.2. Bau der Stationen	25
3.2.3. Texte an den Stationen	26
3.2.4. Lehrerinformationen.....	31
3.2.5. Vorschläge für Schülerarbeitsblätter	32
3.2.6. Eröffnungsveranstaltung.....	33
3.3. Beschreibung der einzelnen Stationen.....	34
3.3.1. Stationen zu optischen Phänomenen	35
3.3.2. Stationen zu akustischen Phänomenen	43
4. Kurzevaluation	47
4.1. Fragestellung und Vorgehen.....	47
4.1.1. Schülerbeobachtung	48
4.1.2. Lehrerbefragung	51
4.2. Ergebnisse.....	54
4.2.1. Schülerbeobachtung	54
4.2.2. Lehrerfragebogen.....	69
5. Einsatz der Stationen beim Tag der Physik	73
6. Zusammenfassung	78
7. Literaturverzeichnis	80
8. Erklärung nach §30 Abs. 6 LPO I	85
9. Anhang	86
9.1. Informationen für Lehrkräfte.....	87
9.2. Schülerarbeitsblätter	117
9.3. Texte an den Stationen	135
9.4. Baupläne für die Stationen	162
9.5. Fragebogen	206
9.6. Beobachtungsbogen.....	207
9.7. Einzelergebnisse der Besucherbeobachtung beim Tag der Physik	208

1. Einleitung

„Physik ist überall“ (Miericke 2004, S. 28) – nur nicht im Sachunterricht der Grundschule. Zumindest nicht explizit, und schon gar nicht mit Experimenten begreifbar gemacht. So traurig dies auch klingen mag, ist es doch Realität in den meisten Klassenzimmern.

Dass Kinder im Grundschulalter äußerst gerne physikalische Experimente durchführen und sehr an physikalischen Phänomenen interessiert sind, ist jedem klar, der sie einmal dabei beobachtet hat, wie sie begeistert ein solches Phänomen erforschen. Dennoch sind physikalische Versuche im Unterricht der Grundschule äußerst selten.

Um dem entgegenzuwirken wurden dreizehn Experimentierstationen entwickelt, an denen Schüler selbstständig experimentieren können. Sie wurden im Rahmen dieser Arbeit angefertigt und in der Grundschule Reichenberg aufgestellt, um sie dort zu erproben.

Die Vermittlung physikalischer Inhalte und Methoden in der Grundschule ist in der Physikdidaktik ein hoch aktuelles und sehr interessantes Thema. Dieses wird durch die Experimentierstationen einmal auf eine andere Art angegangen, die versucht, die Vorteile von außerschulischen Lernorten, wie z.B. Schülerlaboren, mit den Vorteilen von Unterricht im Klassenzimmer zu vereinen.

Sowohl in der Physikdidaktik, der Sachunterrichtsdidaktik, der Entwicklungspsychologie als auch der Neurobiologie wurde und wird untersucht, ob, warum und wie Physik bei jungen Kindern bereits sinnvoll ist. Auf einige dabei gewonnene Erkenntnisse geht das Kapitel „2. Motivation“ ein. Dort wird zunächst geklärt, warum in der Grundschule überhaupt experimentiert werden sollte, indem entwicklungspsychologische Grundlagen beleuchtet und sachunterrichtsdidaktische Überlegungen dargestellt werden. Dann werden Studien zu außerschulischen Lernorten beschrieben, anhand derer deutlich wird, dass besonders die feste Installation von Experimentierstationen in der Schule Erfolg versprechend ist, da sie die meisten langfristigen Effekte bei den Schülern bewirkt. Auch die vielfältigen Einsatz- und Verwendungsmöglichkeiten der Stationen werden aufgezeigt.

In Kapitel 3 werden als Schlussfolgerung aus den zuvor vorgestellten Studien die mit den Stationen verfolgten Ziele erläutert. Außerdem werden bedeutsame Schritte und leitende Ideen der Planung und des Baus beschrieben. Sehr wichtig sind dabei ein Bezug zum Lehrplan und die Entwicklung von Arbeitsblättern und einem Lehrerhandbuch, damit der Einsatz im Unterricht möglichst reibungslos erfolgen kann. Anschließend werden die einzelnen Stationen kurz beschrieben.

Das vierte Kapitel befasst sich mit der in der Grundschule Reichenberg durchgeführten Kurzevaluation der Stationen und soll klären, ob die geforderten Ziele erreicht werden. Dazu werden die durchgeführte Schülerbeobachtung und die Lehrerbefragung vorgestellt und ihre Ergebnisse diskutiert. Ebenfalls wird ein Vergleich mit einer Studie an ähnlichen Experimentierstationen durchgeführt.

Zuletzt wird der Einsatz der Stationen beim „Tag der Physik“ der Fakultät für Physik und Astronomie beschrieben. Die hier gemachten Besucherbeobachtungen werden denen aus der Grundschule Reichenberg gegenübergestellt.

Im Anhang der Arbeit finden sich das Lehrerhandbuch, die Schülerarbeitsblätter, die an den Stationen angebrachten Texte und natürlich die Baupläne für die Experimentierstationen. Außerdem wurden die verwendeten Beobachtungs- und Fragebögen angehängt. Die beiliegende CD enthält die Inhalte des Anhangs in digitaler Form, die mit dem Programm Autodesk Inventor 2008 erstellten Modelle der Stationen, sowie zwei Zeitungsartikel und einen Radiobebericht über die Experimentierstationen.

Im Folgenden werden Begriffe wie Schüler, Lehrer, etc. geschlechtsneutral verwendet, mit dem jeweiligen Begriff sind also Schüler und Schülerinnen, Lehrer und Lehrerinnen, usw. gemeint.

2. Motivation

2.1. Warum in der Grundschule experimentieren?

Im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Experimenten in der Grundschule wird häufig in Frage gestellt, ob Kinder in dem Alter überhaupt schon in der Lage seien, Versuche durchzuführen, Beobachtungen zu erklären und zu verstehen. Ist es sinnvoll, mit so jungen Kindern bereits zu experimentieren? Antworten auf diese Fragen findet man beispielsweise in der Lern- und Entwicklungspsychologie.

Auch die Didaktik des Sachunterrichts beschäftigt sich seit mehreren Jahrzehnten mit ähnlichen Problemen. Hier interessiert besonders die Frage, ob Grundschüler bereits in der Lage sind, erste Schritte in Richtung exakten naturwissenschaftlichen Denkens und Handelns zu gehen.

Auch zur Planung und Legitimierung von Science Centern sind Überlegungen zu Wirkung und Sinn von Experimenten nötig. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem Aspekt des freien Experimentierens an interaktiven Exponaten, man sucht nach den Vorteilen, die solche Ausstellungsstücke bieten.

Alle drei Blickrichtungen auf den Sinn von Experimenten sollen im Folgenden kurz umrissen werden.

2.1.1. Entwicklungspsychologische Grundlagen

Kinder im Grundschulalter und darunter haben ein natürliches Interesse an Phänomenen aus Natur und Technik. Ebenfalls sind sie daran interessiert, diese Phänomene zu untersuchen und zu erklären.

Dieses Interesse dürfte für jeden offensichtlich sein, der einmal die Gelegenheit hatte, sie bei der Erkundung eines Phänomens zu beobachten. „Beim Experimentieren sind sie mit Freude und Ausdauer bei der Sache“ (Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen 2005, S. 17).

In einer Untersuchung über das Denken von Grundschulern über Phänomene aus Natur und Technik konnte durch die „Analyse audiovisuell aufgezeichneter Befragungen und unterrichtsähnlicher Situationen in Kleingruppen“ (Möller 1990, S. 311) die Bereitschaft und das Interesse, den Phänomenen nachzugehen, ebenfalls festgestellt werden (vgl. ebd., S. 245). Auch Lück stellte bei einer Untersuchung „mit der Methode der freiwilligen Teilnahme bei

konkurrierenden Angeboten“ (Lück 2000, S. 219) fest, dass das Interesse an Experimenten bereits im Kindergartenalter sehr groß ist: An allen Tagen nahmen über 60% der Kinder freiwillig an den Versuchen teil, an manchen Tagen sogar über 80% (vgl. ebd.).

Interesse allein reicht jedoch nicht aus, um festzustellen, ob naturwissenschaftliche Experimente in der Grundschule bereits sinnvoll sind. Neben Bereitschaft und Interesse sind auch die kognitiven Fähigkeiten wichtig.

Ob Kinder im Grundschulalter bereits in der Lage sind, naturwissenschaftliche Sachverhalte zu verstehen und zu erklären, wurde von der Entwicklungspsychologie in vielen Untersuchungen überprüft. Besonderes Augenmerk lag dabei auf dem Erkennen von kausalen Zusammenhängen.

Die Ergebnisse, zu denen diese Untersuchungen kamen, unterscheiden sich teilweise voneinander. Die älteren Konzepte, beispielsweise von Piaget, werden heute heftig kritisiert, vor allem die enge Festlegung von Phasen und Altersangaben, die Reifungstheorie und das methodische Vorgehen.

Dennoch bieten sie viel empirisches Material und stimmen in einigen Punkten überein (vgl. ebd., S. 75):

Sowohl Piaget, als auch Wagenschein, Zietz, Hansen u.a. verweisen auf eine frühe Phase einer magisch-animistischen, finalistischen und artifiziellen Kausalitätsauffassung (vgl. ebd.).

Bei magisch-animistischem Denken werden leblosen Dingen Absichten und Bewusstsein zugeschrieben, beispielsweise könnte ein Sturm damit erklärt werden, dass der Wind so heftig bläst, weil er sich über etwas ärgert.

Eine finalistische Erklärung beleuchtet den Zweck und Sinn von Sachverhalten. Dieses Denken fragt „nach dem Zweck eines Zusammenhanges, nicht nach der Wirkursache“ (ebd., S. 57). Beispielsweise leuchtet eine Lampe, damit es hell ist, der Ventilator dreht sich, damit die Luft sich bewegt.

Artifizialistisches Denken bezeichnet die Tendenz, „die Dinge als das Ergebnis einer menschlichen Tätigkeit aufzufassen“ (Piaget 1926/1980, S. 205, zit. nach Möller 1990, S. 59). Z.B. ist ein Schmetterling schön bunt, weil er so gemacht wurde.

Diese von Piaget als „Präkausalität“ (Möller 1990, S. 75) bezeichnete Phase wird bei den o.g. Autoren übereinstimmend ca. ab dem siebten oder achten Lebensjahr von einer zunehmend sachlicheren Haltung abgelöst (vgl. ebd.).

Sie bezeichnen diese als „Übergang zum realistischen Kausaldenken“ (Zietz, zit. nach Möller 1990, S. 75). Kinder erfassen in dieser Phase nur Wenn-dann-Zusammenhänge, die äußerlich wahrnehmbar sind. Ob sie sich für das „Wie“ des Geschehens, also auch für nicht sichtbare Zwischenglieder einer Kausalkette, interessieren, ist unter den Autoren umstritten (vgl. Möller 1990, S. 75.): Wagenschein beobachtet zumindest das Bemühen, Zwischenglieder einzufügen, Zietz hingegen beobachtet beispielsweise, dass die Kinder bei der Beschreibung eines Autos nur das „Wenn“ der Vorgänge beachten, nicht das „Wie“.

Gegen Ende der Grundschulzeit, etwa ab dem zehnten oder elften Lebensjahr, wird die Haltung der Kinder zunehmend kritischer (vgl. ebd., S. 76). Sie stellen eigene Theorien auf und überprüfen diese, sind dabei allerdings noch auf die konkrete Anschauung angewiesen.

Neuere Untersuchungen von Möller ergaben, dass die Überlegungen von neun- bis elfjährigen Schülern zu Naturphänomenen sowohl präkausale, als auch situative Wenn-Dann-Aussagen umfassen (vgl. ebd. S. 312). Sind die Phänomene real vorhanden und erfahrbar, beginnen einige Schüler im intensiven Gespräch bereits Ursache-Wirkungs-Beziehungen „in allgemeiner Form“ (ebd.) zu erfassen. Sie können „ihre Lösungsvermutungen sachlich und differenziert äußern, kritisch behandeln“ (ebd., S. 313) und sind in der Lage Grund-Folge-Beziehungen gedanklich zu strukturieren.

Insgesamt lassen die Untersuchungen den Schluss zu, dass auch junge Kinder etwa ab dem siebten Lebensjahr für das Verständnis von naturwissenschaftlichen Sachverhalten nötige Kausalbeziehungen aufstellen und verstehen können - zunächst nur als Wenn-Dann Beziehungen, später als zunehmend komplexere Strukturen. Dies ist eine Voraussetzung für den Einsatz von Experimenten im Unterricht der Grundschule.

Damit die Kinder die Sachverhalte einsichtig verstehen können, ist „die Möglichkeit, das Denken an der Sache selber, im Untersuchen, Herstellen oder Experimentieren überprüfen zu können“ (ebd., S. 316) entscheidend.

Die enge Bindung des ersten naturwissenschaftlichen Unterrichts an Phänomene und Experimente greift auch Wagenschein auf, laut ihm „kann im anfänglichen Physikunterricht das Naturphänomen nicht vertreten werden durch noch so exakte quantitative Labor-Effekte und schon gar nicht durch Modellvorstellungen“ (Wagenschein 1976, zit. nach Fiesser 2000, S. 264). Er behauptet, der „unmittelbare Umgang mit den Phänomenen“ (ebd., S. 253) sei „der Zugang zur Physik“ (ebd.).

Warum Experimente für den Lernprozess wichtig sein können, zeigt auch Piagets Lerntheorie (vgl. Haller 2003, S. 147): Er sieht Lernen als Abgleich von wahrgenommener Information und bereits vorhandenen Erfahrungen. Ist es möglich, die neue Information „widerspruchsfrei in die vorhandenen kognitiven Strukturen einzubauen“ (ebd.), spricht Piaget von Assimilation. Stehen bereits vorhandene und neue Informationen im Widerspruch zueinander, kann die Beobachtung nicht mit den alten Vorstellungen erklärt werden. Es müssen neue Konzepte zur Erklärung entwickelt werden, Piaget spricht von einem Akkomodationsprozess.

In der Schule werden den Schülern laut Fiesser keine den Vorstellungen widersprechenden Informationen geboten, sondern nur Worte und Symbole, die für die Schüler inhaltsleer bleiben und den zur Akkomodation nötigen kognitiven Konflikt nicht hervorrufen können (vgl. Fiesser 200, S. 58 f.). Viel besser geeignet sind hier selbst durchgeführte Experimente, da sie sehr intensiv und „wirklich“ sind, sodass den Experimentatoren das geistige „Ausweichen schwer fällt“ (ebd.).

Aus Sicht neuerer, integrativer Lerntheorien ist Lernen ebenfalls ein aktiver Prozess. „Passives Übernehmen von Lernstoff nach einem bestimmten Schema kann nicht gelingen“ (Haller 2003, S. 145). Das liegt – sehr grob gefasst – daran, dass das Gehirn aktiv an der Wahrnehmung beteiligt ist und auf Grund von früheren Erfahrungen den eingehenden neuronalen Aktivitätsmustern Bedeutungen zuweist (vgl. Haller 2003, S. 145) und die Wahrnehmung durch Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusst.

2.1.2. Experimente im Sachunterricht

In der Diskussion um den Sachunterricht der Grundschule sind seit Ende der siebziger Jahre „Methoden und im Unterricht anzuwendende bzw. zu vermittelnde Verfahren“ (Möller 1990, S. 45) unumstritten. Gefordert werden Anschaulichkeit, Handlungsorientierung und die Ausbildung instrumenteller Fähigkeiten wie Sammeln, Ordnen und Beobachten.

Unklar und strittig war lange Zeit, ob Kinder bereits in der Lage sind, erste Schritte auf dem Weg zur exakten Naturwissenschaft zu beschreiten, oder ob sich der Sachunterricht einzig als Hilfe bei der Bewältigung der „Lebenswelt“ (ebd., S. 44) verstehen sollte. Diese Streitigkeit und enge Sicht auf zwei einander widersprechende Pole wurde Ende der Siebziger durch eine vermittelndere Position abgelöst. Die beiden Pole werden als einander ergänzend, nicht mehr als Gegensätze deutet.

Auch die Gesellschaft für Didaktik des Sachunterricht (GDSU) nennt in ihrem 2002 herausgegebenen Perspektivrahmen des Sachunterrichts die Formulierung von Spannungsfeldern zwischen Erfahrungen der Kinder und fachlich gesichertem Wissen als grundlegend für die didaktische Konzeption (vgl. GDSU 2002).

Hier wurde also ebenfalls eine vermittelnde Sichtweise angestrebt.

Eine der fünf von der GDSU gewählten Perspektiven für die Themen des Sachunterrichts ist die naturwissenschaftliche. Es geht hier um das Spannungsfeld zwischen „dem Erleben und Deuten von Naturphänomenen durch die Kinder“ (ebd., S. 7) und „den inhaltlichen und methodischen Angeboten der Naturwissenschaften“ (ebd.).

Die Schüler sollen u.a. „Naturphänomene im Hinblick auf physikalische Regelmäßigkeiten untersuchen“ (ebd., S. 8) und „Naturwissenschaftliche Verfahren erarbeiten“ (ebd.).

Dabei sollen die Schüler gezielt wahrnehmen, beobachten, beschreiben, und Fragehaltungen aufbauen. Experimentieren gehört hier also unbedingt zum Sachunterricht.

Der Lehrplan für die bayerische Grundschule aus dem Jahr 2000 schreibt vor, dass der Heimat- und Sachunterricht an die Erfahrungen der Schüler anknüpfen, das aktive Lernen fördern und am Lernbegriff des eigenständigen Konstruierens des Wissens orientiert sein soll (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Kultus und Bildung 2000, S. 35).

Eine „selbsttätige Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit sowie ein verweilendes und anschauliches Lernen mit vielen Sinnen“ (ebd.) sollen Grundlage des Lernens sein.

Forschendes Lernen wird als für die Selbstständigkeit besonders förderliche Lernform genannt, ebenso wie handelndes Lernen.

Das Lernen des Lernens unterstützen laut Lehrplan u.a. „fachlich ausgerichtete Arbeitsweisen und -techniken (z. B. Betrachten, Beobachten, Halten und Pflegen, Experimentieren, Diskutieren, Rollenspiele, Befragen, Arbeiten mit Quellen, Umgehen mit Skizzen und Plänen)“ (ebd.).

Auch im Lehrplan wird demnach das Experimentieren als fester Bestandteil des Sachunterrichts vorgeschrieben.

2.1.3. Vorteile von Experimentierstationen

Welche Vorteile Experimentierstationen haben können, zeigen vor allem Schriften zur Museumspädagogik interaktiver Science Center auf.

In der modernen Welt sind Erfahrungen in Form von sinnlicher Begegnung mit der Realität seltener geworden. Sie wurden ersetzt durch Erfahrungen „aus zweiter und dritter Hand“ (Fauser/Irmert-Müller 1996, zit. nach Fiesser 2000, S. 148), wie sie beispielsweise durch das Fernsehen vermittelt werden. „Ursprüngliches Lernen“ (ebd.) jedoch kann laut Fauser und Irmert-Müller nur Lernen durch Erfahrung sein, da die sinnliche Begegnung mit der Realität für den Aufbau einer inneren Wirklichkeit notwendig ist.

Auch in der Schule werden häufig nur Worte und Bilder statt der realen Objekte benutzt, kognitive Lernformen werden bevorzugt (vgl. Vester 1979 in Fiesser 2000, S. 207). Dadurch kann es leicht dazu kommen, dass die vielen Vernetzungen, die zwischen den verwendeten Begriffen und der Realität bestehen, und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Begriffen verloren gehen. Es bleibt eine „Kreuzworträtsel-Intelligenz“ (ebd.), die mit der Realität nur noch wenig zu tun hat.

Der „Erfahrungsverlust“ (Fauser/Irmert-Müller 1996, zit. nach Fiesser 2000, S. 148) und damit Mangel an ursprünglichem, vernetzendem Lernen kann nur ausgeglichen werden, wenn man den Kindern eine Vielfalt „praktischer Tätigkeiten und Erfahrungsfelder“ (ebd.) bietet. Experimentierstationen können hier ein erster Beitrag sein.

Der empirisch gewonnenen Erkenntnis, dass Lernen besser funktioniert, je mehr Sinne angesprochen werden, wird ebenfalls Rechnung getragen (vgl. Haller 2003, S. 150.): Ein dichtes Erfahrungsnetz entsteht vor allem, wenn wissenschaftliche Phänomene „über Handeln erfahrbar gemacht werden“ (ebd.).

An den Experimentierstationen können die Schüler fast alles anfassen, anschauen, anhören – und, wenn sie unbedingt wollen, sogar schmecken und riechen. Ihnen wird eine weit umfassendere „Welt der Sinneserfahrung“ (Möller 1990, S. 316) geboten als es im „normalen“ Unterricht meist der Fall ist.

Ein weiterer Vorteil ist, dass an Experimentierstationen die Möglichkeit besteht, so viel Zeit mit dem Versuch zu verbringen, wie man möchte: Man kann innehalten, etwas wiederholen, sich Zeit damit lassen – oder einfach schnell weiter gehen (vgl. Haller 2003, S. 145).

Damit kommen die Experimentierstationen ganz automatisch der vielfach genannten Forderung nach Differenzierung durch individuelle Lernzeit nach.

Ein für den Lernprozess wichtiger Faktor ist die Motivation. Diese wird im Wesentlichen beeinflusst durch „Selbstbestimmtheit, das Erleben von Kompetenz und die soziale Eingebundenheit“ (ebd., S. 151).

Wie oben bereits erwähnt, ist ein Schüler beim in Betrieb nehmen einer Experimentierstation sehr frei in seiner Zeiteinteilung. Auch wie der Versuch durchgeführt wird, ist in den meisten Fällen selbst wähl- oder beeinflussbar, da die Stationen nach Belieben manipuliert werden dürfen.

Indem sie selbst handeln können, wird den Schülern das Erleben von Kompetenz vermittelt: Sie können erkennen, was getan werden muss, führen den Versuch eigenständig durch und machen dabei Beobachtungen.

Soziale Eingebundenheit ist einerseits dadurch gegeben, dass einige Stationen nur zu zweit genutzt werden können, andererseits dadurch, dass Experimentieren mit anderen zusammen mehr Spaß macht und das gegenseitige Präsentieren von Phänomenen zur Kommunikation anregt (vgl. ebd., S. 152).

Sind neben den Experimenten kurze erklärende Texte angebracht, ermöglicht dies den Besuchern „ihr konstruiertes Wissen mit ihren Erfahrungen, aber auch mit den wissenschaftlich ‚richtigen‘ Erklärungen abzugleichen“ (ebd., S. 146).

Ein weiterer, für die Schule sehr wichtiger Vorteil kommt bei den Stationen natürlich hinzu: Die Stationen sind fertig aufgebaut – dadurch bleibt der Lehrkraft einiges an Vorbereitung erspart.

2.2. Warum Experimentierstationen in der Schule?

Nachdem nun geklärt ist, warum Experimentieren und interaktive Exponate auch bei jungen Kindern sinnvoll sind, stellt sich die Frage, warum *in einer Schule* Experimentierstationen gebaut werden sollten – man könnte die Schüler schließlich auch in ein Science Center oder Schülerlabor schicken.

Verschiedene Untersuchungen bieten Hinweise, welche Kriterien für einen bei den Schülern nachhaltige Effekte auslösenden Besuch in einem Schülerlabor gelten müssen. Diese werden

im Folgenden dargestellt und es wird gezeigt, dass die meisten dieser Kriterien in der Schule besonders gut erreichbar sind.

Des Weiteren werden Einsatzmöglichkeiten der Stationen in der Schule aufgezeigt, die in Science Centern oder Schülerlaboren größtenteils nicht möglich wären.

2.2.1. Befunde verschiedener Untersuchungen

Die Wirksamkeit von Schülerlaboren, also Einrichtungen, die, grob gesagt, Schülern „naturwissenschaftliche Praxisfelder“ (Guderian/Priemer 2008, S. 251) bieten, wurde in vier größeren Studien untersucht.

Sie sind hier interessant, weil auch in Schülerlaboren das Experimentieren eine wesentliche Rolle spielt. Daher ist davon auszugehen, dass sich die Ergebnisse zumindest teilweise auf die Experimentierstationen übertragen lassen.

Engeln stellte in ihrer Untersuchung im Jahr 2004 fest, dass das Interesse der Schüler vier Monate nach dem Besuch des Schülerlabors signifikant abgefallen war. Eine Vor- oder Nachbereitung der Besuche im Unterricht fand laut ihren Ergebnissen kaum statt (vgl. ebd., S. 252).

Brandt machte 2005 ähnliche Beobachtungen. Er untersuchte die Wirkung auf verschiedene Interessenssubkonstrukte und die intrinsische Motivation und fand bis auf eine „kurzfristige Steigerungen der intrinsischen Motivation und des Selbstkonzeptes“ (ebd.) keine Änderungen nach dem Besuch.

Neben dem Interesse betrachtete Scharfenberg 2005 auch kognitive Aspekte, genauer den Wissenserwerb. Auch er stelle fest, dass es außer kurzfristigen Änderungen der Akzeptanz und des Wissenserwerbs keine Interessenänderungen gibt (vgl. ebd.).

Untersuchung zur Wirksamkeit einer Einbindung in den Unterricht

Die Untersuchung von Guderian 2007 ist für die Experimentierstationen am interessantesten. Er untersuchte die Interessenentwicklung bei dreimaligem Besuch eines Schülerlabors und die Auswirkungen einer Einbindung in den Unterricht (vgl. Guderian/Priemer/Schön 2007, S. 215).

Als Interessenkonstrukt wird das nach Krapp verwandt. Er unterscheidet drei verschiedene Komponenten des Interesses (vgl. ebd., S. 45):

- 1) Die wertbezogene Komponente ist nötig, da Interessenhandlungen persönlich als besonders relevant eingestuft werden und die damit einhergehenden Ziele mit den im Selbstkonzept enthaltenen Einstellungen und Werten kompatibel sein müssen.

- 2) Die kognitive oder epistemische Komponente ist ebenfalls bei jeder Interessenhandlung vorhanden, da ein Beweggrund für die Beschäftigung mit einem Gegenstand immer auch das Verlangen nach Erweiterung von Wissen bzw. Verbesserung von Fähigkeiten ist.
- 3) Die emotionale Komponente sorgt z.B. für eine positive Gefühlslage vor, während und nach der Interessenhandlung.

Das aktuelle Interesse wird bei Guderian besonders berücksichtigt. Dieses kann nach Mitchell über drei Stufen in „eine feste Handlungsbereitschaft“ (ebd.) überführt werden. Auf Stufe eins stehen Neugier erzeugende „Catch-Komponenten“, die nur einen kurzfristigen Effekt erzeugen. Stabiler sind hingegen Effekte auf Stufe zwei, für die jedoch bestimmte Bedingungen, so genannte „Hold-Komponenten“ nötig sind. Beispielsweise könnte das Erkennen einer Sinnhaftigkeit der durchgeführten Handlungen eine solche „Hold-Komponente“ darstellen.

Erst auf der darauf folgenden dritten Stufe kann das aktuelle Interesse in ein individuelles Interesse und eine feste Handlungsbereitschaft überführt werden (vgl. ebd.).

Guderian fand, dass Schülerlabore nicht zur langfristigen Entwicklung des Interesses beitragen können (vgl. Guderian/ Primer 2008, S. 252). Reine Schülerlabore haben nur „Catch-Charakter“, können also nur Neugierde und einen kurzfristigen Interesseneffekt bewirken (vgl. Guderian 2006, S.164). Die Neugierde wird nicht in eine stabilisierte Handlungsbereitschaft überführt.

Gründe für die nur mäßige Wirkung von außerschulischen Lernorten zu finden versuchten bereits 1978 Falk et al., sie beschränkten sich dabei jedoch nicht auf Schülerlabore, sondern versuchten ein Modell für alle außerschulischen Lernorte aufzustellen.

Gemein haben alle außerschulischen Lernorte, dass sie den Besuchern neuartige und vorher meist unbekannte Umgebungen bieten (vgl. ebd., S. 17). Dies kann einen „cognitive overload“ zur Folge haben. Laut der Cognitive-load-Theorie von Sweller wird das Arbeitsgedächtnis auf drei Arten belastet (vgl. Sweller 1998, S. 259), nämlich durch die Inhalte der dargebotenen Materialien, also den so genannten „intrinsic cognitive load“ (ebd.), durch die Art der Darbietung der Materialien, den „extraneous cognitive load“ (ebd.) und durch die zum Lernen nötigen Aktivitäten, auch „germane cognitive load“ (ebd.) genannt. Da das Arbeitsgedächtnis nur eine gewisse Kapazität hat (vgl. ebd., S. 252), kann es bei zu starker Belastung zu einem cognitive overload kommen, einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses. In außerschulischen Lernorten ist die Darbietung und Präsentation der zu lernenden Inhalte für die meisten Schüler

neu, ebenso die Umgebung. Dadurch kann es zu einem oft zu großen „extraneous cognitive load“ kommen, sodass die Besucher „desorientiert sind und unbehagliche Gefühle entwickeln“ (Guderian 2006, S. 17). Bei Schülern führt dies dazu, dass sie „schlechtere Leistungen erbringen“ (ebd.).

Untersuchungen von Falk et al. zeigten, dass eine neue Umgebung negative Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit hat.

Beispielsweise fielen die Ergebnisse in einem Wissenstest zu den während eines Ausflugs erlernbaren Inhalten im Vergleich zum Vortest bei Schülern ab, die einen Ausflug in eine völlig neue Umgebung machten. Bei den Schülern, denen die Umgebung bekannt war, wurde ein Wissenszuwachs festgestellt.

Diesen Zusammenhang taufte sie „Novel Field-Trip Phenomenon“ (ebd., S. 17).

Allerdings ist eine zu vertraute Umgebung ebenfalls mit negativen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit verbunden (vgl. ebd., S. 19). In einer Studie beschäftigten sich Fünftklässler viel intensiver mit den ihnen gestellten Aufgaben, wenn sie diese nicht in Schulumgebung, sondern in einem Naturzentrum bearbeiten sollten. Bei Drittklässlern war es gerade anders herum, sie arbeiteten in der ihnen vertrauten Schulumgebung besser als im Naturzentrum.

Dank der Entdeckung des „Novel Field-Trip Phenomenon“ wurde eine genauere Untersuchung der Vorteile einer Vor- und Nachbereitung von Ausflügen in außerschulische Lernorte angestoßen (vgl. ebd., S. 20).

Auch Guderian befasste sich in seiner Untersuchung mit der Frage, welche Effekte eine Einbindung in den Unterricht haben kann.

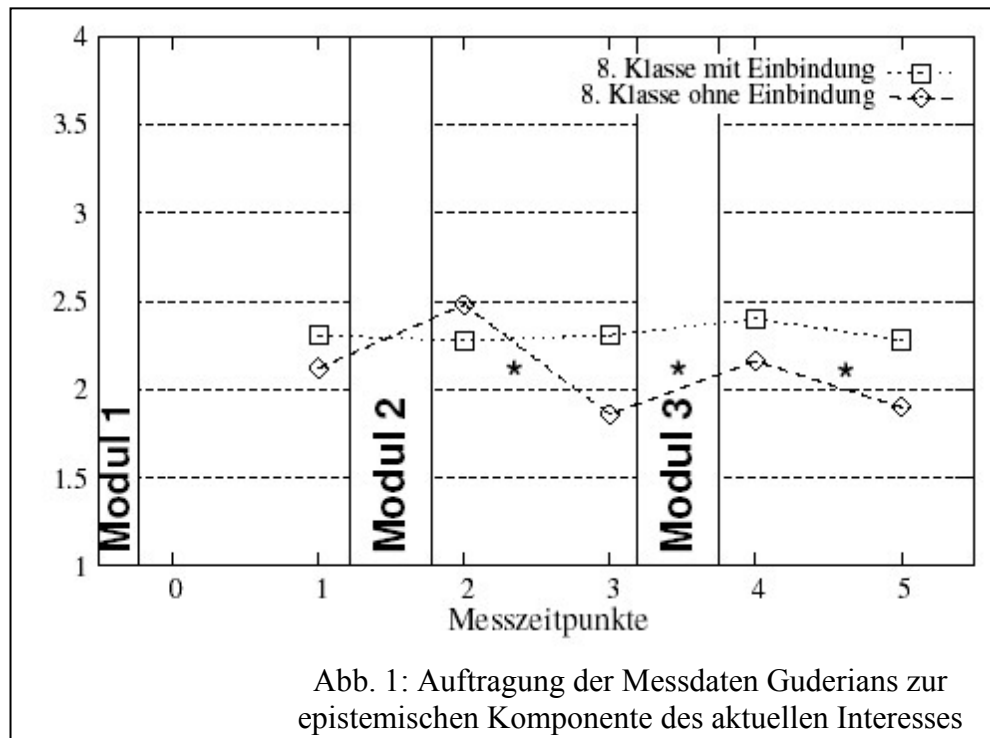
Dazu verglich er die zu fünf Messzeitpunkten erfassten Daten über das Interesse der Schüler. Bei der Versuchsgruppe wurde die „jeweilige Thematik bereits durch den Unterricht eingeführt und später fortgesetzt“ (ebd., S. 94), die Kontrollgruppe bearbeitete das gleiche Themenfeld, jedoch ohne Einbindung in den Unterricht.

Das Interesse wurde mittels Fragebögen erfasst. In einer fünfstufigen Skala wurden durch die Schüler Aussagen wie beispielsweise „Dass wir im UniLab Experimente durchgeführt haben, ist mir persönlich wichtig.“ (ebd., S. 187) bewertet.

Er fand Hinweise, dass sich durch eine Vor- und Nachbereitung im Unterricht die für eine längerfristige Interessenänderung notwendige „Hold-Komponente“ ergeben kann (vgl. ebd. S. 153). Besonders bei der epistemischen Komponente des Interesses, also dem Wunsch, mehr

2. Motivation

über das Thema zu erfahren, zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe folgende Abbildung):



Die Schüler der Gruppe mit Einbindung „hatten ein gleich bleibend konstantes Verlangen, mehr über die Inhalte zu erfahren“ (Guderian 2006, S. 141), während bei der anderen Gruppe starke Schwankungen zu erkennen sind (in der Grafik mit * gekennzeichnet sind signifikante Änderungen zwischen den Messzeitpunkten): Das epistemische Interesse stieg nach den Besuchen sprunghaft an, um danach wieder stark abzusinken.

Den Schülern war es durch die Einbindung möglich, „den inhaltlichen und methodischen Bezug des Besuchs im Schülerlabor zum Unterricht“ (ebd.) herzustellen. Sie erkannten, „dass die Besuche in einem Gesamtzusammenhang stattfanden und nicht losgelöst waren von curricularen Zusammenhängen“ (ebd.).

Sie ordneten den Besuchen dadurch eine größere Sinnhaftigkeit zu, was laut Mitchell zu einer Stabilisierung des Interesses beiträgt. Insgesamt schätzten die Schüler „den Wert des außerschulischen Lernortes nicht schlechter ein“ (ebd.), wenn eine Verbindung zum Unterricht bestand. Die wertbezogene Komponente des Interesses war bei beiden Gruppen also ähnlich, ebenso die emotionale.

Reale Situation bezüglich der Einbindung in den Unterricht

Bereits mehrere Forschungsarbeiten haben darauf hingewiesen, dass das Einbinden von Besuchen außerschulischer Lernorte in den Unterricht sinnvoll ist, auch weil so die Ausbildung von Fehlvorstellungen vermieden werden kann (vgl. ebd. S. 37).

Diese Einbindung findet in der Realität aber leider kaum statt, wie verschiedene Untersuchungen zeigen: Griffin et al. fanden, dass „tatsächlich nur sehr wenige Schulklassen auf einen Besuch in einem Museum vorbereitet werden“ (Guderian 2006, S. 37), ebenso fand eine Nachbereitung trotz guter Absichten nur selten statt.

Nach Kisiel halten nur 23% der von ihm untersuchten Lehrkräfte es für nötig, dass auch die Schüler einen Zusammenhang zwischen Unterricht und Besuch im außerschulischen Lernort erkennen können (vgl. ebd.).

Gründe, warum eine Einbindung so selten stattfindet gibt es viele.

Zum Einen ist sicherlich die geringe fachliche Kompetenz der Lehrkräfte Schuld. Dies liegt daran, dass die Lehrer z.B. der Grundschule „für naturwissenschaftliche Inhalte schlichtweg nicht ausgebildet wurden“ (ebd., S. 38), sie also fachfremd unterrichten müssen.

Von der Pädagogischen Hochschule Freiburg wurde eine Fragebogenuntersuchung an Grundschulen im Regierungspräsidium Freiburg durchgeführt (vgl. Bröll/Friedrich/Oetken 2008, S. 260 f.). In Physik und Chemie schätzten nur 21,4% bzw. 17,4% ihre Kenntnisse als gut/sehr gut ein, obwohl beispielsweise 40,9% angeben, Physik studiert zu haben.

Die Situation dürfte in anderen Bundesländern noch dramatischer sein, beispielsweise studiert in Würzburg aktuell im Sommersemester 2008 nur eine Studentin des Lehramts an Grundschulen mit Hauptfach Physik und es gibt im Bereich Sachunterrichtsdidaktik nur ein einziges Seminar mit physikalischem Schwerpunkt.

Die Lehrer sind häufig einfach „nicht dazu imstande, Besuche ohne Hilfe adäquat vor- und nachzubereiten“ (Guderian 2006, S. 38).

Auch sind die Lehrkräfte oft „mit dem zu besuchenden außerschulischen Lernort nicht bekannt“ (ebd.) und nicht gewillt, ihn in ihrer Freizeit vorher zu besuchen. Dies erschwert vor allem die Vorbereitung des Ausflugs. Auch stellen viele außerschulische Lernorte den Lehrern „keine Materialien und Handreichungen zur Vor- bzw. Nachbereitung zur Verfügung“ (ebd., S. 39).

Zum Anderen erschweren organisatorische Gegebenheiten sowohl den Besuch als auch die Einbindung.

Hinderlich für die Exkursion selbst sind beispielsweise „die zeitliche Belastung“ (Klaes 2008, S. 263) und „finanzielle Probleme“ (ebd.). Selbst ohne Einbindung in den Unterricht muss die

Lehrkraft die Anreise zum außerschulischen Lernort organisieren, bei der Schulleitung eine Genehmigung einholen, den Eltern Bescheid geben, bei den Schülern Geld einsammeln und eventuell den Förderverein der Schule um Unterstützung fragen.

Die Lehrkräfte können meistens nicht genau bestimmen, wann der Besuch stattfinden soll. Wenn beispielsweise das entsprechende Thema am Anfang des Schuljahres durchgenommen werden soll, der Ausflug wegen Auflagen der Schulleitung aber erst am Ende des Schuljahres stattfinden kann, ist eine Einbindung schwierig. Auch gibt es bei vielen außerschulischen Lernorten lange Wartelisten, was genaue Abstimmungen unmöglich macht (vgl. Guderian 2006, S. 39).

2.2.2. Einsatzmöglichkeiten in der Schule

All diese organisatorischen Probleme fallen weg, wenn die Experimentierstationen in der Schule stehen. Da sie immer da sind, können sie jederzeit in den Unterricht eingebaut werden, ohne vorher lange einen Ausflug planen zu müssen.

Außerdem sind die Einsatzmöglichkeiten vielfältiger:

- Die Stationen können von den Schülern auch außerhalb des Unterrichts genutzt werden. Dies ermöglicht ihnen, so viel Zeit mit den Experimenten zu verbringen, wie sie möchten. Sie können die Versuche ohne Leistungsdruck mit selbst mitgebrachten Gegenständen verändern, mit Freunden gemeinsam ausprobieren, anderen demonstrieren, etc.
- Lehrkräfte können ihren Schülern als „Hausaufgabe“ auftragen, sich mit einem bestimmten Versuch auseinander zu setzen, eventuell mit der Aufgabe schriftlich ihre Beobachtungen und Überlegungen zu notieren, oder sogar mit einem Arbeitsblatt. Das Experimentieren könnte so außerhalb des Unterrichts stattfinden, nur die gemachten Beobachtungen werden gemeinsam besprochen. Dadurch bleibt im Unterricht mehr Zeit für die Besprechung, und die Schüler können sich beim Experimentieren so viel Zeit nehmen, wie sie möchten oder brauchen.

Diese beiden Möglichkeiten bestehen natürlich auch z.B. im Science Center, allerdings mit dem Unterschied, dass man meist nur einen Tag dort verbringt und daher doch nur begrenzt Zeit für jeden Versuch hat, wenn man alle Versuche ausprobieren möchte.

In außerschulischen Lernorten schwieriger umzusetzen sind folgende Möglichkeiten der Einbindung:

- Die Stationen können, wie der Name bereits andeutet, für ein Stationentraining (auch Lernzirkel genannt) genutzt werden. Ihre Anzahl sollte so abgestimmt werden, dass es mit einer nicht zu großen Klasse, also maximal ca. 25 Schülern, möglich ist, die Experimentierstationen als einzige Stationen des Lernzirkels zu nutzen. Die Schüler müssen dabei jeweils zu zweit oder zu dritt zusammenarbeiten. Inhaltlich sinnvoller und für die Schüler abwechslungsreicher ist es jedoch, nur einzelne Stationen herauszugreifen und in einen Lernzirkel einzubauen, der aus weiteren thematisch abgestimmten Stationen besteht. Ideal wäre es, wenn die anderen Stationen andere Methoden als das Experimentieren bieten würden, wie beispielsweise das Lesen von Texten und Beantworten von Fragen.
- Auch in die Wochenplan- oder Freiarbeit lassen sich die Experimentierstationen gut einbinden. Gibt man den Schülern ein Arbeitsblatt zu den Stationen vor, ist es auch möglich, die Ergebnisse, zu denen die Schüler gekommen sind, zu kontrollieren. Führt man eine Besprechung der Wochenplan- oder Freiarbeit durch, können die schriftlich festgehaltenen Beobachtungen einen Gesprächsanlass bieten.
- Einige der Stationen sind handlich genug, um sie für eine Unterrichtsstunde mit ins Klassenzimmer zu nehmen. So kann die Lehrkraft den Versuch demonstrieren und mit den Schülern besprechen – damit kann weitgehend gewährleistet werden, dass alle Schüler die gleichen Beobachtungen machen bzw. abweichende Beobachtungen können diskutiert werden. Steht die Station dann später wieder auf dem Gang, können die Schüler das Gesehene selbst noch einmal ausprobieren.

Da die Experimentierstationen direkt in der Schule stehen, lässt sich die für das Erzielen von längerfristigen Interessenänderungen nötige Einbindung in den Unterricht also um einiges leichter und vielfältiger realisieren.

Durch das Angebot eines Lehrerhandbuchs und Vorschlägen für Schülerarbeitsblätter zu den Stationen soll das Problem der geringen physikalischen Fachkompetenz umgangen werden.

2.2.3. Die Kinderwerkstatt an der Grundschule Reichenberg

Interessant für die Experimentierstationen ist auch die so genannte Kinderwerkstatt in Reichenberg. Diese wurde von Herrn Dr. Schuller, einem pensionierten Physiker, gegründet und besteht aus etwa 20 Senioren. Sie bieten den Schülern in Abstimmung mit den Klassenlehrern regelmäßig eine individuelle Leseförderung an. Außerdem gibt es weitere Aktivitäten, wie in der ersten Hälfte des Jahres 2008 z.B. Experimente mit Licht, Schachspielen, einen Computerkurs zur Rechtschreibung und Bildbearbeitung, eine Frühjahrswanderung, Backen, eine Kompass- oder Heilkräuterwanderung, Nistkastenbau und Kurse zum Philosophieren (vgl. Schuller 2008, S. 1). In diesem Halbjahr nahmen etwa 2/3 der Schüler der Grundschule an mindestens einem Programmpunkt der Kinderwerkstatt teil (vgl. ebd.), woran man die große Akzeptanz der Angebote erkennen kann. Von der Kinderwerkstatt profitieren sowohl die Senioren als auch die Kinder, denn die Senioren haben eine neue, sinnvolle Aufgabe und die Kinder können zusätzliche, fachkundig dargebotene Angebote nutzen.

Für die Experimentierstationen ergeben sich daraus drei große Vorteile. Erstens bietet die Kinderwerkstatt eine weitere Einsatzmöglichkeit für die Experimentierstationen: Für den Herbst 2008 ist bereits ein Kurs in Planung, in dem intensiv mit den Kindern an den Stationen experimentiert werden soll. Dabei werden die Kinder fachkundig betreut, sodass sie die Gelegenheit erhalten, alle auftretenden Fragen zu stellen und zu diskutieren.

Zweitens konnten der Zusammenbau und das Aufstellen der Stationen in der Grundschule mit Herrn Dr. Schuller gemeinsam stattfinden, was eine große Hilfe war.

Drittens hat der Initiator der Kinderwerkstatt sich bereit erklärt, die Stationen in Zukunft zu pflegen und gegebenenfalls zu reparieren. Ohne diese Zusage wäre eine dauerhafte Ausstellung der Stationen kaum möglich, da bei häufiger Benutzung auch die solideste Station irgendwann verschleißt. Würde sich niemand um die Reparatur bemühen, wären die Stationen aufgrund von Fehlfunktionen bald nicht mehr attraktiv und würden nicht mehr genutzt.

3. Die Stationen

Im folgenden Kapitel werden die Ziele, die mit den Experimentierstationen erreicht werden sollen, Kriterien für die Auswahl der Stationen und der Bau der Stationen beschrieben. Außerdem wird erläutert, wie die Texte, die an den Stationen angebracht werden, aufgebaut sein müssen und welche Überlegungen bei der Erstellung der Lehrerinformationen und Schülerarbeitsblätter bestimmend waren.

Schließlich werden kurz Überlegungen zu den einzelnen Stationen dargestellt.

3.1. Ziele

Wie oben gezeigt wurde, können und sollen mit den Experimentierstationen vielfältige Ziele erreicht werden: Das Experimentieren kann das Selbstkonzept verbessern und die Kommunikation über physikalische Sachverhalte anregen. Das Interesse der Schüler an naturwissenschaftlichen Versuchen und Phänomenen soll stabilisiert werden, dazu sollen die Stationen auch im Unterricht genutzt und so thematisch eingebunden werden. Die Stationen sollen auch eine Hilfe für die Lehrkräfte sein, denen ein aufwändiges Aufbauen und Vorbereiten der Versuche erspart bleibt – dadurch kann der Lehrplanforderung nach fachlich ausgerichteten Arbeitsweisen und -techniken nachgekommen werden. Im Gegensatz zu einem „normalen“ Schülerlabor ist das Einbinden der Stationen im Unterricht jederzeit und ohne großen organisatorischen Aufwand möglich.

3.2. Planung und Bau

3.2.1. Auswahl der Stationen

Um zu ermöglichen, dass die Experimentierstationen in den Unterricht eingebunden werden und das Experimentieren für die Schüler attraktiv ist, sind verschiedene Bedingungen zu beachten. Die Stationen müssen zum Lehrplan passen, einfach handhabbar sein, für die Schüler ungefährlich sein, usw.

3.2.1.1. Lehrplanbezug

Eine reibungslose Einbindung der Versuche in den Heimat- und Sachunterricht ist nur möglich, wenn diese zum Lehrplan passen. Daher ist ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Stationen der Bezug zum Lehrplan für die bayerische Grundschule.

Außerdem müssen die Stationen thematisch zueinander passen, denn im Sachunterricht wird meist auch nur ein Thema zur gleichen Zeit behandelt. Wenn es möglich sein soll, die Versuche z.B. als Lernzirkel einzusetzen, dürfen sie höchstens Themen umfassen, die im gleichen Schuljahr im Lehrplan vorgeschrieben werden. Ferner muss eine ausreichende Anzahl an Stationen vorhanden sein, sodass eine ganze Klasse in Zweier- oder Dreiergruppen verteilt werden kann. Entsprechend viele Stationen zu entwickeln ist nur möglich, wenn ein Thema entsprechend ausführlich behandelt wird und es genug passende Versuche gibt.

Besonders viele physikalische Themen werden in der dritten Klasse behandelt (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 192 ff.): Inhalte sind hier „Optische oder akustische Phänomene“ (ebd., S. 192), „Maschinen helfen bei der Arbeit“ (ebd.) und „Magnetismus und Elektrizität“ (ebd.).

Von diesen Themen werden die optischen, akustischen und elektrischen Phänomene ausführlicher behandelt als die anderen. Da die Versuche zur Elektrizität auch als Freihandversuche sehr einfach durchführbar sind, erscheint es sinnvoller, die Experimentierstationen im Bereich der optischen und akustischen Phänomene anzusiedeln.

Hier ist zwar nur einer der beiden Inhaltsbereiche verbindlich vorgegeben (vgl. ebd., S. 194), es kann aber durchaus sinnvoll sein, beide aufzugreifen. Dadurch ist es möglich, wichtige Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszustellen: Zur Schallausbreitung ist ein Medium notwendig, bei Licht nicht. Auch die Ausbreitungsgeschwindigkeiten sind sehr unterschiedlich. Aber sowohl Schall als auch Licht können wir mit unseren Sinnen wahrnehmen – in beiden Fällen jedoch nur, wenn unsere Sinnesorgane erreicht werden. Der Wellencharakter des Lichts kann natürlich noch nicht thematisiert werden. Um diesen später aufzugreifen, kann es aber positiv sein, bereits einmal Schall und Licht verglichen zu haben.

Des Weiteren soll den Lehrkräften die Wahl bleiben, ob sie akustische oder optische Phänomene durchnehmen möchten. Sie sollen nicht durch die Auswahl der Stationen beeinflusst werden. Schließlich können und sollen die Schüler die Stationen zum jeweils anderen Thema auch selbstständig erkunden.

Den Inhaltsbereich der optischen Phänomene gliedert der Lehrplan in zwei Einzelinhalte:

- 1) „Ausbreitung des Lichts untersuchen“ (ebd.) und
- 2) „Spiegelphänomene erkunden und anwenden“ (ebd.)

Zu ersterem wird als Hinweis zum Unterricht genauer ausgeführt, dass einfache Versuche zur geradlinigen Ausbreitung, Streuung und Bündelung von Licht durchgeführt werden sollen (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 194). „Licht in die

Spektralfarben (Regenbogenfarben) auflösen“ (ebd.) und „Licht bündeln, z. B. mit der Lupe“ (ebd.) sollen auch thematisiert werden. Im Bereich der Sicherheitserziehung sollen die Entzündungsgefahr und Gefahren durch Laser behandelt werden (vgl. ebd.).

Ein weiteres optisches Phänomen, nämlich die Schattenbildung, wurde bereits in der ersten Klasse durchgenommen: Die Schüler sollen mit „Licht und Schatten Erfahrungen sammeln“ (ebd., S. 107) und die „Raum-Lage-Beziehungen zwischen Lichtquelle, Gegenstand und Schatten bestimmen“ (ebd.). Eine Wiederholung z.B. zu Beginn des Themenkomplexes optische Phänomene in der dritten Klasse erscheint thematisch passend, daher greift eine der Experimentierstationen den Bereich der Schattenbildung auf.

Die akustischen Phänomene werden im Lehrplan in drei Einzelinhalte aufgeteilt:

- 1) „Töne, Klänge, Geräusche durch schwingende Körper und Gegenstände erzeugen und ihnen zuordnen“ (ebd., S. 194)
- 2) „Ausbreitung von Schall in Luft, festen Körpern und Wasser“ (ebd.) und
- 3) „Verstärken oder Bündeln des Schalls“ (ebd.)

Der erste Punkt soll laut den Hinweisen zum Unterricht die Unterscheidungen hohe – tiefe und laute - leise Geräusche umfassen, erfahrbar gemacht „z. B. durch gespanntes Gummiband mit verschiedenen Längen“ (ebd.). Auch „Hörrätsel, einfache Flöten“ (ebd.) und das Monochord werden hier vorgeschlagen.

Die Schallausbreitung in Luft soll sichtbar gemacht werden, z. B. durch Reiskörner auf Tamburin (vgl. ebd.). Die Ausbreitung von Schall in festen Körpern soll mit Schallträgern, wie einer Tischplatte, einem Baumstamm, Resonanzkörpern oder einem Schnurtelefon untersucht werden.

Für die Ausbreitung in Wasser werden als Unterrichtshinweise das Anschlagen einer Stimmgabel sowie das Zusammenschlagen zweier Steine im Wasser genannt. Leistungsstärkere Schüler können zusätzlich das Echolot, die Orientierung der Fledermäuse oder die Kommunikation der Wale kennen lernen (vgl. ebd.).

Das Verstärken oder Bündeln des Schalls soll mit Trichtern, Hörrohren und Lautsprechern erfolgen. Auch Maßnahmen zum Schutz vor Verkehrs-, Industrie- und Nachbarschaftslärm können durchgenommen werden (vgl. ebd.).

Damit bieten die Inhaltsbereiche optische und akustische Phänomene viele Gelegenheiten zu experimentieren. Da sie außerdem recht ausführlich behandelt werden, ist es möglich, eine zur „Versorgung“ einer Klasse von ca. 25 Schülern ausreichende Anzahl an Experimentierstationen zu finden.

3.2.1.2. Weitere Kriterien

Neben dem Bezug zum bayerischen Lehrplan ist die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden, das wichtigste Kriterium bei der Auswahl der Stationen. Jede Station soll Eigenaktivitäten der Schüler ermöglichen und sogar erfordern. Die Schüler sollen aus den unter „2.1 Warum experimentieren?“ bereits genannten Gründen experimentieren und sich nicht nur ein Exponat anschauen: Die Selbstbestimmtheit und freie Zeiteinteilung wirkt motivierend, die Selbstständigkeit der Schüler wird gefördert, ebenso wie das Lernen des Lernens. Die Schüler können eigene Erfahrungen sammeln, und zwar mit allen Sinnen. Außerdem kann Lernen nur durch eigene Aktivität stattfinden.

Eine weitere Anforderung an die Stationen ist die einleuchtende Handhabung. Sie sollten möglichst so gestaltet sein, dass auf den ersten Blick klar ist, was mit ihnen gemacht werden bzw. welcher Teil manipuliert werden kann. Dadurch wird wahrscheinlicher, dass sie genutzt werden: Wenn erst ein langer Instruktionstext gelesen werden muss, bevor man selber etwas machen kann, schreckt das ab. Zusätzlich wird durch eine einfache Handhabung gewährleistet, dass die Versuche in den meisten Fällen gelingen, wodurch Frustration verhindert werden kann.

Auch ist die Hemmschwelle, von der Anleitung abweichende Versuche auszuprobieren, vermutlich geringer, wenn die Station nicht so kompliziert wirkt. Das selbstständige Variieren des Versuchs wird begünstigt. Positiv hierfür ist es auch, wenn von vornherein ersichtlich ist, dass die Station auf vielfältige Weisen genutzt werden kann.

Neben der Handhabung sollten auch die zu machenden Erfahrungen einleuchtend sein: Die Phänomene sollten leicht und eindeutig zu beobachten sein, sodass der Versuch in den meisten Fällen als geglückt empfunden wird. Dieses Kompetenzzempfinden wirkt, wie unter „2.1.3 Vorteile von Experimentierstationen“ erläutert, motivationsfördernd. Die Erfahrungen sollten außerdem interessant sein, also für die Schüler zunächst möglichst unbekannt und neu. Dadurch werden die Stationen und besonders eine Kommunikation über die gemachten Erfahrungen attraktiver.

Ein mehr praktischer Gesichtspunkt ist die Haltbarkeit und Wartung der Experimentierstationen. Da sie dauerhaft im Schulhaus ausgestellt und von den Schülern genutzt werden sollen, müssen sie sehr stabil gebaut sein. Auch eine „unsachgemäße Bedienung“ darf nicht sofort zur Zerstörung der Stationen führen – schließlich ist das selbstständige Variieren der Versu-

che ausdrücklich erwünscht. Zur Verbesserung der Haltbarkeit werden die Stationen lackiert – dann lassen sie sich bei Verschmutzung leichter reinigen.

Verbrauchsmaterial, das eine häufige Betreuung und Wartung der Stationen nötig macht, darf nicht für die Versuche nötig sein. Es würde zu ständigen Betriebskosten führen, zu Ärger und Enttäuschung, wenn das notwendige Material mal wieder nicht aufgefüllt wurde und der Versuch nicht durchgeführt werden kann, und dazu, dass ständig jemand die Stationen auf Vollständigkeit überprüfen muss.

Äußerst wichtig ist auch der Sicherheitsaspekt: Eine Verletzungsgefahr für die Schüler muss unbedingt vermieden werden. Das heißt, dass Gegenstände aus Glas gut gesichert oder weggelassen werden sollten, keine scharfen Kanten und Ecken an den Stationen sein dürfen, auch keine herausstehenden Schrauben oder ähnliches (vgl. Holst 2005, S. 71).

Der zum Schutz der Stationen verwendete Lack muss der DIN EN 71-3 entsprechen, also schweiß- und speichelecht sein: Auch wenn jemand z.B. an den Stationen leckt, dürfen sich keine Schwermetalle und andere giftige Elemente lösen.

Um den Nachbau der Stationen an anderen Schulen zu ermöglichen, sollte die Herstellung nicht kompliziert sein und die benötigten Materialien nicht zu teuer. Auch müssen sie leicht beschaffbar sein. Holz erfüllt alle Bedingungen: Zur Bearbeitung sind im Wesentlichen nur Säge und Bohrmaschine erforderlich, man kann es im Baumarkt kaufen und Sperrholz oder Tischlerplatten sind recht preiswert. Etwas teurer, dafür aber schöner und viel stabiler sind Multiplexplatten, wie sie für diese Arbeit verwendet wurden.

Die restlichen Materialien (Schrauben, Winkel, Lager, etc.) sind ebenfalls im Baumarkt erhältlich, einige spezielle Teile wie Schalter, Transformatoren oder Prismen können problemlos im Internet bestellt werden.

3.2.2. Bau der Stationen

Die Baupläne für die Experimentierstationen wurden mit dem Programm Autodesk Inventor 2008 erstellt. Dieses wird auch von der Wissenschaftlichen Werkstatt für Forschung und Lehre, Abteilung Mechanik der Fakultät für Physik und Astronomie verwendet. Da die Stationen zu großen Teilen von dieser Werkstatt gefertigt wurden, lag die Verwendung des gleichen Programms nahe.

Es ermöglicht außerdem eine exakte Konstruktion und Bemaßung der Einzelteile der Stationen, außerdem können diese zu einem dreidimensionalen Modell zusammengefügt werden – die Bedienung ist denkbar einfach. Alle Pläne befinden sich im Anhang der Arbeit.

3.2.3. Texte an den Stationen

Vor dem Verfassen der Texte, die neben den Stationen angebracht werden sollen, muss festgelegt werden, welche Aufgaben die Texte erfüllen sollen.

Im Fall der Experimentierstationen sind diese Aufgaben (vgl. Noschka-Roos 1988, S. 12)

- Anleitung geben, was mit der Station gemacht werden kann,
- die Aufmerksamkeit lenken
- und informieren bzw. beim Verstehen der Beobachtungen helfen.

Wichtig ist es, sowohl Merkmale des Textes, als auch Merkmale der Leser zu beachten (vgl. ebd., S. 13), da Lesen immer ein Wechselwirkungsprozess zwischen beiden ist.

Eine Theorie zur Verständlichkeit von Texten hat beispielsweise Groeben bereits Anfang der Siebzigerjahre entwickelt (vgl. ebd., S. 45). Er zieht dabei „psycholinguistische Theorien zur Satzgestaltung und Stilistik heran, informationstheoretische Modelle zur semantischen Dichte (Redundanz), die Kognitive Lerntheorie [...] sowie die motivationale Neugiertheorie“ (ebd., S. 45).

Dabei kommt er zu vier für die Textverständlichkeit wichtigen Merkmalsdimensionen (vgl. Christmann/Groeben 2006, S. 151):

1. Sprachliche Einfachheit
2. kognitive Gliederung/Ordnung
3. Kürze/Prägnanz
4. motivationale Stimulanz

Die Dimension der kognitiven Gliederung erwies sich als am „gewichtigsten für die Verständlichkeit und am bedeutsamsten für den Aufbau einer kognitiven Struktur“ (Christmann/Groeben 2006, S. 151f.). Es geht dabei sowohl um die inhaltliche Strukturierung, als auch um die Organisation von Texten.

Da die Kognitive Lerntheorie die Textverarbeitung als Eingliederungsprozess der Textinformation in eine hierarchisch aufgebaute kognitive Struktur beschreibt, sollte die Ordnung des Textes diese Eingliederung erleichtern (vgl. ebd., S. 152).

Die Eingliederung fällt leichter, je klarer und stabiler die Ankerkonzepte sind, an die angeknüpft werden soll, und „je besser die neue Information von bereits etablierten Konzepten unterscheidbar ist“ (ebd.).

Bei der ebenfalls wichtigen Dimension der Einfachheit stellte sich heraus, dass sowohl zu schwere als auch zu leichte Texte zu schlechten Behaltensleistungen führen (vgl. ebd., S. 156).

Bei zu schweren Texten werden die Leser überfordert, sie können das Gelesene nicht verstehen und somit auch kaum behalten.

Eine „Maximierung von Verständlichkeit führt nicht notwendigerweise zu einer Verbesserung von Verstehens- und Behaltensleistung“ (ebd.), da es durch geringe kognitive Anreize zu einer Unterforderung und damit einer geringeren Lesemotivation kommt.

Optimal sind also aus pädagogischer Sicht mittelschwere Texte, die gerade noch eine „gewisse Herausforderung“ (ebd.) bieten.

Es existieren noch einige weitere Theorien zur Verständlichkeit, auch ist Groebens Theorie nicht unumstritten (vgl. Noschka-Roos 1988, S. 46), sie liefert aber „gute Hinweise für das Schreiben“ (ebd.) und wird z.B. in Seminaren zum Schriftspracherwerb noch immer gelehrt.

Gerade aus den ersten drei Dimensionen lassen sich konkrete Hinweise für das Verfassen der Texte ableiten (vgl. ebd., S. 25).

Orientiert man sich an der sprachlichen Einfachheit, sollte man (vgl. ebd., S. 25)

- „einfache Sätze mit kurzen Satzteilen“ (ebd.) formulieren,
- „aktive Verben“ (ebd.) verwenden und das Passiv vermeiden,
- „Nominalisierungen und Schachtelsätze“ (ebd.) vermeiden,
- „konkret und anschaulich“ (ebd., S. 26) schreiben
- und „geläufige Wörter verwenden“ (ebd.).

Die Dimension Kürze/Prägnanz legt nahe, „sich auf das Wesentliche zu beschränken, die zu vermittelnden Inhalte knapp und konzentriert darzustellen“ (ebd.).

Um eine Kognitive Gliederung/Ordnung zu erreichen, sollten

- die Texte „vom Bekannten zum Unbekannten“ (ebd., S. 27) fortschreiten,
- wesentliche Konzepte hervorgehoben werden (vgl. ebd.)
- und der Aufbau des Textes „auch in der äußeren Form deutlich werden“ (ebd.).

Schwieriger zu realisieren ist die Dimension der motivationalen Stimulanz. Vorgeschlagen wird hier, Probleme mit alternativen Lösungsmöglichkeiten, Vergleiche, Bezüge zu alltäglichen Situationen und vor allem Fragen (vgl. ebd., S. 28) in den Text einzubauen.

Als besonders förderlich wird die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden, dargestellt. Das kann beispielsweise durch Flips, also Texte oder Bilder, die zumindest teilweise erst sichtbar wer-

den, wenn man eine Abdeckung umklappt („flippt“) oder ähnliches, oder manipulierbare Exponate erreicht werden (vgl. ebd.). Glücklicherweise ist dies bei jeder Experimentierstation möglich.

Auch die „Leserlichkeit und das gesamte ‚äußere‘ Erscheinungsbild eines Textes“ (ebd., S. 29) beeinflussen die Lesemotivation.

Die Leserlichkeit hängt davon ab, welche Schriftarten und -größen verwendet werden. Empfohlen wird eine Schriftgröße von „24 oder 18 Punkt“ (ebd., S. 30).

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Text gelesen wird, erhöht sich, wenn „die Information, die man sucht, im Text leicht zu finden“ (ebd., Herv. i. Original) ist. Dies kann man durch Zwischenüberschriften oder ein „Orientierungssystem“ (ebd.) erreichen: Anweisungen werden z.B. in einen Kasten gesetzt, Verallgemeinerungen unterstrichen oder Beispiele eingerückt.

Auch die Positionierung der Texte ist wichtig: Sie müssen „den gemeinten Objekten eindeutig zuzuordnen, möglichst nahe bei ihnen platziert sein“ (ebd.). Natürlich sollten sie bequem lesbar sein, also nicht auf den Boden geklebt, zu hoch gehängt oder vom Objekt verdeckt werden.

Für die Länge der Texte „gibt es die verschiedensten Ratschläge“ (ebd., S. 29), sie reichen von „zwischen 21 und 30 Zeilen“ (ebd.) bis zu „höchstens 75 Worten“ (ebd.). Da die meisten Leser der Texte an den Experimentierstationen noch recht jung sind und teilweise erst am Anfang des Leselernprozesses stehen, denke ich, dass die Länge der Texte geringer sein sollte als in „normalen“ Museen.

Hier wird ein wichtiger Aspekt deutlich: Da Textverstehen eine „Wechselwirkung zwischen Text und Leser“ (ebd., S. 31) ist, muss man sich vor dem Schreiben der Texte überlegen, wen man damit ansprechen möchte.

Zwar sind die Schüler der Grundschule bereits eine viel homogenere Gruppe als z.B. die Besucher des Deutschen Museums, dennoch gibt es, wie oben bereits angedeutet, gravierende Unterschiede. Diese liegen zum einen in der Lesekompetenz, zum anderen aber auch in Vorwissen, Vorlieben und Interessen.

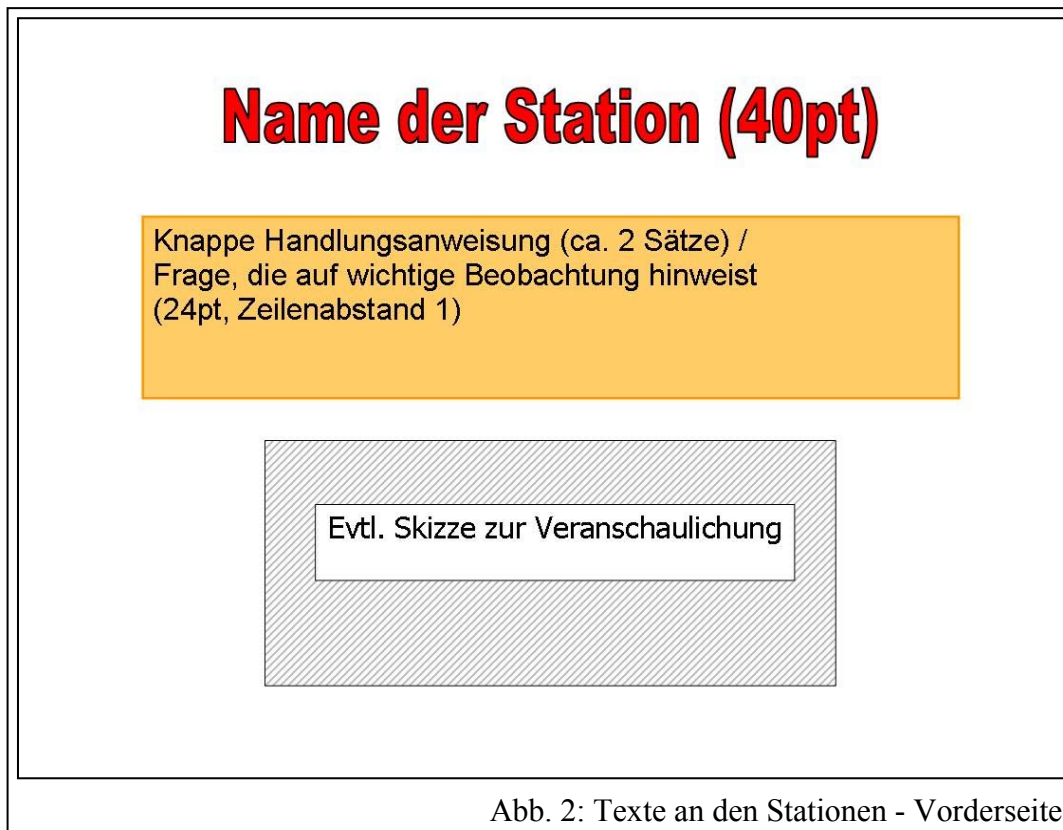
Bei einem manipulierbaren Exponat, also beispielsweise den Experimentierstationen, sind einige Besonderheiten zu beachten:

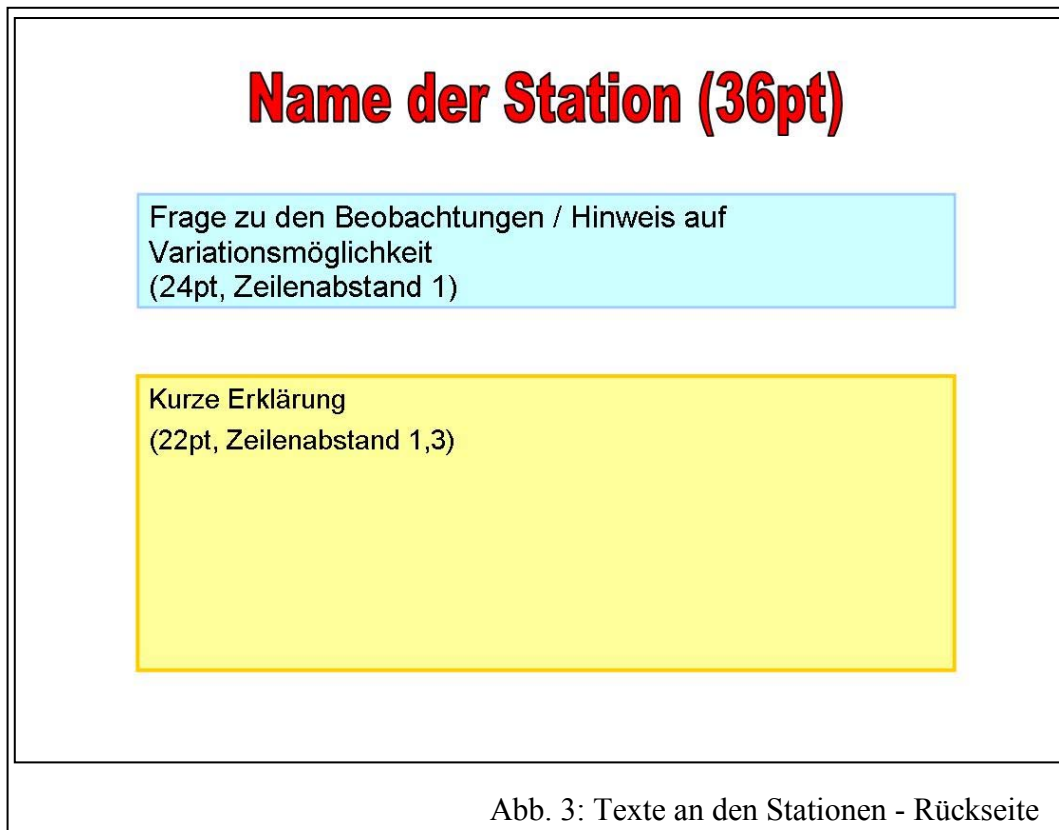
Der Text, „der sagt, wie man damit umgehen kann“ (ebd., S. 22), sollte „eindeutig erkennbar vom restlichen Text abgehoben sein“ (ebd.).

3. Die Stationen

„Das Ergebnis des Versuchs, die Erklärung der aufgetretenen Phänomene, dürfen beim Lesen der Handlungsanweisung nicht im Blickfeld sein“ (ebd., S. 22f.). So können eigene Erfahrungen gemacht und eigene Erklärungen entwickelt werden. Die „Antworten“ (ebd., S. 23) können „als Flips angeboten werden“ (ebd.).

Anhand dieser grundsätzlichen Überlegungen habe ich folgendes Schema für die Texte an den Experimentierstationen entwickelt:





Die beiden Seiten werden zusammen auf ein Blatt gedruckt und als Flips bei den Stationen angebracht. Das für die Texte ausgewählte Papier ist hellgelb. Dadurch ist es leichter zu finden und das äußere Erscheinungsbild freundlicher.

Die Texte sind jeweils in drei Kästen gefasst und farblich unterlegt. So ist es leicht, z.B. die Erklärung zu finden. Auch liest man nicht versehentlich bereits die Erklärung und Beschreibung, bevor man eigene Beobachtungen gemacht hat.

Teilweise sind bereits die Überschriften (Namen der Stationen) als Fragen formuliert, in den meisten Fällen wird zumindest die Handlungsanweisung mit einer Frage beendet.

Auf der vorderen Seite wird lediglich ein Hinweis gegeben, was mit der Station gemacht werden kann, bzw. worauf man seine Aufmerksamkeit lenken sollte. Diese Seite soll möglichst wenig von der Experimentierstation ablenken und nur eine Hilfestellung bieten, wenn nicht klar ist, was beobachtet oder getan werden soll. Sofern es nötig ist, wird die Handlungsmöglichkeit durch eine Zeichnung illustriert.

Auf der Rückseite wird im oberen Kasten darauf hingewiesen, wie die gemachte Beobachtung vertieft oder wie der Versuch variiert werden kann. Im unteren Kasten folgt eine kurze Erklärung des Phänomens. Der Schwierigkeitsgrad dieser Erklärung ist schwer festzulegen, da die Schüler sich in ihrem Vorwissen und ihrer Lesekompetenz sehr stark unterscheiden.

Ich strebe an, dass die Stationen vor allem in der dritten Klasse in den Unterricht eingebunden werden. Wenn dies der Fall wäre, wüssten die Viertklässler bereits recht gut über die Stationen Bescheid. Auch könnten im Unterricht weitere Erklärungen auf entsprechendem Niveau hinzukommen.

Zielgruppe der Erklärungstexte wären dann vor allem Erst- bis Drittklässler. Ich habe mich daher bemüht, ein niedriges bis mittleres Niveau zu wählen, teilweise werden die Phänomene auch nur beschrieben, nicht erklärt. Eine ungefähre Orientierung, an welcher Stelle eine Erklärung angebracht ist, geben z.B. der bayerischen Lehrplan und die Experimentierbücher für die Grundschule (Kahlert/Demuth 2007).

3.2.4. Lehrerinformationen

Damit die Lehrkräfte der Schule über Ziele und Inhalte der Stationen informiert sind und diese möglichst reibungslos in ihren Unterricht einbauen können, wurde ein Lehrerhandbuch zu den Experimentierstationen verfasst. Nach einer allgemeinen Schilderung der Zielsetzung der Experimentierstationen werden zu jedem Themengebiet zunächst die physikalischen Grundlagen in knapper Form erläutert. Dann werden die häufigsten Schülervorstellungen beschrieben und der Bezug zum bayerischen Lehrplan aufgezeigt. Schließlich werden kurz die Stationen und die jeweils angestrebten Ziele dargestellt, teilweise werden auch die Schülerarbeitsblätter erläutert.

Ähnlich wie Materialien, die Lehrkräften beim Besuch von außerschulischen Lernorten zur Verfügung gestellt werden, sollen diese auch hier „die Lehrkraft ermutigen, flexibel auf das entstandene Wissen der Schülerinnen und Schüler zu reagieren“ (Klaes 2008, S. 265) und eher auf „Kontextverständnis als auf Faktenwissen ausgerichtet sein“ (ebd.). Besonders die physikalischen Grundlagen und die Beschreibung der Schülervorstellungen scheinen hier geeignet zu sein: Anhand der Schülervorstellungen kann bereits vorhergesehen werden, mit welchen Fragen und Problemen die Schüler vermutlich zur Lehrkraft kommen. So besteht für diese die Möglichkeit, sich mit den physikalischen Grundlagen gezielt vertraut zu machen und dadurch flexibel und selbstsicher den Fragen der Schüler zu begegnen.

Die Darstellung der physikalischen Grundlagen erfolgt möglichst anschaulich und mit vielen Illustrationen, auch Alltagsbezüge werden aufgezeigt. So soll ein flexibler Umgang ermöglicht werden.

3.2.5. Vorschläge für Schülerarbeitsblätter

Um das Einbinden der Experimentierstationen in den Unterricht für die Lehrer weiter zu vereinfachen und attraktiver zu gestalten, wurden zu allen Stationen ein oder mehrere Vorschläge für Schülerarbeitsblätter erstellt. Damit die vorgeschlagenen Arbeitsblätter an den jeweiligen Unterricht und die jeweils gewünschten Formatierungen angepasst werden können, werden sie der Schule nicht nur in gedruckter, sondern auch in digitaler Form als Worddokument zur Verfügung gestellt (eine CD mit allen Materialien findet sich im Anhang).

Beim Erstellen der Blätter wurde darauf geachtet, dass die Bezüge zum bayerischen Lehrplan auch hier so weit wie möglich aufgenommen werden. Ebenso wie bei den Texten an den Stationen handelt es sich hier größtenteils um Instruktionstexte. Die Zielgruppe der Arbeitsblätter sind Drittklässler, da die Stationen besonders gut in den Heimat- und Sachunterricht dieser Jahrgangsstufe eingebaut werden können. Daher wurden auch hier einfache, klar formulierte Sätze mit aktiven Verben verwendet (vgl. 3.2.3 Texte an den Stationen).

Es handelt sich bei den Aufgaben auf den Arbeitsblättern um schrittweise Handlungsanweisungen und Fragen zu den Beobachtungen. Alle Schritte und Fragen sind nummeriert. Dadurch wird das Einhalten der richtigen Reihenfolge erleichtert. Außerdem wird das Lesen für Schüler, die noch nicht gut überfliegend lesen können, vereinfacht, da sie nicht jedes Mal nach dem Ausführen einer Handlung lange im Text suchen müssen, welche Anweisung die nächste ist.

Um zu verhindern, dass die passende Station lange gesucht werden muss, und um das Erinnern an die Station bei späterem Betrachten des Arbeitsblattes zu erleichtern, ist auf jedem Arbeitsblatt die passende Station abgebildet. Felder für Namen und Datum sind vorgesehen, um die Zuordnung zu erleichtern. Die Lineatur entspricht der in der dritten Klasse üblichen.

Um das Bearbeiten der Blätter ansprechender und interessanter zu gestalten, wurde versucht, das Notieren der Beobachtungen zu variieren und zu eigenen kreativen Handlungen anzuregen. Beobachtungen sollen daher manchmal graphisch und nicht nur verbal festgehalten werden. Wann immer möglich, wird zu eigenen Kreationen angeregt, beispielsweise sollen bei der Station „Klappspiegel“ eigene Muster und bei der Station „Klangrohre“ ein eigenes Lied erfunden werden.

3.2.6. Eröffnungsveranstaltung

Am Dienstag, dem 08. Juli 2007, fand in der Grundschule Reichenberg eine Eröffnungsveranstaltung für die Experimentierstationen statt. Eingeladen waren u.a. das Lehrerkollegium, die Eltern aller Schüler der Schule mit den Schülern und Herr Hügelschäffer, der Bürgermeister von Reichenberg.



Die Anwesenden wurden darüber informiert, wie es zum Bau der Stationen für die Grundschule kam, welche Überlegungen hinter der Auswahl stehen und was die Ziele sind, die mit den Stationen erreicht werden sollen.

Danach bestand für alle die Möglichkeit, die Stationen selbst auszuprobieren und eventuell offen gebliebene Fragen zu stellen.



Abb. 5: Ausprobieren der Stationen

Durch diese Veranstaltung sollte gewährleistet werden, dass einerseits die Elternschaft der Schule über die Experimentierstationen informiert ist. Andererseits wurde die Aufmerksamkeit aller auf die Stationen gelenkt, sodass diese hoffentlich leichter einen Platz im Schulleben zugewiesen bekommen.

3.3. Beschreibung der einzelnen Stationen

Im Folgenden werden die einzelnen Experimentierstationen kurz vorgestellt. Dazu wird jeweils der Lehrplanbezug aufgezeigt und die mit der Station bei den Schülern zu erreichenden Ziele dargelegt. Wenn nötig und sinnvoll, werden physikalische Besonderheiten erklärt. Zu fast jeder Station werden zur Veranschaulichung Foto und Skizze abgebildet.

Zusätzlich werden im Lehrerhandbuch im Anhang (siehe „9.1 Informationen für Lehrkräfte“) Schülervorstellungen zu den einzelnen Themenbereichen beschrieben und ein Überblick über die physikalische Grundlagen gegeben. Auch Lehrplanbezug und Zielsetzung der einzelnen Stationen werden dort noch einmal erläutert.

Die Reihenfolge, in der die Stationen in diesem Kapitel beschrieben werden, entspricht derjenigen im Lehrerhandbuch. Zuerst werden im Teil „3.3.2. Stationen zu optischen Phänomenen“ die Stationen aufgeführt, die sich mit dem Sehen im Allgemeinen befassen, dann folgen Experimente mit Farben, darauf Spiegelphänomene. Der Teil „3.3.2. Stationen zu akustischen

Phänomenen“ beginnt mit Versuchen zur Schallerzeugung, auf die Stationen zur Schallausbreitung folgen.

Ideen und Anregungen für die einzelnen Stationen wurden in verschiedenen Science Centern gewonnen, z.B. dem Universum in Bremen und dem Technorama in Winterthur, außerdem in der Wanderausstellung „Miniphänomente“ der Universität Flensburg. Auch Lernwerkstätten, Lehrbücher und Experimentierbücher für die Grundschule wurden zu Rate gezogen (Jennings 1992, Kahlert 2007, Meier 2002).

3.3.1. Stationen zu optischen Phänomenen

Station „Schatten“

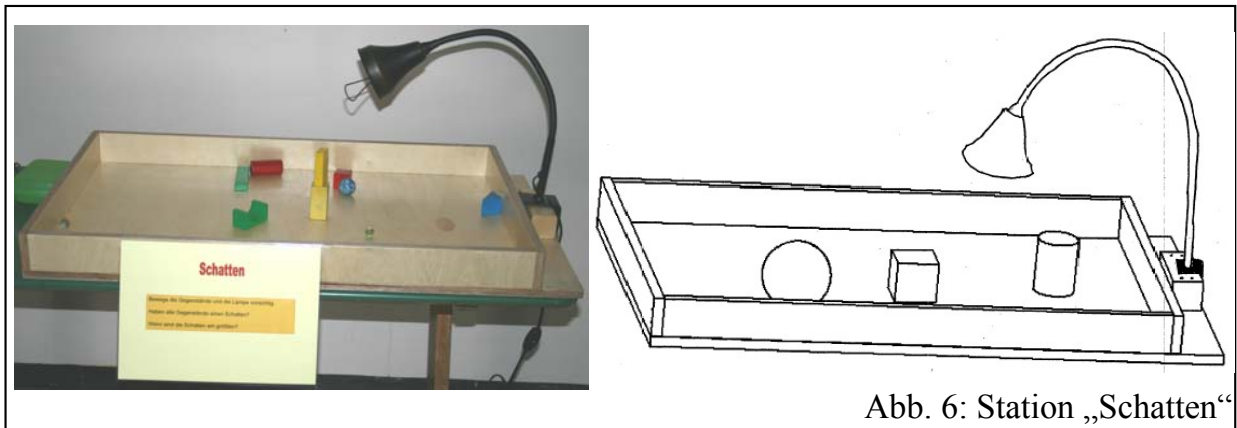


Abb. 6: Station „Schatten“

Die Experimentierstation „Schatten“ greift den für den Heimat- und Sachunterricht der ersten Klasse vorgeschriebenen Themenbereich „Mit Licht und Schatten Erfahrungen sammeln“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 107) auf. Weiter heißt es dort, es sollen die „Raum-Lage-Beziehungen zwischen Lichtquelle, Gegenstand und Schatten“ (ebd.) bestimmt werden. Als Unterrichtsvorschläge werden „Schattenlage, Schattenlänge; Schattenentstehung erklären“ (ebd.) genannt.

Genau diese Erkenntnisse können an der Station „Schatten“ gewonnen werden. Die Schüler sollen hier Erfahrungen mit Schatten sammeln. Auf einem Brett stehen verschiedene Gegenstände zur Verfügung, beispielsweise Würfel, Kugeln und Zylinder, eine recht bewegliche Lampe mit Schwanenhals ist seitlich am Brett befestigt.

Der neben der Station angebrachte Text fordert auf zu untersuchen, ob alle Gegenstände einen Schatten haben, und wie der größte Schatten erzeugt werden kann. Auf der Rückseite wird aufgetragen, dafür zu sorgen, dass der Schatten auf der anderen Seite des Gegenstands auf-

3. Die Stationen

taucht und zu erklären, wie ein Schatten entsteht. Diese Erklärung wird im unteren Teil des Textes umrissen.

Mit den Arbeitsblättern erkunden die Schüler zunächst frei die Schatten verschiedener Körper. Dann sollen sie herausfinden, was die Form des Schattens mit der Form des Körpers zu tun hat. Auch der Zusammenhang zwischen der Lage des Schattens und der Position der Lichtquelle wird thematisiert.

Ebenso wie auf dem Texte neben der Station werden die Kinder hier angewiesen, durch Ausprobieren herauszufinden, wie man große und kleine Schatten erzeugen kann.

Wünschenswert wäre es, wenn die Schüler anfangen, frei zu experimentieren, also z.B. eigene Gegenstände benutzen, auch die eigenen Hände, etc.. Durchsichtige Gegenstände könnten besonders interessant sein.

Station „Kinorad“

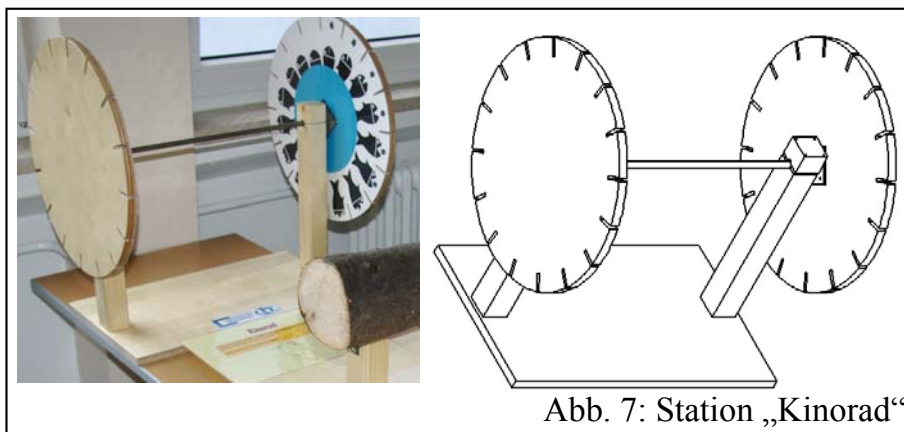


Abb. 7: Station „Kinorad“

Ein nicht rein physikalisches Themengebiet schneidet die Station „Kinorad“ an, hier geht es mehr um die menschliche Wahrnehmung als um Physik. Ein Lehrplanbezug findet sich beispielsweise in der zweiten Jahrgangsstufe, dort geht es um die „Freizeitgestaltung im Wandel der Zeit“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 111). Es könnte in diesem Zusammenhang die Entwicklung der „bewegten Bilder“ vom Daumenkino, über das Praxinoskop bis hin zum Fernsehen besprochen werden, die eine große Veränderung in der Freizeitgestaltung vieler Menschen bewirkte. Auch im dritten Schuljahr existiert mit dem Thema „Seherlebnisse“ (ebd., S. 193) ein Lehrplanbezug. Hier könnten auch Sinnestäuschungen aufgenommen und ein Bezug zu den beiden unten beschriebenen Stationen mit den optischen Täuschungen hergestellt werden.

Beim Kinorad blickt man durch die Schlitze in einer drehbar gelagerten Scheibe jeweils auf das gegenüberliegende, an der anderen Scheibe angebrachte Bild. Die einzelnen Bilder geben

einen Bewegungsablauf wieder, wobei nebeneinander liegende Bilder sich immer nur leicht unterscheiden. Dreht man die Scheibe nun an, kann das Auge ab einer gewissen Geschwindigkeit keine einzelnen Bilder mehr erkennen – sie verschmelzen zu einer Bewegung.

Dabei ist es wichtig, dass man nur durch die Schlitze schaut und so die Bilder immer durch ein Stück Scheibe voneinander getrennt werden. Schaut man nicht durch die Schlitze auf die Bilder, verschmelzen diese einfach zu einem undefinierbaren Streifen.

Die Schüler können an dieser Station erkunden, wie die Illusion einer Bewegung zustande kommt. Beim Vergleich der einzelnen Bilder miteinander sollen sie feststellen, dass diese sich immer nur sehr wenig voneinander unterscheiden. Dabei üben sie, genau hinzuschauen und Beobachtungen miteinander zu vergleichen. Auch können sie herausfinden, dass die Bilder erst ab einer gewissen Drehgeschwindigkeit miteinander verschmelzen. Daraus können Rückschlüsse auf die Funktionsweise der Bewegungsimllusion beim Fernsehen gezogen werden und ein für die Schüler sehr spannender Alltagsbezug hergestellt werden.

Station „Scheibe oder Tunnel?“



Abb. 8: Station „Scheibe oder Tunnel“

Ähnlich wie bei der Station „Kinorad“ geht es auch bei „Scheibe oder Tunnel?“ vor allem um die menschliche Wahrnehmung. Im Lehrplan wird diese in der dritten Klasse unter „Seherlebnisse“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 193) gefasst, im Unterricht soll man „Möglichkeiten des Sehsinns spielerisch erkunden“ (ebd.).

Die Station besteht aus einer Scheibe, auf die mehrere exzentrische Kreise gemalt sind. Dreht man die Scheibe, glaubt man in einen dreidimensionalen Tunnel oder Kegel zu schauen.

Diese optische Täuschung wird „Stereokinetisches Phänomen“ genannt, wie sie genau erklärt werden kann, ist noch strittig. Eine Theorie versucht das Phänomen damit zu erklären, dass unser visuelles System versucht, die Geschwindigkeitsunterschiede (Punkte, die weiter außen auf der Scheibe liegen, bewegen sich schneller also solche, die weiter innen liegen) zu mini-

3. Die Stationen

mieren (vgl. Beghi et al. 1991, S. 425ff.). Dies kann gelingen, wenn man „annimmt“ (nicht bewusst!), dass die sich langsamer bewegenden Punkte weiter weg sind. Denn Dinge, die weiter weg sind, sehen kleiner aus. Auch die Strecken, die sie zurücklegen, sehen kleiner aus, es wirkt, als würden sie sich langsamer bewegen.

Die Schüler sollen hier erfahren, dass unsere Wahrnehmung sich leicht täuschen lässt. Dazu lernen sie eine optische Täuschung kennen. Sie können durch freies oder systematisches Variieren feststellen, dass die Täuschung unabhängig von der Drehrichtung funktioniert und auch die Drehgeschwindigkeit kaum Einfluss hat. Diese beiden Änderungen der Randbedingungen werden auch auf dem Text neben der Station und dem Arbeitsblatt vorgeschlagen.

Station „Welches ist größer?“

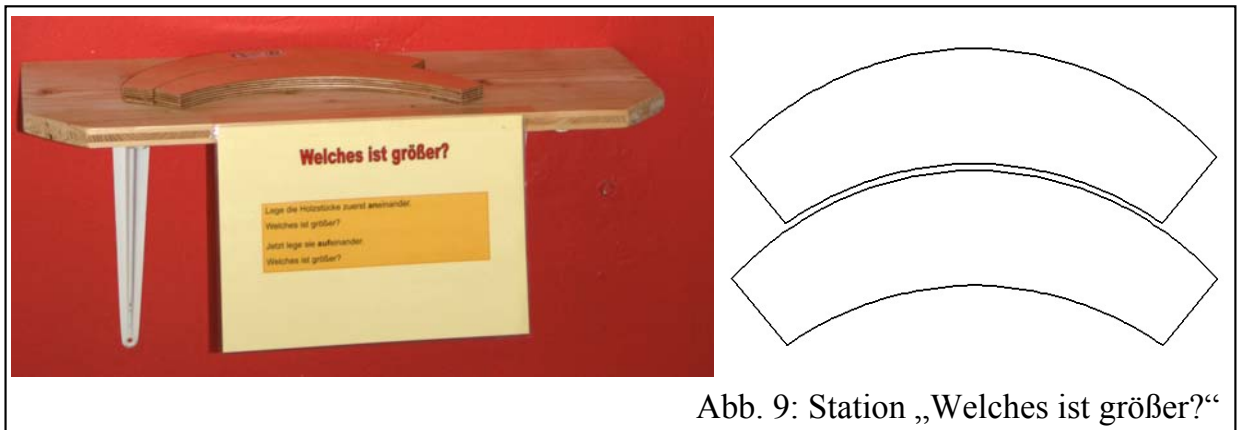


Abb. 9: Station „Welches ist größer?“

Genau wie bei der zuvor beschriebenen Experimentierstation, handelt es sich bei „Welches ist größer?“ um eine optische Täuschung. Daher ist auch die Lehrplaneinordnung identisch, passend ist auch hier der Bereich „Seherlebnisse“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 193) mit der Konkretisierung „Möglichkeiten des Sehens spielerisch erkunden“ (ebd.).

Die Station besteht aus zwei deckungsgleichen Holzstücken (siehe Abb. 9). Die äußere und die innere Kante eines Holzstücks sind jeweils Kreisbögen mit dem gleichen Radius, sodass die Hölzer aneinander passen. Die äußere Kante ist jedoch länger. Legt man die Holzstücke aneinander, scheint das hintere Holzstück kleiner zu sein. Die kurze Seite des hinteren Holzstücks wird automatisch mit der langen Seite des vorderen Stücks verglichen und logischerweise als länger bewertet. Daher scheint die ganze vordere Figur länger zu sein.

Wieder sollen die Schüler eine optische Täuschung kennen lernen, wobei die Erklärung des Phänomens hier so reduzierbar ist, dass auch Schüler sie verstehen können.

Station „Licht mischen“

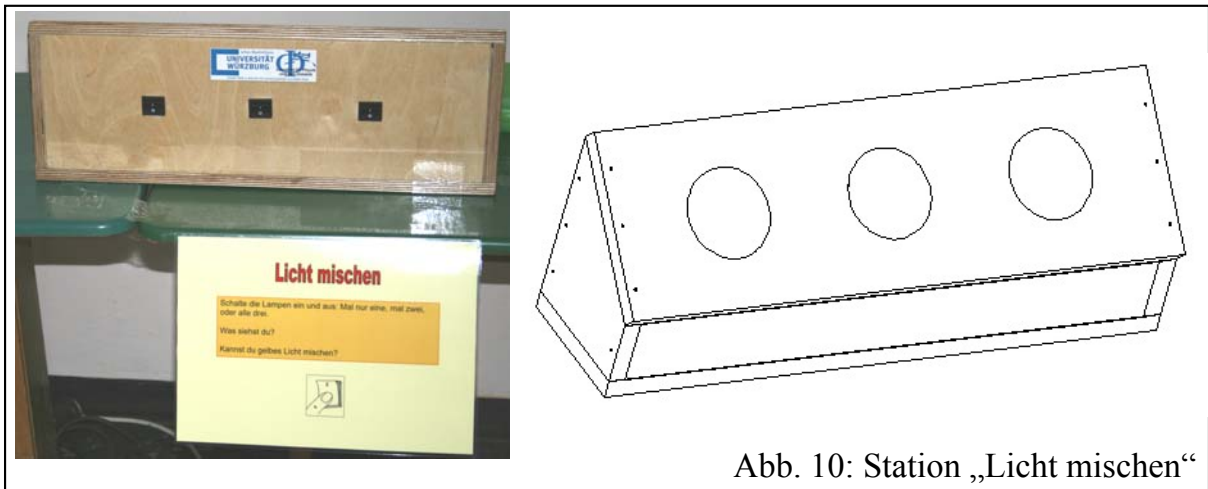


Abb. 10: Station „Licht mischen“

Im Lehrplan für die dritte Jahrgangsstufe wird „Licht in die Spektralfarben (Re genbogenfarben [sic!]) auflösen“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 194) als Unterrichtshinweis gegeben. Bei der Experimentierstation „Licht mischen“ kann der entgegengesetzte Vorgang beobachtet werden: Die Schüler können ausprobieren, was passiert, wenn man mit rotem, grünem und blauem Licht die gleiche weiße Fläche beleuchtet. Dabei können die drei farbigen Lampen einzeln an- und ausgeschaltet werden.

Dieses Phänomen steht zwar nicht direkt im Lehrplan, kann aber dem Themenbereich „Ausbreitung des Lichts untersuchen“ (ebd.) durchaus zugeordnet werden und ergänzt die Aufspaltung des Lichts in die Spektralfarben sinnvoll.

Die Beobachtungen beim Mischen von Licht widersprechen den Erfahrungen, die die Schüler beim Mischen von z.B. Wasserfarben gemacht haben und sind daher besonders interessant.

Station „Farbschlucker“

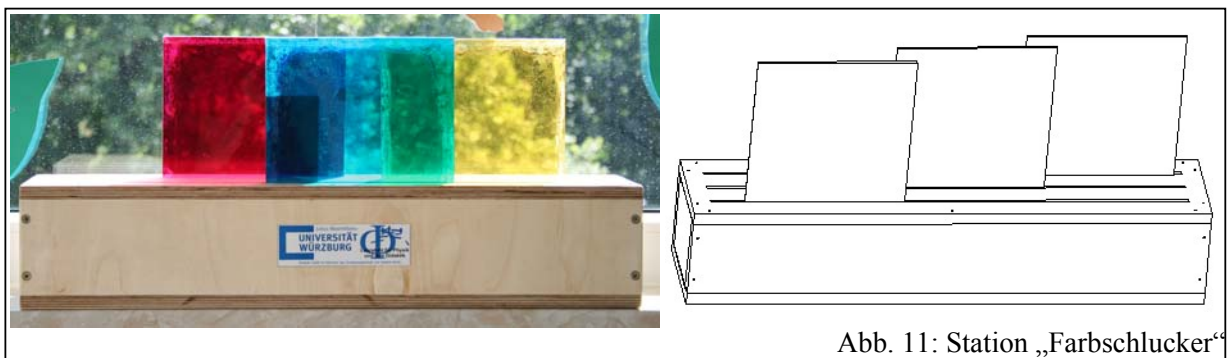


Abb. 11: Station „Farbschlucker“

Auch die Experimentierstation „Farbschlucker“ passt zum Lehrplaninhalt „Licht in die Spektralfarben (Re genbogenfarben [sic!]) auflösen“ (ebd.). Zusätzlich werden im Fach Kunstverziehung in der ersten Jahrgangsstufe das „Erproben und Anwenden der Primärfarben (rot-

3. Die Stationen

gelb-blau“ (ebd., S. 41), das „Mischen und Kombinieren“ (ebd.) von Farben, sowie das „Kennen der Farbbezeichnungen“ (ebd.) vorgeschrieben, es besteht also auch im Fach Kunst ein Bezug zur Station, zumal das Mischen von Farben eine in allen Jahrgangsstufen nutzbare Technik ist.

An der Station können ein gelber, ein magentafarbener und ein cyanfarbener Filter voreinander geschoben werden. Dabei können die Schüler beobachten, welcher neue Farbeindruck entsteht, wenn man jeweils zwei Filter voreinander schiebt, und dass die Filter schwarz aussehen, wenn man alle drei voreinander schiebt. Diese Farbmischung entspricht dem Mischen von Wasserfarben, sie wird auch subtraktive Farbmischung genannt, da immer ein Teil des Lichts vom Farbstoff absorbiert, also subtrahiert, wird. Den Bezug zur Farbmischung im Wasserkasten sollen auch die Schüler feststellen.

Station „Weißes Licht - oder nicht?“

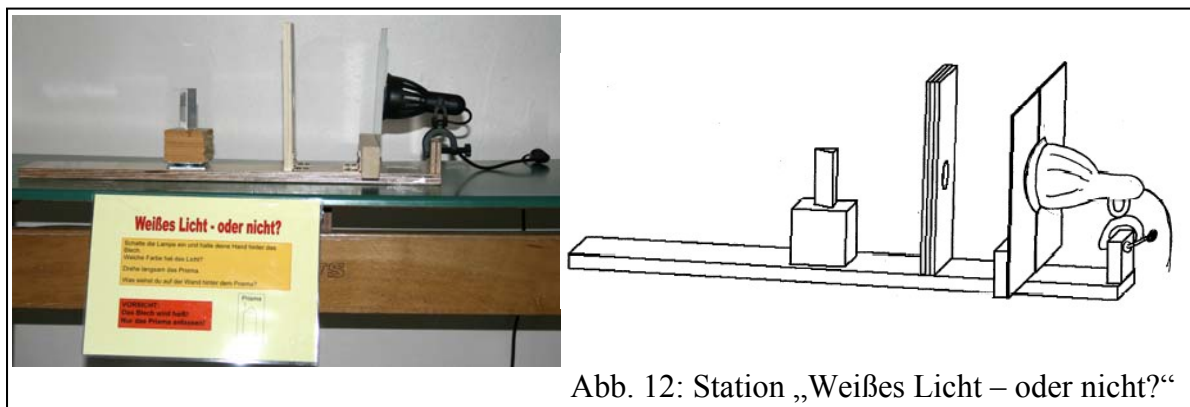


Abb. 12: Station „Weißes Licht – oder nicht?“

Mit der Experimentierstation „Weißes Licht – oder nicht?“ lässt sich „Licht in die Spektralfarben (Regenbogenfarben) auflösen“ (ebd.). Die Station greift also einen Unterrichtshinweis des Lehrplans direkt auf.

Die Lampe leuchtet den Spalt vollständig aus. Die Linse bildet den ausgeleuchteten Spalt scharf ab. Hinter der Linse trifft das Licht auf das Kristallglasprisma. Wurde das Prisma so gedreht, dass das Lichtbündel auf einer Seite ins Prisma eintritt und auf einer benachbarten Seite wieder austritt, wird das Licht zweimal an den Grenzflächen gebrochen. Da der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängt, werden die verschiedenen Farben unterschiedlich stark gebrochen. Diese Abhängigkeit von der Wellenlänge nennt man Dispersion (vgl. Tipler 2004, S. 1014). Sie ist bei Kristallglas recht hoch, rotes Licht wird nicht so stark gebrochen wie blaues. Dadurch ist das zuvor weißes Licht nach Austritt aus dem Prisma in seine Spektralfarben zerlegt.

Das Prisma im Versuchsaufbau ist drehbar gelagert. Die Schüler können so den Winkel, unter dem das Licht einfällt, verändern, bis auf der Wand ein Spektrum zu sehen ist. Sie sollen erfahren, dass weißes Licht aus Licht aller Farben besteht.

Station „Klappspiegel“

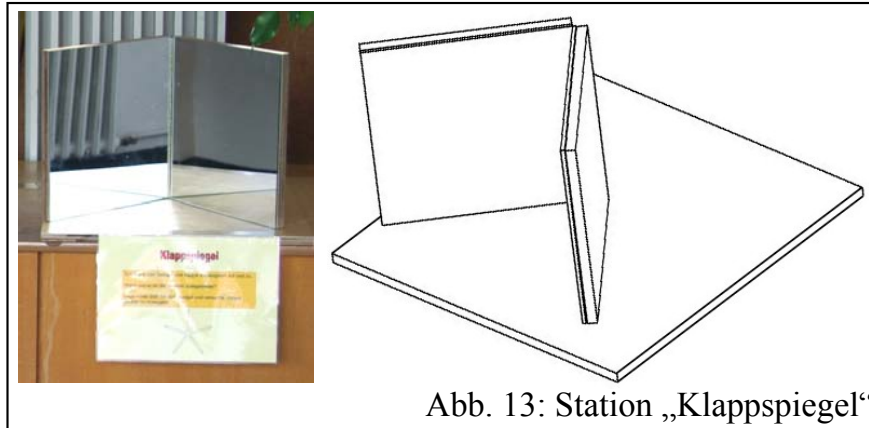


Abb. 13: Station „Klappspiegel“

Die Experimentierstation „Klappspiegel“ bezieht sich auf den im Lehrplan für die dritte Jahrgangsstufe vorgeschriebenen Bereich „Spiegelphänomene erkunden und anwenden“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 194). Als Unterrichtshinweise werden genannt „Licht mit Spiegeln umleiten; Spiegelsymmetrie: Spiele mit Spiegeln, z. B. Spiegelschrift, Kaleidoskop, Spiegellabyrinth, Periskop; Spiegelbilder auf der Wasseroberfläche, Glas, polierten Flächen o. Ä. betrachten; Lagebestimmung des Spiegelbildes: den Abstand von Bild und Spiegelbild zur Spiegeloberfläche betrachten, Bewegungsrichtung im Spiegel verfolgen“ (ebd.). Von den Hinweisen sind die meisten an dieser Station durchführbar.

Aber auch im Mathematikunterricht lässt sich die Station für den in der dritten Klasse vorgesehenen Bereich „Symmetrische Figuren entdecken, erstellen, zeichnen und beschreiben“ (ebd, S. 186), nutzen, „Spiegeln“ (ebd.) wird sogar explizit als Unterrichtshinweis gegeben.

Die Station besteht aus zwei Spiegeln, die wie ein Buch klappbar miteinander verbunden sind. Einer ist fest auf der Tischplatte montiert, der andere lässt sich drehen. Dadurch können verschiedene Winkel zwischen den Spiegeln eingestellt werden, sodass sich ein zwischen die Spiegel gestellter Gegenstand unterschiedlich oft spiegelt. Durch geschickte Wahl der Winkel lassen sich schöne Muster erzeugen.

Erstaunliches zeigt der Klappspiegel bei einem Winkel von 90° : Blickt man nun in den Spiegel, sieht man sich so, wie einen andere sehen. Der Spiegel vertauscht jetzt rechts und links.

Beim Experimentieren an der Station sollen die Schüler Mehrfachspiegelungen erkunden und herausfinden, dass die Anzahl der Spiegelungen vom Winkel zwischen den Spiegeln abhängt. Aber auch grundlegendere Erkundungen von Spiegelphänomenen können und sollen am Klappspiegel gemacht werden, besonders wenn dieser ganz aufgeklappt wird: Die Schüler sollen mit den zur Station gehörenden Arbeitsblättern herausfinden, was der Spiegel vertauscht.

Station „Kaleidoskop“

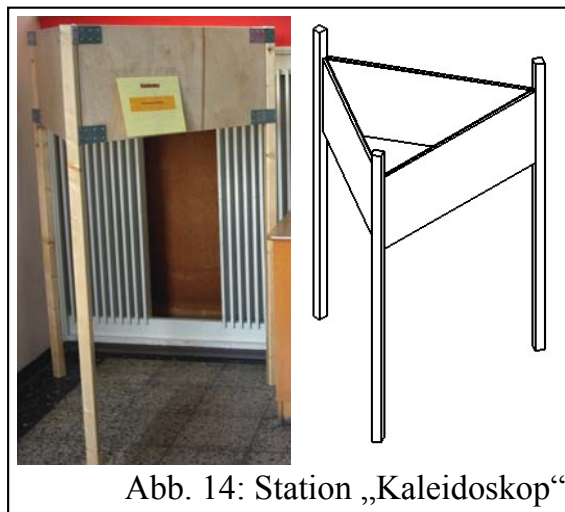


Abb. 14: Station „Kaleidoskop“

Das Kaleidoskop wird im bayerischen Lehrplan für die dritte Jahrgangsstufe, wie oben bereits erwähnt, ausdrücklich aufgeführt: „Spiele mit Spiegeln, z. B. Spiegelschrift, Kaleidoskop, Spiegellabyrinth, Periskop“ (ebd.)

Genau wie die kleinen handelsüblichen Kaleidoskope, besteht das begehbare Kaleidoskop aus drei Spiegeln, die jeweils in einem Winkel von 60° zueinander angeordnet sind. Dadurch spiegelt man sich nicht nur einmal, sondern sieht sich unendlich oft – das Spiegelbild wird wieder und wieder gespiegelt.

Die Schüler sollen sich an dieser Station darüber Gedanken machen, warum man sich nicht nur einmal sieht. Haben sie die Station „Klappspiegel“ bereits erkundet, sind ihnen Mehrfachspiegelungen bereits bekannt. Auch die Funktionsweise „normaler“ Kaleidoskope kann anhand des begehbaren Kaleidoskops entdeckt werden.

3.3.2. Stationen zu akustischen Phänomenen

Station „Klangrohre“

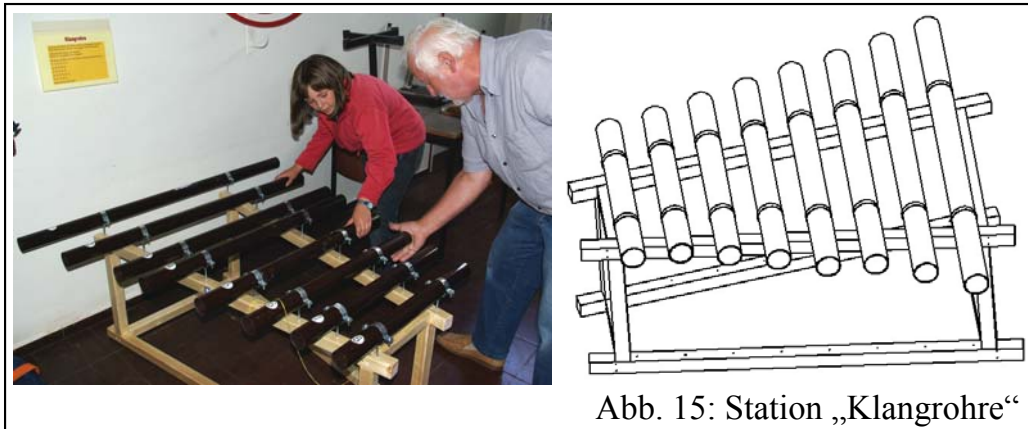


Abb. 15: Station „Klangrohre“

Der im Lehrplan für die dritte Jahrgangsstufe vorgeschriebene Inhaltsbereich „Ausbreitung des Schalls untersuchen“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 194) wird durch den Einzelinhalt „Töne, Klänge, Geräusche durch schwingende Körper und Gegenstände erzeugen und ihnen zuordnen“ (ebd.) näher beschrieben. Besonders der hier gegebene Unterrichtshinweis „hohe - tiefe, laute - leise Geräusche“ (ebd.) lässt sich sehr gut der Station „Klangrohre“ zuordnen.

Die Experimentierstation besteht aus acht verschiedenen langen Regenfallrohren. Ihre Längen sind so abgestimmt, dass beim Anschlagen der Rohre die Töne c' , d' , e' , f' , g' , a' , h' , c'' erklingen. Die Längen der Rohre lassen sich aus der gewünschten Frequenz f berechnen: Schlägt man eines der Rohre an, geraten die Luftteilchen im Rohr in Bewegung, eine stehende Welle entsteht. An den offenen Enden des Rohrs befindet sich jeweils ein Schwingungsbauch, die Wellenlänge der Grundschwingung entspricht also genau der Länge des Rohrs. Alle anderen stehenden Wellen, die sich im Rohr bilden können, sind Oberschwingungen der Grundschwingung und haben eine Wellenlänge, die ein ganzzahliges Vielfaches der Rohrlänge ist. Kennt man nun die Schallgeschwindigkeit v_{Schall} in Luft, lässt sich aus der gewünschten Frequenz f die Wellenlänge λ und somit die Länge l des Rohrs berechnen:

$$l = \lambda = \frac{v_{\text{Schall}}}{f}$$

Zu beachten ist, dass die Schallgeschwindigkeit in Luft temperaturabhängig ist. Für den Bau der Station wurde der Wert $v_{\text{Schall}} = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ verwendet. Die zu den oben genannten Tönen gehörigen Frequenzen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Ton	Frequenz/Hz
c'	264 Hz
d'	297 Hz
e'	330 Hz
f'	352 Hz
g'	396 Hz
a'	440 Hz
h'	495 Hz
c''	528 Hz

Tabelle 1

Die Schüler sollen hier beobachten, dass die erzeugten Töne tiefer sind, je länger das Rohr ist. Auch wie laute und leise Töne hervorgerufen werden können, kann herausgefunden werden.

Station „Klingende Saite“

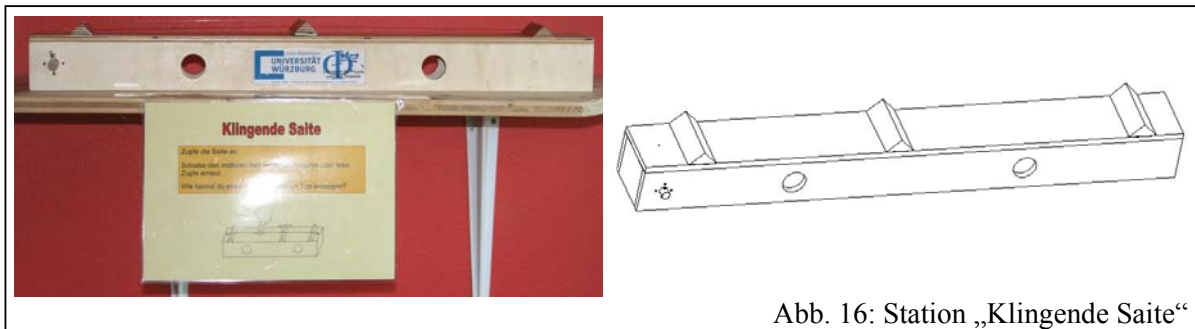


Abb. 16: Station „Klingende Saite“

Das „Monochord“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 194) wird im Lehrplan der dritten Klasse in den Unterrichtshinweisen zum Inhalt „Töne, Klänge, Geräusche durch schwingende Körper und Gegenstände erzeugen und ihnen zuordnen“ (ebd.) erwähnt.

Es besteht – wie der Name bereits andeutet – aus nur einer Saite mit Resonanzkörper. Mit Hilfe eines Holzkeils lässt sich die Länge der angezupften Saite verändern. Je größer die Saitenlänge l ist, desto tiefer ist der Ton. Auch die Saitenspannung σ und die Massendichte ρ der Saite beeinflussen die Tonhöhe, also die Frequenz f der erzeugten stehenden Welle (vgl.

Tipler 1994, S. 440):
$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

Die Schüler sollen hiervon jedoch lediglich die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der angezupften Saite erkennen. Da die Bewegung der Saite nach dem Anzupfen recht deutlich

sichtbar ist, können sie auch auf die Notwendigkeit einer sich bewegenden Schallwelle kommen. Auch der Unterschied zwischen lauten und leisen Tönen soll an der Station „Klingende Saite“ erkundet werden. Hinweise auf diese drei Beobachtungen und darauf, welche Randbedingungen variiert werden können, bekommen die Schüler sowohl von den Stationstexten als auch den Arbeitsblättern.

Station „Geräusche im Holz“

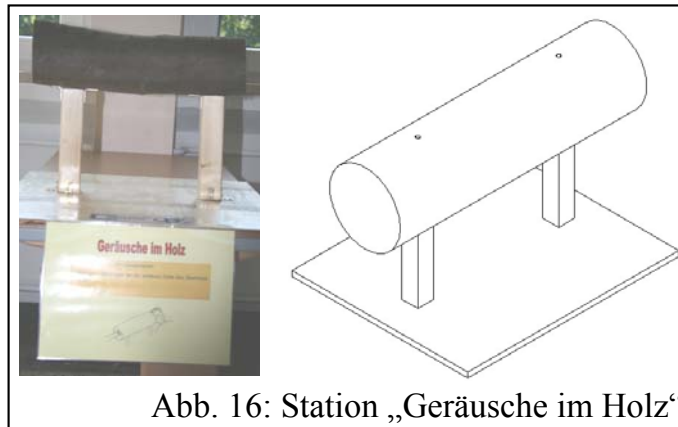


Abb. 16: Station „Geräusche im Holz“

Die Experimentierstation „Geräusche im Holz“ greift das Thema „Ausbreitung von Schall in Luft, festen Körpern und Wasser“ (ebd.) aus dem bayerischen Lehrplan für die dritte Jahrgangsstufe auf. Dort wird für den Unterricht sogar auf „Schallträger wie Tischplatte oder Baumstamm“ (ebd.) hingewiesen.

Ein Baumstamm dient bei der Station als fester Körper, an dem die Schallausbreitung in Feststoffen untersucht werden kann. Hält man sein Ohr an die Schnittfläche des Stamms, kann man beispielsweise das Ticken einer an die andere Seite gehaltenen Armbanduhr deutlich hören. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in Holz ist viel größer, als die in Luft, sie

beträgt parallel zur Faser zwischen $4000 \frac{m}{s}$ und $6000 \frac{m}{s}$ (vgl.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Holz>).

Ziel dieser Station ist, dass die Schüler erkennen, dass Schall auch durch Feststoffe weitergeleitet werden kann.

Station „Richtungshören“

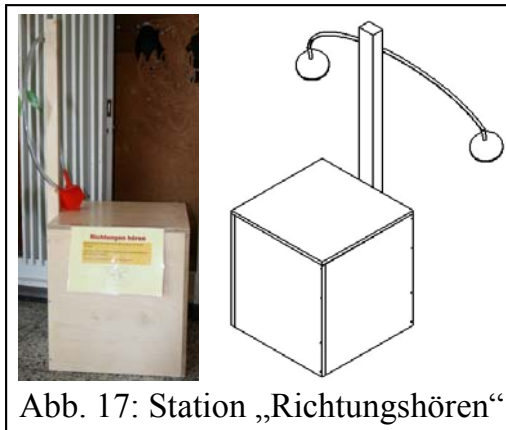


Abb. 17: Station „Richtungshören“

Die Station „Richtungshören“ passt gut zum Lehrplaninhalt „Bedeutung des Ohrs erfahren“ (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000, S. 193) mit den Einzelinhalten „Hörerlebnisse“ (ebd.) und „Leistung und Aufbau des Ohrs“ (ebd., S. 194). Auch das „Verstärken oder Bündeln des Schalls“ (ebd., S. 194) mit einem „Trichter“ (ebd.) aus dem Themenbereich „Ausbreitung des Schalls untersuchen“ (ebd.) ist passend.

Zum „Richtungshören“ hält man sich auf jedes Ohr einen Trichter, die Trichter sind mit einem Schlauch verbunden, dessen Mitte markiert wurde. Wenn man nur wenige Zentimeter links oder rechts von der Mitte auf den Schlauch klopft, ist der Unterschied bereits hörbar.

Die Töne kommen mit einem winzigen Zeitunterschied Δt an unseren Ohren an. Schlägt man einen Zentimeter links von der Mitte an, muss der Schall zum rechten Ohr eine Strecke von zwei Zentimetern mehr zurücklegen, der Streckenunterschied beträgt also $\Delta l = 2\text{cm}$. Der Zeitunterschied Δt beträgt bei einer Schallgeschwindigkeit $v_{\text{Schall}} = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ dann

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{v_{\text{Schall}}} \approx 6 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 60 \mu\text{s}.$$
 Dieser winzige Unterschied genügt für unser Gehirn bereits,

um die Richtung festzustellen.

An dieser Station erfahren die Schüler, wie genau unsere Ohren wahrnehmen können, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt. Wenn sie den Versuchsaufbau variieren, indem sie in einen Trichter hinein flüstern und am anderen lauschen, können sie auch die Schallbündelung mit einem Trichter oder einem Hörrohr untersuchen.

4. Kurzevaluation

4.1. Fragestellung und Vorgehen

Aus den unter „2.2.1 Befunde verschiedener Untersuchungen“ und unter „3.1 Ziele“ erläuterten Überlegungen ergeben sich einige Fragen für die Kurzevaluation. Einerseits ist von Interesse, ob die Experimentierstationen in den Heimat- und Sachunterricht der verschiedenen Lehrkräfte eingebaut werden. Andererseits stellt sich die Frage, wie die Schüler auf die Stationen reagieren: Sind die motivationsfördernden Faktoren Selbstbestimmtheit, Erleben von Kompetenz und soziale Eingebundenheit tatsächlich gegeben? Wird eine Kommunikation über physikalische Sachverhalte angeregt und das aktuelle Interesse geweckt? Auch die Verständlichkeit und Attraktivität sowohl der Stationen als auch der Texte an den Stationen sollte in der Praxis überprüft werden.

Die genannten Reaktionen der Schüler sind teilweise einfach und direkt feststellbar. Hier wurde ein von Holst (Holst 2005) entwickelter Beobachtungsbogen verwendet, wodurch ein Vergleich mit der 2005 von Holst veröffentlichten Evaluation interaktiver Experimentierstationen möglich wird.

Die Frage nach der Integration der Stationen in den Unterricht ist besonders wichtig, da oben bereits aufgezeigt wurde, dass langfristige Effekte bei den Schülern nur dadurch bewirkt werden können. Leider würde es den zeitlichen Rahmen der Hausarbeit sprengen, die Einbindung zu evaluieren: Dazu müsste zumindest über ein Schuljahr hinweg beobachtet werden, ob, wann und wie die Stationen für den Unterricht genutzt werden, denn dies geschieht vermutlich erst, wenn die Themen optische und akustische Phänomene im Sachunterricht behandelt werden. Da die Stationen gegen Ende des Schuljahres eröffnet wurden und die beiden Themen im Sachunterricht schon lange vorher besprochen worden waren, ist eine direkte Einbindung in diesem Schuljahr nicht mehr möglich.

Um dennoch einen Hinweis darauf zu bekommen, ob eine Nutzung der Stationen für den Unterricht stattfinden wird, wurde eine Befragung der Lehrkräfte mit einem Fragebogen durchgeführt. Dabei wurden auch die Einschätzungen der Lehrkräfte bezüglich der Nutzung der Stationen durch die Schüler und der Platzierung der Stationen im Schulgebäude abgefragt.

4.1.1. Schülerbeobachtung

Zur Feststellung der Schülerreaktionen wurde ein Beobachtungsbogen gewählt. Beobachtungsbögen nehmen eine Zwischenstellung zwischen freier und systematischer Beobachtung ein und schienen hier geeignet, da sie die Aufmerksamkeit auf bestimmte Verhaltensaspekte richten, ohne völlig durchstrukturiert zu sein (vgl. Lukesch 1998, S. 122). Durch die standardisierte Sprache wird eine „gewisse Vereinheitlichung“ (ebd.) und dadurch eine leichtere Auswert- und Vergleichbarkeit erreicht. Dennoch können Beobachtungsfehler durch den Einsatz von Beobachtungsbögen nicht ausgeschlossen werden (vgl. ebd.), wie unten noch weiter erläutert wird.

Der verwendete Beobachtungsbogen (siehe 9.6 Beobachtungsbogen) stammt von Holst, wurde von diesem in Anlehnung an eine Untersuchung in der Phänomena Flensburg erstellt und als eines von drei Diagnoseinstrumenten zur Evaluation von interaktiven Experimentierstationen benutzt (vgl. Holst 2005, S. 67f.). Die von ihm untersuchten 52 Experimentierstationen, auch „Miniphänomena“ genannt, sollen der „Verbesserung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung in der Primarstufe und Orientierungsstufe“ (ebd., S. 70) dienen. Sie können von Schulen ausgeliehen werden, wenn zuvor Lehrkräfte der Schule an einer speziellen Fortbildungsveranstaltung teilgenommen haben.

Da die Stationen denen für die Grundschule Reichenberg teilweise stark ähneln und ebenfalls für den Einsatz auf dem Schulflur konzipiert sind, wird durch das Verwenden des gleichen Beobachtungsbogens ein Vergleich der Ergebnisse ermöglicht. Holst legt für den Umgang der Schüler mit den Experimentierstationen (bei ihm kurz „ExS“ genannt) folgende Handlungsschritte fest und spezifiziert sie:

- „Schüler liest (z.B. Hinweistexte bei den ExS): zögernd, zurückhaltend, zielstrebig.
- Schüler versteht (entnimmt Sinn, weiß, welche Handlung an der ExS erwartet wird): unsicher, staunend, zweifelnd, überzeugt.
- Schüler fragt (hat die ersten Handlungsschritte nicht verstanden und fragt Mitschüler oder Mitschülerinnen in der Umgebung): zielgerichtet, unsicher, zweifelnd.
- Schüler nimmt in Betrieb (beginnt mit der tätigen Auseinandersetzung): zögernd, unsicher, zielgerichtet.
- Schüler begreift (lässt erkennen, dass das Phänomen erkannt und als Information aufgenommen wurde): überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt.

- Schüler experimentiert (verändert Randbedingungen aus dem Verstehen heraus): überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt.
- Schüler funktioniert zum Spielobjekt um (ziellooses Vorgehen oder spielerische Auseinandersetzung): staunend, begeistert, gelangweilt, enttäuscht.“ (ebd., S. 68)

Des Weiteren wird im Beobachtungsbogen festgehalten, ob der beobachtete Schüler alleine an die Station kommt, wie lange er bei der Station verweilt und wie er die Station verlässt (staunend, begeistert, gelangweilt, enttäuscht) (vgl. ebd.).

Indikatoren für die Spezifikationen gibt Holst leider nicht. Eine Festlegung, woran beispielsweise ein Schüler zu erkennen ist, der ein Phänomen überrascht begreift, und woran einen, der begeistert begreift, existiert nicht. Ohne Indikatoren, die angeben, aus welchem Verhalten auf welche Stimmung des Schülers geschlossen werden kann, ist die Beobachtung nicht valide: Jeder Beobachter muss aufgrund seiner eigenen Persönlichkeitstheorie bewerten - und eine solche Theorie ist keine wissenschaftliche Begründung und somit nicht valide (vgl. Lukesch 1998, S. 165f.). Auch der Auftrag, die Beobachtungen nur dann anzuführen, „wenn sicher war, dass eine bestimmte Vorgehensweise oder Äußerung zu beobachten war“ (Holst 2005, S. 68) trägt ohne vorgegebene Konkretisierungen nicht zur Validität der Beobachtungen bei. Bei den Spezifikationen handelt es sich um hochinferente Ratingskalen, da sie nicht expliziert werden und „das Urteil als nicht näher konkretisierte, ganzheitliche Einfühlungsreaktion erscheint“ (Lukesch 1998, S. 166).

Auch bei der in der Phänomenta Flensburg durchgeführten Untersuchung, an der Holst sich bei der Erstellung seines Beobachtungsbogens orientierte, fehlen genauere Indikatoren (vgl. Fiesser 1990, S. 75ff.). Dort fand jedoch nach jeder Beobachtung ein Abschlussgespräch mit dem Beobachteten statt, durch das die Spezifikationen eventuell überprüft werden konnten (vgl. Ebd., S. 76).

Problematisch an den Spezifikationen der Handlungsschritte ist auch, dass sie keiner äquidistanten Skala entsprechen (vgl. Lukesch 1998, S. 170). Beispielsweise beim Handlungsschritt „Schüler begreift“ wird spezifiziert in die verschiedenen Stimmungen „überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt“. Dabei lassen sich „überrascht“, „begeistert“, „enttäuscht“ und „gelangweilt“ in eine Rangfolge bringen, „zweifelnd“ passt jedoch nicht dazu: Bei einem begeisterten Begreifen ist es möglich zu zweifeln, ebenso wie beim enttäuschten Begreifen. Zusätzlich fehlt in der Rangfolge ein „neutrales“ Begreifen, der Abstand zwischen den Abstufungen „begeistert“ und „enttäuscht“ ist viel größer als der zwischen z.B. „überrascht“ und „begeistert“. Dadurch wird eine Zuordnung beim Beobachten erschwert und das Ergebnis

verfälscht – Schüler, die nur ein klein wenig positiv beeindruckt, eigentlich eher neutral wirken, müssen entweder gar nicht zugeordnet, oder völlig übertrieben als „begeistert“ beschrieben werden.

Die Objektivität der Beobachtungen, also die Unabhängigkeit vom Beobachter, ist bei der Durchführung laut Holst gegeben, da „trotz unterschiedlicher Beobachter und Beobachterinnen annähernd gleiche Beobachtungen stattgefunden haben“ (Holst 2005, S. 67). Allerdings ist diese Art, die Durchführungsobjektivität festzustellen eher fraglich. Professionell wäre es hier gewesen, mehrere Beobachter den gleichen Schüler an der gleichen Station beobachten zu lassen, und die Ergebnisse dann miteinander zu vergleichen. Zumindest die Auswertung der Bögen erfolgt objektiv, da der Beobachter Markierungen auf dem Bogen macht, die einfach abgezählt werden können.

Die Verhaltensbeobachtung soll bei Holst „Hinweise auf die Wirksamkeit zur Veränderung der Schülervorstellungen geben“ (ebd., S. 66). Außerdem meint er, durch die Beobachtungen erfassen zu können, „inwieweit sich Schüler und Schülerinnen emotional mit den Phänomenen auseinandersetzen, und daher den Zugang zu den Naturwissenschaften finden. Sie zeigen zudem, ob sich die Kinder selbstständig und aktiv den Experimenten zuwenden, also das experimentelle Tun (Forscherdrang) gefördert wird und als Folge das problemlösende Denken fördert.“ (ebd., S. 69).

Aus den Verhaltensbeobachtungen auf komplexe Vorgänge wie das Finden eines Zugangs zu den Naturwissenschaften oder die Veränderung von Schülervorstellungen zu schließen erscheint sehr gewagt. Holst benutzt jedoch noch zwei weitere Diagnosemittel, nämlich Concept Maps und die Methode des lauten Denkens (vgl. ebd., S. 58ff.). Dadurch erreicht er insgesamt angeblich eine gute Aussagekraft, trotz verwegener Schlüsse bei den Verhaltensbeobachtungen. Allerdings werden mit den beiden anderen Diagnosemitteln nicht die gleichen Hypothesen überprüft wie mit der Verhaltensbeobachtung, sondern die Hypothese, dass die Schüler durch die Nutzung der Experimentierstationen naturwissenschaftliche Vorstellungen verinnerlichen und vernetzen (vgl. Holst 2005, S. 55 und S. 198f.). Inwiefern die Bestätigung dieser Hypothese durch die Methode des lauten Denkens und die Concept Maps dazu beitragen kann, auch die Aussagekraft der durchgeführten Verhaltensbeobachtungen zu stützen, bleibt fraglich.

Bei der Untersuchung in Reichenberg werden keine weiteren Diagnoseinstrumente eingesetzt, daher sollen mit dem Beobachtungsbogen leichter überprüfbare Fragen beantwortet werden,

die Beantwortung soll direkt aus den Beobachtungen hervorgehen können. Wie oben bereits erwähnt, soll festgestellt werden, ob eine Kommunikation über physikalische Sachverhalte stattfindet, ob die Kinder aktuelles Interesse zeigen und ob die motivationsfördernden Faktoren Selbstbestimmtheit, Erleben von Kompetenz und soziale Eingebundenheit wie erwartet gegeben sind. Ebenso soll beobachtet werden, ob die Stationen und die Texte an den Stationen attraktiv und für die Kinder verständlich sind.

Leider bleiben die Schwächen des Beobachtungsbogens bezüglich Durchführungsobjektivität und Validität dennoch bestehen. Die Durchführungsobjektivität ist hier besonders fraglich, da der Beobachter gleichzeitig der Konstrukteur der Stationen ist, und die Beobachtung daher nicht unvoreingenommen durchführen kann.

Die Beobachtungen wurden fast zwei Wochen lang täglich in der ersten großen Pause durchgeführt. Da die Schüler der Grundschule Reichenberg sich in den Pausen normalerweise nicht im Schulgebäude aufhalten dürfen, bekamen jeden Tag verschiedene Schüler die besondere Erlaubnis, drinnen bleiben und an den Stationen experimentieren zu dürfen. Es wurde versucht, die Beobachtungen auf wenige Stationen zu beschränken, um zu diesen Stationen viele Beobachtungen durchführen zu können.

Das Ausfüllen der Bögen erfolgte offen, die Schüler wussten also, dass sie beobachtet werden. Da den Schülern aber nicht bekannt war, was genau beobachtet wurde und was das „erwünschte Verhalten“ war, konnte es nicht zu einem „Meerschweincheneffekt“ (Lukesch 1998, S. 132) kommen, bei dem die Beobachtung dadurch verfälscht wird, dass die Versuchspersonen versuchen, das gewünschte und nicht ihr natürliches Verhalten zu zeigen.

Auch konnten die Schüler während der Beobachtungen Kontakt zum Beobachter aufnehmen, Fragen zu den Stationen stellen oder ihre Erkenntnisse mitteilen. Die Beobachtung war also zeitweise eher teilnehmend als außenstehend.

4.1.2. Lehrerbefragung

In Ermangelung eines für die Fragestellung passenden, bereits erprobten Fragebogens wurde ein eigener erstellt. Die ordnungsgemäße Entwicklung eines Fragebogens, in dem die inhaltlich wichtigen Fragen methodisch richtig gestellt werden, ist „eine außerordentlich komplizierte Angelegenheit“ (Porst 2008, S. 12). Daher sei vorweg gesagt, dass diese hier zwar nach besten Wissen durchgeführt wurde, der Fragebogen aufgrund mangelnder Erfahrung und zeitlicher Beschränkung jedoch wissenschaftlichen Gütekriterien nicht standhält.

Bei der Formulierung der Fragen wurde darauf geachtet, einige wichtige „*Gebote der Frageformulierung*“ (ebd., S. 95, Herv. i. Original) zu beachten. Diese sind zwar nur „sehr grobe Faustregeln“ (ebd.), helfen aber dennoch, Fehler zu vermeiden. Besonders wichtig ist es, einfache, unzweideutige Begriffe zu verwenden, die von allen Befragten gleich verstanden werden (vgl. ebd.). Für besseres Verstehen sorgen auch kurze, simpel formulierte Fragen, doppelte Verneinungen sollten vermieden werden (vgl. ebd.). Obwohl die befragte Person nicht überfordert werden darf, sollen die Fragen „nicht trivial klingen“ (ebd.), da dies demotivierend wäre. Hypothetische Fragen und Unterstellungen sind ebenfalls ungünstig, wenn man realistische Antworten erhalten möchte (vgl. ebd.).

Der Fragebogen besteht aus fünf Fragen, von denen drei geschlossen und zwei halboffen gestellt wurden. Die Form der geschlossenen Frage, bei der die Antwortmöglichkeiten vorgegeben sind und die entsprechende Antwort angekreuzt werden muss, hat den Vorteil, dass die Antworten standardisiert sind und leicht miteinander verglichen werden können. Außerdem lassen sie sich sehr schnell beantworten – ein wichtiger Aspekt, da die Fragebögen vermutlich in der Pause von den Lehrkräften aufgefüllt werden. Um eine Frage geschlossen stellen zu können, muss das „Universum der Antworten“ (Porst 2008, S. 63) bekannt sein und aus einer bestimmten Menge bestehen, die Anzahl der Antworten darf nicht zu groß sein (vgl. ebd.). Dies ist bei drei der für den Fragebogen ausgewählten Fragen der Fall:

1. *Haben Sie die Experimentierstationen bereits genutzt?*

Die Antwort kann hier nur „Ja.“ oder „Nein.“ lauten, nichts anderes ist möglich.

2. *Werden Sie die Experimentierstationen für Ihren Unterricht nutzen?*

Hier ist entweder schon eine klare Planung vorhanden – dann kann mit „Ja.“ oder „Nein.“ geantwortet werden. Oder die Lehrkraft hat noch keine Entscheidung getroffen, „Weiß ich noch nicht.“ wäre die passende Antwort. Schließlich ist es auch möglich, dass die Lehrkraft zur Zeit z.B. eine erste Klasse hat, die Stationen mit dieser nicht nutzen möchte, aber durchaus in Erwägung zieht, die Stationen zu nutzen, falls sie irgendwann beispielsweise eine dritte Klasse übernimmt. Für diesen Fall steht die Antwort „Vielleicht mit einer anderen Klasse.“ zur Auswahl.

3. *Wie werden die Experimentierstationen bisher von den Schülern genutzt?*

Bei dieser Frage wurde vor allem die geschlossene Form gewählt, um die Varianz der Antworten einzuschränken. Da durch die Schülerbeobachtungen keine Informationen darüber gesammelt werden konnten, wie oft die Schüler die Stationen nutzen, sollte dies hier erfragt werden. Die Antwortmöglichkeiten „Intensiv.“, „Oft.“, „Selten.“ und

„Gar nicht.“ beschränken die Antworten auf die Angabe der Nutzungshäufigkeit, wobei die vierstufige Skala sehr übersichtlich ist und dennoch ausreichend differenziert. Falls eine Lehrkraft nicht einschätzen kann, wie oft die Stationen genutzt werden, steht die Antwort „Weiß ich nicht.“ zur Verfügung.

Bei den beiden halboffenen Fragen konnte „das tatsächliche Universum möglicher Antworten [...] zwar gut abgeschätzt [...], aber nicht definitiv bestimmt“ (Porst 2008, S. 57) werden. Daher wurde eine Restkategorie in die Frage eingefügt. Sie dient neben der Datengewinnung dazu, die „Motivation der Befragungspersonen aufrecht zu erhalten“ (ebd.), denn so kann bei niemandem „das Gefühl entstehen, ‚da irgendwie nicht reinzupassen‘“ (ebd.).

Auch konnte durch die Restkategorie verhindert werden, dass sehr viele Antwortmöglichkeiten aufgeführt werden müssen. Denn bei den beiden halboffenen Fragen wäre dies sonst nötig gewesen:

1. *Dass die Experimentierstationen frei zugänglich im Schulgebäude stehen, ist...*

Bei dieser Frage stehen unzählige Antworten zur Verfügung, es wurden die am wahrscheinlichsten erscheinenden herausgegriffen, nämlich „eher lästig.“, „für die Schüler sehr interessant.“, „praktisch.“ und „mir egal.“. Um auch andere Meinungen zuzulassen wurde eine Restkategorie eingefügt, in die frei eingetragen werden konnte.

2. *Wie möchten Sie ggf. die Experimentierstationen in Ihrem Unterricht nutzen?*

Die Antwortmöglichkeiten „In Freiarbeit oder Wochenplanarbeit.“, „Als Stationentraining.“, „Ich werde einzelne Stationen in den Klassenraum mitbringen.“ und „Als ‚Hausaufgabe‘.“ sollten die Einsatzmöglichkeiten im Unterricht eigentlich vollständig abdecken. Um jedoch auch weiteren kreativen Ideen Raum zu geben, wurde die Restkategorie „Sonstiges:“ mit Platz zum Eintragen eigener Einsatzmöglichkeiten eingefügt. Lehrkräfte, die die Stationen zwar nutzen möchten, sich jedoch noch nicht sicher sind, wie, können „Weiß ich noch nicht.“ auswählen. Indem als letzte Antwortmöglichkeit „Ich werde sie nicht nutzen.“ eingebaut wurde, dient diese Frage als Kontrollfrage zu „Werden Sie die Stationen für Ihren Unterricht nutzen?“. Dies ist sinnvoll, da die beiden Fragen die bei der Lehrerbefragung wichtigste Information liefern sollen. Wird bei einer der Fragen angegeben, dass die Stationen nicht genutzt werden, muss das bei der anderen Frage auch geschehen. Ist dies nicht der Fall, sollte der Fragebogen aussortiert werden, da er entweder nicht sorgfältig oder nicht wahrheitsgemäß ausgefüllt wurde.

Damit der Fragebogen möglichst wenig abschreckend wirkt und die Rücklaufquote hoch ist, wurde er so formatiert, dass er nur eine DinA4 Seite groß ist und dadurch bereits so aussieht, als wäre er schnell ausgefüllt. Dennoch wurde den Fragen ein kurzer Informationstext zur Intention der Befragung vorangestellt, damit die Lehrkräfte wissen, warum sie den Bogen ausfüllen sollen.

Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens werden nur sehr knapp gegeben: „Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Antworten an (Mehrfachnennungen möglich).“ Da keine komplizierten Skalen, etc. verwendet werden, sind weitere Hinweise nicht nötig.

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Schülerbeobachtung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Schülerbeobachtung dargestellt. Dazu werden zunächst die Ergebnisse der Beobachtungen an den einzelnen Stationen beschrieben. Dann werden unter 4.2.1.2 Deutung und Vergleich die Ergebnisse aller Stationen zusammengefasst und ihre Bedeutung im Bezug auf die eingangs gestellten Fragen geklärt. Außerdem werden die in Reichenberg gemachten Beobachtungen mit denen von Holst verglichen.

4.2.1.1. Einzelne Stationen

Von den dreizehn Experimentierstationen wurden für die Evaluation nur zehn ausgewählt, davon wiederum nur sieben ausgewertet. Für die Stationen „Klappspiegel“, „Monochord“ und „Tunnel oder Scheibe?“ konnten jeweils nur zwei bis drei Beobachtungen angefertigt werden. Dies ist für eine aussagekräftige Auswertung viel zu wenig. Je mehr Beobachtungen durchgeführt werden, desto aussagekräftiger und repräsentativer wird die Evaluation. Denn je mehr einzelne Kinder an den Stationen beobachtet werden, desto eher ist es möglich, von den einzelnen Verhaltensweisen auf ein typisches Verhalten zu schließen.

Insgesamt wurden 63 Beobachtungen ausgewertet, eine recht geringe Anzahl, da die Beobachtung alleine durchgeführt wurde und täglich nur etwa 15 Minuten Beobachtungszeit zur Verfügung standen.

Die Auswertung erfolgt, indem ausgezählt und notiert wird, welche Beobachtung auf den Beobachtungsbögen zu der jeweiligen Stationen wie oft markiert wurde. Dabei werden bei der Beobachtung des Verhaltens wegen der besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit (vgl. Holst 2005, S. 116) Prozentangaben gemacht, nicht die absoluten Zahlen genannt. Die Ge-

4. Kurzevaluation

samtzahl der vorliegenden Beobachtungsbögen wird zusätzlich notiert. Die Spezifikation des Verhaltens wird als Anzahl aufgeführt, da häufig nicht jeder Handlung ein Adjektiv zugeordnet werden konnte und falsche Rückschlüsse von Prozentangaben auf die Anzahl verhindert werden sollen.

Station "Welches ist größer?"

Anzahl: 11		ja in %	nein in %	
Schüler kommt allein		9,1	90,9	
Schüler kommt in Gruppe		90,9	9,1	
Schüler liest		36,4	63,6	zögernd (1), zurückhaltend, zielstrebig (3)
Schüler versteht		88,9	11,1	unsicher (3), staunend, zweifelnd, überzeugt (4)
Schüler fragt		54,5	45,5	zielsicher (5), unsicher (1), zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		100	0	zögernd (1), unsicher, zielgerichtet (9)
Schüler begreift		90,9	9,1	überrascht (3), begeistert (5), enttäuscht, zweifelnd (1), gelangweilt (1)
Schüler experimentiert		36,4	63,6	überrascht (2), begeistert (2), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		27,3	72,7	begeistert (1), aufmerksam, beteiligt (1), abwesend (1)
Schüler geht				staunend (4), begeistert (2), gelangweilt (2), enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	9	2	0	0

Tabelle 2: Beobachtungen zur Experimentierstation „Welches ist größer?“

Für die Experimentierstation „Welches ist größer?“ (siehe Tabelle 2) wurden 11 Beobachtungsbögen ausgefüllt. Über $\frac{1}{3}$ der beobachteten Kinder las zunächst den an der Station angebrachten Text, mehr als die Hälfte der Kinder stellte den anderen Fragen. Dies war fast immer möglich, da weniger als 10% der Beobachteten alleine an die Station kamen. In Betrieb genommen wurde diese Stationen von allen Schülern.

Station "Licht mischen"

Anzahl: 14		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		6,3		93,8		
Schüler kommt in Gruppe		93,8		6,3		
Schüler liest		25,0		75,0		zögernd (1), zurückhaltend, zielstrebig (3)
Schüler versteht		66,7		33,3		unsicher (1), staunend (1), zweifelnd, überzeugt (5)
Schüler fragt		56,3		43,8		zielsicher (7), unsicher (2), zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		93,8		6,3		zögernd (3), unsicher, zielgerichtet (11)
Schüler begreift		86,7		13,3		überrascht (3), begeistert (7), enttäuscht, zweifelnd (1), gelangweilt (1)
Schüler experimentiert		68,8		31,3		überrascht (2), begeistert (8), enttäuscht, zweifelnd (1), gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		43,8		56,3		begeistert (6), aufmerksam, beteiligt (1), abwesend
Schüler geht						staunend (4), begeistert (6), gelangweilt (2), enttäuscht (2)
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	12	4	0	0		

Tabelle 3: Beobachtungen zur Experimentierstation „Licht mischen“

Der Umgang mit der Station „Licht mischen“ (siehe Tabelle 3) wurde 14 mal beobachtet. Auch hier kamen über 90% der Kinder in einer Gruppe. Nur $\frac{1}{4}$ der Kinder lasen die Anweisung, was zu tun ist, verstanden, was zu tun ist, haben jedoch $\frac{2}{3}$ der Kinder. Ebenfalls $\frac{2}{3}$ der Schüler experimentierten überwiegend begeistert an der Station. Besonders beliebt waren die bunten Schatten, die entstanden, wenn die eigene Hand zwischen Lichtquelle und Wand gehalten wurde. So funktionierten auch 43,8% der Kinder die Station zum Spielobjekt um und machten bunte Schattenspiele.

Station "Weißes Licht – oder nicht?"

Anzahl: 9		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		0,0		100,0		
Schüler kommt in Gruppe		100,0		0,0		
Schüler liest		55,6		44,4		zögernd (1), zurückhaltend, zielstrebig (3) unsicher (1), staunend (1), zweifelnd, überzeugt (2)
Schüler versteht		75,0		25,0		
Schüler fragt		77,8		22,2		zielsicher (6), unsicher (1), zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		100,0		0,0		zögernd (2), unsicher (1), zielgerichtet (6)
Schüler begreift		100,0		0,0		überrascht (4), begeistert (4), enttäuscht (1), zweifelnd, gelangweilt
Schüler experimentiert		33,3		66,7		überrascht (2), begeistert (1), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		22,2		77,8		begeistert (2), aufmerksam, beteiligt, abwesend
Schüler geht						staunend (4), begeistert (3), gelangweilt (2), enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	8	0	1	0		

Tabelle 4: Beobachtungen zur Experimentierstation „Weißes Licht - oder nicht?“

Zur Station „Weißes Licht - oder nicht?“ (siehe Tabelle 4) kamen alle beobachteten Schüler in Gruppen. Mehr als die Hälfte las den Stationstext, $\frac{3}{4}$ verstanden, was zu tun ist. 77% der Kinder stellten Fragen. $\frac{1}{3}$ der Beobachteten experimentierten an dieser Station.

Besonders erwähnenswert ist das Experiment eines noch sehr kleinen Jungen, vermutlich eines Erstklässlers. Er hatte es geschafft, ein Spektrum auf der Wand sichtbar zu machen, hielt seine Hand ins Licht und betrachtete das Spektrum auf der Handfläche. Dann schloss er vorsichtig die Hand, trat einen Schritt zurück und spähte zwischen seinen Fingern hindurch auf die Handfläche – um enttäuscht festzustellen, dass das Spektrum nicht mehr da war. Diesen Versuch wiederholte er noch einmal. Danach hatte er anscheinend festgestellt, dass sich das bunte Licht nicht einfangen und festhalten ließ, eine erstaunliche Erkenntnis, wenn man bedenkt, dass er lediglich drei Minuten lang experimentierte.

Station "Schatten"

Anzahl: 14		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		14,3		85,7		
Schüler kommt in Gruppe		85,7		14,3		
Schüler liest		42,9		57,1		zögernd, zurückhaltend (1), zielstrebig (4)
Schüler versteht		76,9		23,1		unsicher (2), staunend (1), zweifelnd, überzeugt (5)
Schüler fragt		42,9		57,1		zielsicher (5), unsicher (1), zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		92,9		7,1		zögernd (3), unsicher, zielgerichtet (11)
Schüler begreift		92,9		7,1		überrascht (2), begeistert (7), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt (1)
Schüler experimentiert		64,3		35,7		überrascht, begeistert (7), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt (1)
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		35,7		64,3		begeistert (3), aufmerksam (1), beteiligt (1), abwesend
Schüler geht						staunend (1), begeistert (9), gelangweilt (1), enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	9	2	3	0		

Tabelle 5: Beobachtungen zur Experimentierstation „Schatten“

Auch an der Station „Schatten“ (siehe Tabelle 5) konnten 14 Beobachtungen gemacht werden. Hier kamen recht viele, nämlich 14,3% der Schüler, alleine. Drei Schüler waren bei der Inbetriebnahme zögerlich, über 60% experimentierten jedoch dann begeistert. Die Verweildauer betrug bei zwei Schülern bis zu 2 Minuten, bei drei Schülern sogar bis zu 3 Minuten.

Station "Richtungshören"

Anzahl: 5		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		0,0		100,0		
Schüler kommt in Gruppe		100,0		0,0		
Schüler liest		40,0		60,0		zögernd, zurückhaltend, zielstrebig (1)
Schüler versteht		80,0		20,0		unsicher, staunend, zweifelnd, überzeugt (3)
Schüler fragt		40,0		60,0		zielsicher (1), unsicher, zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		100,0		0,0		zögernd (1), unsicher (1), zielgerichtet (3)
Schüler begreift		80,0		20,0		überrascht (1), begeistert (3), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler experimentiert		0,0		100,0		überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		40,0		60,0		begeistert (1), aufmerksam, beteiligt (1), abwesend
Schüler geht						staunend, begeistert (3), gelangweilt, enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	2	3	0	0		

Tabelle 6: Beobachtungen zur Experimentierstation „Richtungshören“

Die Experimentierstation „Richtungshören“ (siehe Tabelle 6) wurde während der Beobachtung nur von Gruppen aufgesucht. Alle nahmen sie in Betrieb, wobei ein Schüler dabei zögernd, ein anderer unsicher erschien. Niemand experimentierte über die Anleitung hinaus, die Station wurde jedoch von 40% der Kinder zum Spielobjekt umgewandelt. Beim Verlassen waren die Schüler überwiegend begeistert, drei bleiben bis zu zwei Minuten an der Station.

Station "Kaleidoskop"

Anzahl: 4		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		25,0		75,0		
Schüler kommt in Gruppe		75,0		25,0		
Schüler liest		75,0		25,0		zögernd, zurückhaltend, zielstrebig (2)
Schüler versteht		100,0		0,0		unsicher (1), staunend, zweifelnd, überzeugt (2)
Schüler fragt		25,0		75,0		zielsicher (1), unsicher, zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		100,0		0,0		zögernd, unsicher, zielgerichtet (4)
Schüler begreift		100,0		0,0		überrascht, begeistert (4), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler experimentiert		75,0		25,0		überrascht, begeistert (3), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		75,0		25,0		begeistert (1), aufmerksam (1), beteiligt (1), abwesend
Schüler geht						staunend (1), begeistert (3), gelangweilt, enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	3	0	1	0		

Tabelle 7: Beobachtungen zur Experimentierstation „Kaleidoskop“

Zur Station „Kaleidoskop“ (siehe Tabelle 7) wurden nur vier Beobachtungsbögen ausgefüllt. $\frac{3}{4}$ der beobachteten Schüler lasen den an der Station angebrachten Text, alle verstanden, was an der Station gemacht werden muss. Ebenfalls $\frac{3}{4}$ der Kinder experimentierten begeistert und funktionierten die Experimentierstation zum Spielobjekt um. Eine Gruppe verblieb bis zu drei Minuten an der Station, die anderen verließen sie nach bis zu einer Minute.

Station "Geräusche im Holz"

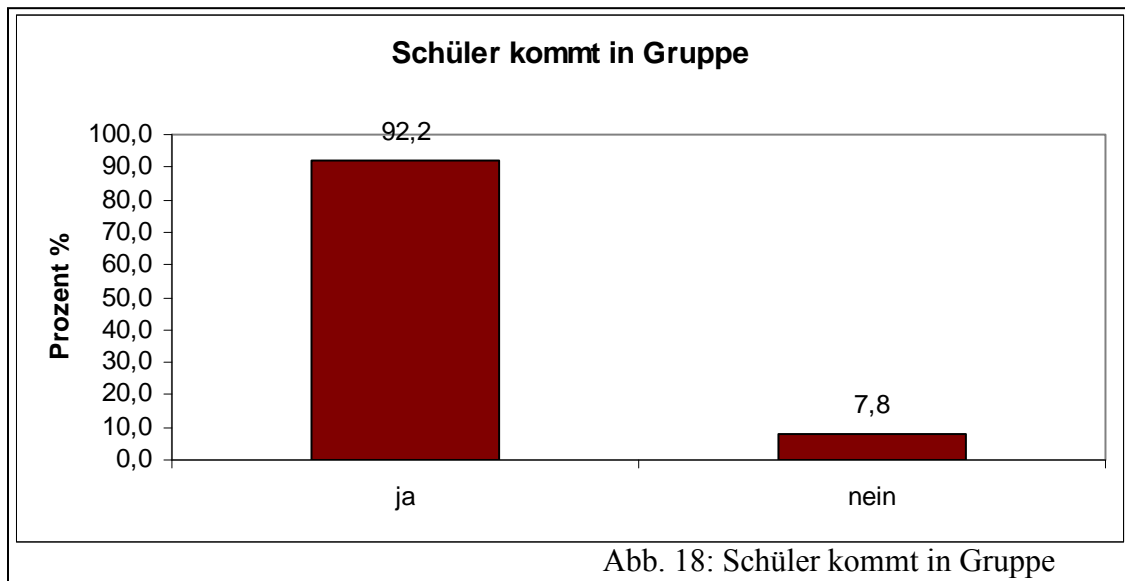
Anzahl: 4		ja in %		nein in %		
Schüler kommt allein		0,0		100,0		
Schüler kommt in Gruppe		100,0		0,0		
Schüler liest		75,0		25,0		zögernd, zurückhaltend, zielstrebig (3)
Schüler versteht		100,0		0,0		unsicher (1), staunend, zweifelnd, überzeugt (2)
Schüler fragt		50,0		50,0		zielsicher (1), unsicher (1), zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb		100,0		0,0		zögernd, unsicher, zielgerichtet (4)
Schüler begreift		100,0		0,0		überrascht (2), begeistert (1), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler experimentiert		0,0		100,0		überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um		25,0		75,0		begeistert, aufmerksam, beteiligt (1), abwesend
Schüler geht						staunend (1), begeistert (1), gelangweilt, enttäuscht
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3		
Anzahl	4	0	0	0		

Tabelle 8: Beobachtungen zur Experimentierstation „Geräusche im Holz“

Auch zur Station „Geräusche im Holz“ (siehe Tabelle 8) liegen nur vier Beobachtungen vor. Alle Schüler kamen in Gruppen, verstanden, welche Handlung durchgeführt werden muss und nahmen die Station in Betrieb. Keiner experimentierte, eines von vier Kindern funktionierte die Station aber zum Spielobjekt um. Interessant war die Äußerung eines Mädchens, die die im Lehrerhandbuch beschriebene Schülervorstellung zur Schallausbreitung sehr schön demonstriert: „Aber da ist ja gar kein Loch drin! Wie kann man das denn trotzdem hören?“ Das Kind ist hier offensichtlich der Auffassung, dass Schall nicht durch Holz weitergeleitet werden kann. Es wundert sich, dass es etwas hören kann, obwohl kein Loch im Stamm ist, durch das der Schall hindurch kommen könnte.

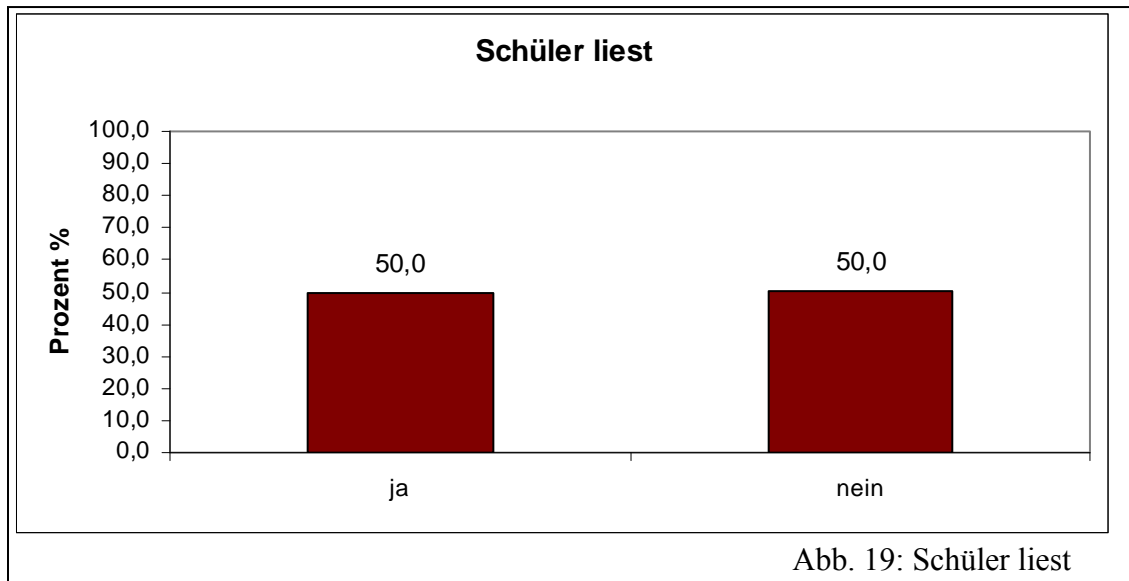
4.2.1.2. Deutung und Vergleich

Zur Beantwortung der eingangs gestellten Fragen werden die Ergebnisse aller einzelnen Stationen zusammengefasst und die Mittelwerte der Ergebnisse zu den einzelnen Beobachtungspunkten berechnet. Diese Gesamtergebnisse werden jeweils mit den Resultaten verglichen, zu denen Holst bei der Untersuchung seiner 52 Experimentierstationen der Miniphänomenta kommt.



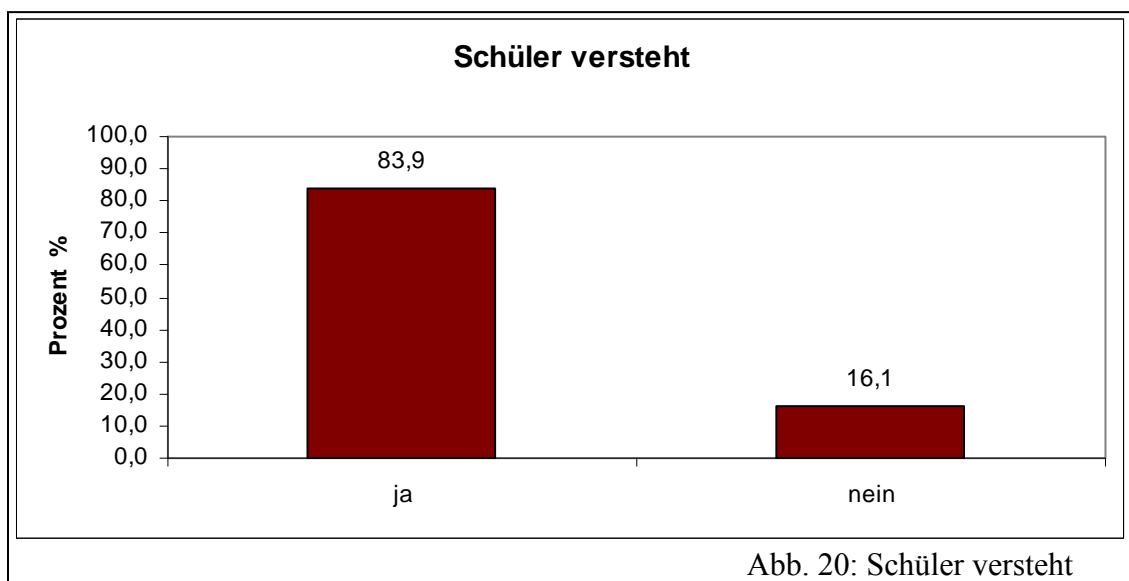
Beinahe alle, genauer 92,2% der Schüler, kommen in Gruppen an die Stationen (siehe Abb. 18). Bei Holst war dies nur bei 62,2% der Kinder der Fall (vgl. Holst 2005, S. 169). Dieser Unterschied könnte dadurch zustande kommen, dass in Reichenberg jeweils die Kinder aus einer Klasse die Erlaubnis bekamen, im Schulgebäude zu bleiben. So kannten sich alle und schlossen sich vielleicht leichter zu Gruppen zusammen.

Dass die Kinder gemeinsam an die Experimentierstationen kommen, ist äußerst positiv. Einerseits ist dadurch der oben erwähnte Motivationsfaktor der sozialen Eingebundenheit gegeben, das gemeinsame Experimentieren wird zu einem sozialen Erlebnis. Andererseits ist eine Kommunikation über physikalische Sachverhalte natürlich nur möglich, wenn Gesprächspartner anwesend sind.



Bezüglich des Lesens der neben den Stationen angebrachten Texten (siehe Abb. 19) sind die Ergebnisse aus Reichenberg und die von Holst veröffentlichten recht unterschiedlich. Während bei Holst nur 7,9% der Schüler die Texte lasen (vgl. ebd., S 170), waren es in Reichenberg 50,0%. Möglicherweise liegt dies an der attraktiven Gestaltung der Texte (siehe 3.2.3 Texte an den Stationen), auf die hier viel Wert gelegt wurde.

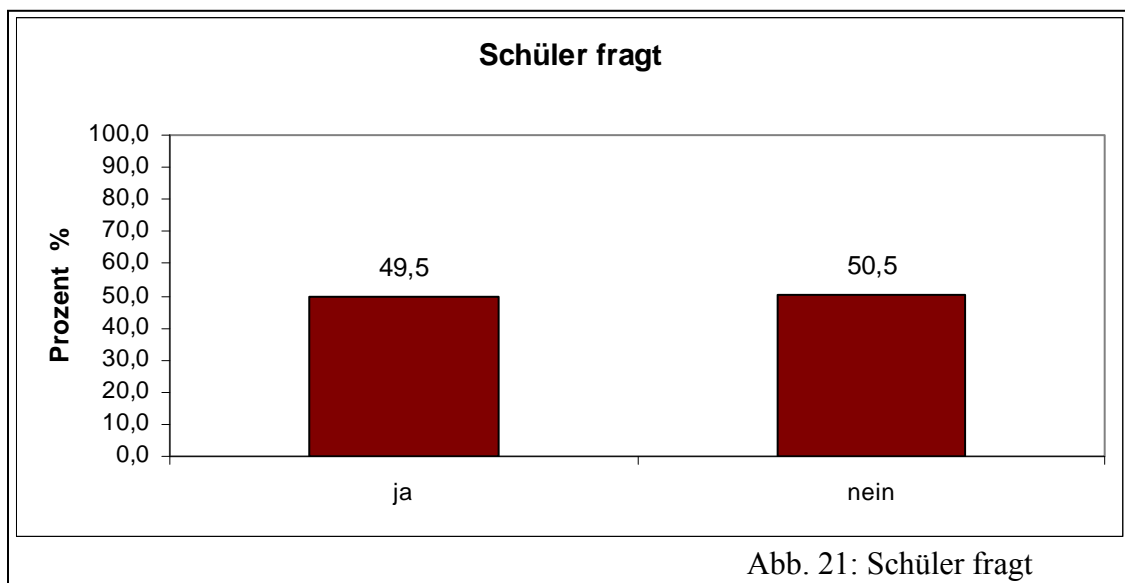
Den von Holst gezogenen Schluss, dass auf die Texte an den Stationen verzichtet werden kann (vgl. ebd.), stützen die in Reichenberg gemachten Aussagen nicht. Vielmehr geben sie einen Hinweis darauf, dass die für die Evaluation gestellte Frage, ob die Texte für die Schüler interessant gestaltet wurden, positiv beantwortet werden kann.



4. Kurzevaluation

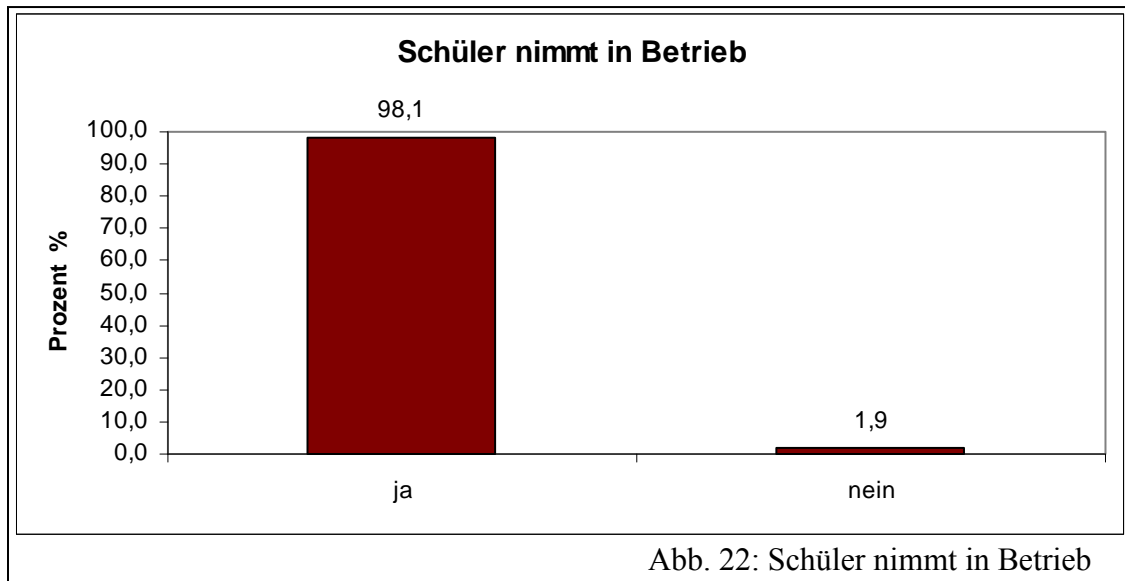
Die Ergebnisse zum schwer beobachtbaren Handlungsschritt „Schüler versteht“ (siehe Abb. 20) sind hier und bei Holst ähnlich. Bei ihm verstehen etwa 71% der Schüler (vgl. ebd., S. 171), was zu tun ist, in Reichenberg sind es ca. 84%.

Diese hohe Zahl lässt darauf schließen, dass sowohl Texte als auch Stationen für die Schüler verständlich sind und sich ihnen die Handhabung der Experimente erschließt. Das wiederum ist gut für den Motivationsfaktor „Erleben von Kompetenz“, denn wenn die Schüler sofort wissen, was sie machen müssen, oder den Text verstehen, fühlen sie sich kompetent.

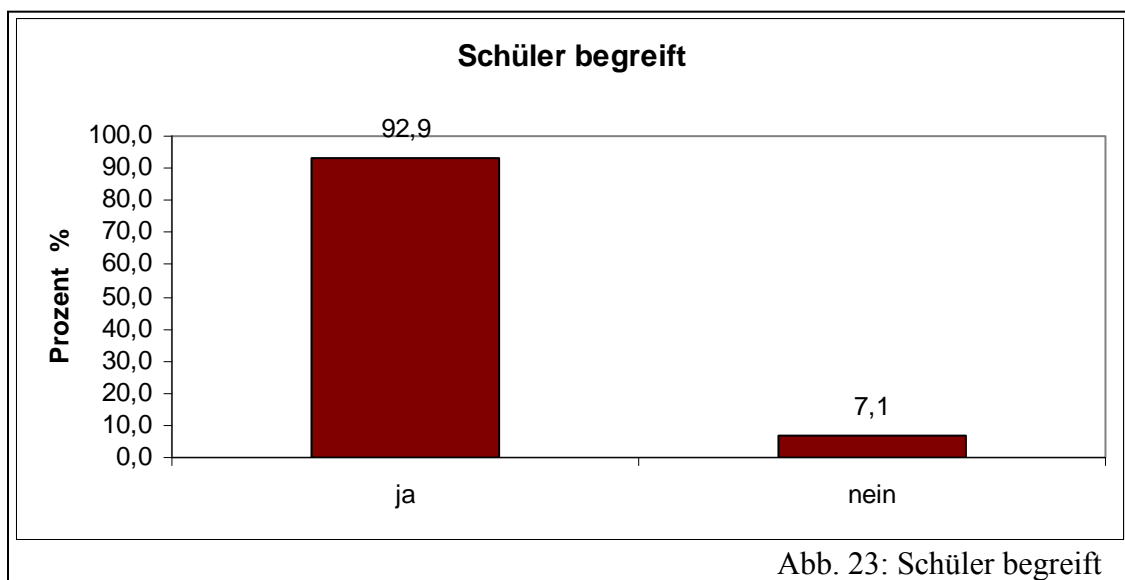


Etwa die Hälfte der Schüler in Reichenberg stellte Mitschülern in der Umgebung eine oder mehrere Fragen zur jeweiligen Experimentierstation (siehe Abb. 21). Dieser Wert liegt bei Holst nur bei 33,5% (vgl. Holst 2005, S. 171), was daran liegen könnte, dass dort nicht so viele Schüler in Gruppen an die Stationen kamen. Fragen konnten sie schließlich nur, wenn auch Mitschüler in der Nähe waren, und wenn sie diese kannten, trauten sie sich vielleicht eher.

Durch die Fragen wird bereits die Kommunikation über physikalische Sachverhalte angeregt. Auch die soziale Eingebundenheit, einer der drei wichtigen Motivationsfaktoren, wird gefördert, wenn sich aus den Fragen Gespräche entwickeln.

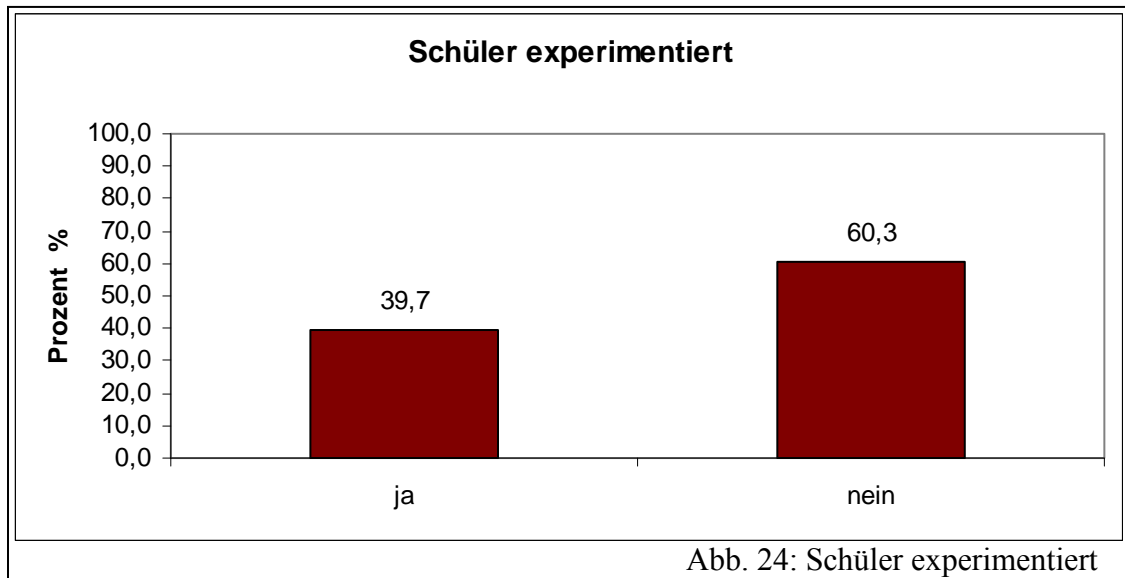


Bis auf ca. 2% nahmen in Reichenberg alle Schüler die Stationen in Betrieb (siehe Abb. 22), bei Holst bis auf etwa 1% (vgl. ebd., S. 172). Daran sieht man, dass Experimentierstationen das aktuelle Interesse der Kinder wecken können und eine momentane Handlungsbereitschaft auslösen. Sie sind also attraktiv gestaltet und nutzen das unter 2.1.1 erwähnte Interesse junger Kinder an naturwissenschaftlichen Experimenten.



Äußerst schwer zu beurteilen war das Begreifen des Phänomens. Wann immer ein Schüler anderen das Phänomen beschrieb oder auf seine Beobachtungen hinwies, wurde dies als „Schüler begreift“ gewertet. So kommt auch der hohe Anteil von etwa 93% begreifender Schüler zustande (siehe Abb. 23). Dieser war mit ca. 74% der Schüler auch bei Holst recht hoch (vgl. Holst 2005, S. 173).

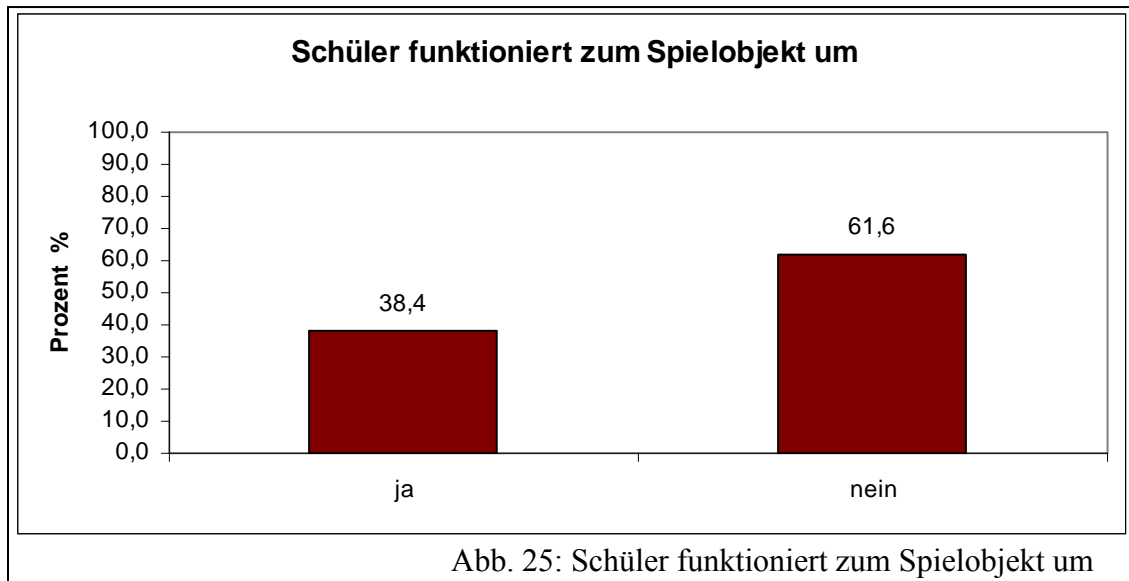
Bezüglich des Motivationsfaktors des Kompetenzerlebens sind diese Zahlen äußerst ermutigend. Wenn die Schüler merken, dass sie ein Phänomen begriffen haben, führt dies zu eben jenem Erleben von Kompetenz.



Aus dem Verstehen heraus die Randbedingungen des Versuchs verändert, also experimentiert, haben in Reichenberg etwa 40% der Schüler (siehe Abb. 24). Dies zeigt, dass der Motivationsfaktor der Selbstbestimmung durchaus gegeben ist, aber nicht alle Kinder dazu bringt, weiter zu experimentieren. Dass sich dennoch mehr als $\frac{1}{3}$ der Schüler über die Anleitung hinaus noch mit den Experimentierstationen beschäftigen, weist noch einmal darauf hin, dass die Stationen durchaus in der Lage sind, das aktuelle Interesse der Kinder zu wecken.

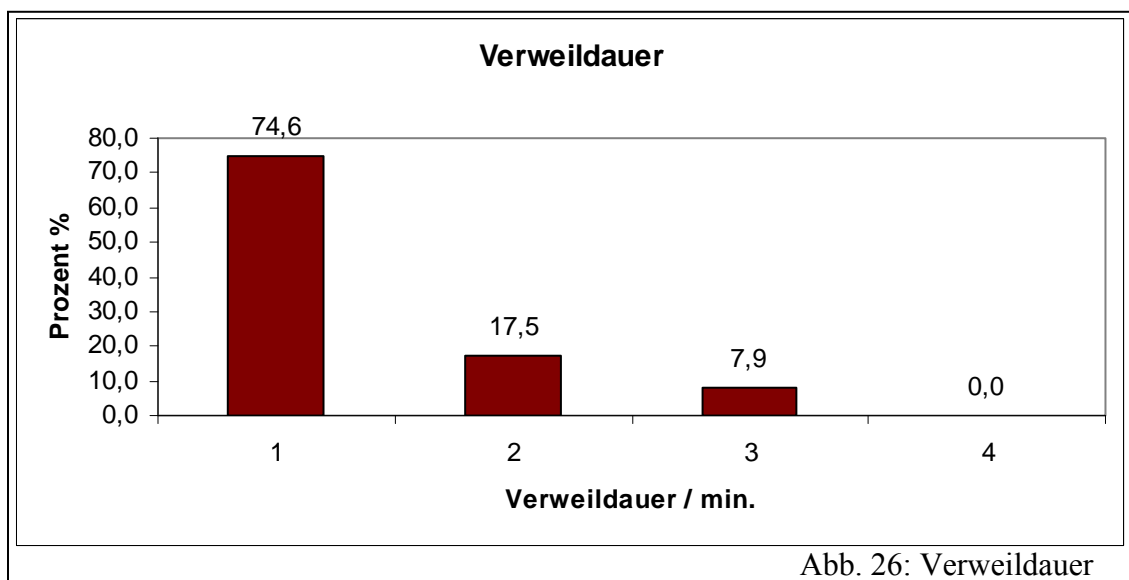
Bei Holst war der Anteil der experimentierenden Kinder mit ca. 70% um einiges höher (vgl. ebd.). Dies könnte daran liegen, dass in Reichenberg jeden Tag andere Kinder in der Pause an die Stationen durften. Da mussten sie natürlich erst einmal alle Stationen ausprobieren und ließen sich wenig Zeit für jede. Diese Beobachtung erwähnt Holst auch: „Im Verlauf der Versuchsphasen hat sich auch gezeigt, dass die Schüler und Schülerinnen immer mehr Zeit an den Experimentierstationen verbrachten. Zunächst wurden die Experimente alle einmal ausprobiert“ (Holst 2005, S. 175).

Zudem sind in Reichenberg auf den Texten an den Stationen teilweise bereits Hinweise zur Variation der Versuchsbedingungen gegeben. Diese Veränderungen wurden nicht als eigenständiges Experimentieren im Beobachtungsbogen vermerkt, da nicht klar erkennbar war, ob die Variation aus dem eigenen Verständnis heraus stattfand oder nachdem der Hinweis im Text gelesen wurde.



Zum Spielobjekt wurden die Stationen von etwa 38% der Schüler umfunktioniert (siehe Abb. 25), bei Holst von etwa 47% (vgl. ebd., S. 174). Auch hier könnte der geringere Wert in Reichenberg daran liegen, dass die Schüler erst einmal alle Stationen ausprobieren wollten.

Die Grenze zwischen Experimentieren und Spielen war bei der Beobachtung nur schwer zu ziehen, ob das Vorgehen ziellos oder überlegt war, war kaum erkennbar. Dies ist aber nicht wirklich dramatisch, da sowohl das Experimentieren als auch das Spielen von einer hohen Motivation, sich mit der Station auseinanderzusetzen, zeugen.



Auch bei der Verweildauer zeigt sich, dass diese bei Holst wesentlich größer war als in Reichenberg: Nur 25,4% der Schüler blieben hier länger als 1 Minute an den Stationen, bei Holst waren es 57,3%. Wieder dürfte die Ursache darin zu finden sein, dass den Schülern in

Reichenberg nur die eine Pause zur Verfügung stand. Interessant wäre es, noch einmal zu beobachten, nachdem die Schüler einige Wochen lang Gelegenheit hatten, sich vor und nach dem Unterricht mit den Stationen zu beschäftigen.

Die Fragen, die die Evaluation klären sollte, nämlich

- ob eine Kommunikation über physikalische Sachverhalte stattfindet,
- ob die motivationsfördernden Faktoren Selbstbestimmtheit, Erleben von Kompetenz und soziale Eingebundenheit gegeben sind,
- ob die Kinder aktuelles Interesse zeigen
- und ob die Stationen und die Texte an den Stationen attraktiv und für die Kinder verständlich sind,

können anhand der gesammelten Ergebnisse durchweg positiv beantwortet werden. Die Kinder kommen fast alle in Gruppen an die Stationen und stellen sich häufig gegenseitig Fragen. Daraus kann man auf eine hohe soziale Eingebundenheit und viel Kommunikation über physikalische Sachverhalte schließen.

Die meisten Kinder verstehen, was sie tun müssen und begreifen das beobachtete Phänomen, wodurch sie ihre eigene Kompetenz erleben. Auch der dritte wichtige Motivationsfaktor ist gegeben, da über $\frac{1}{3}$ der Schüler selbstständig experimentiert und/oder die Station zum Spielobjekt umfunktioniert.

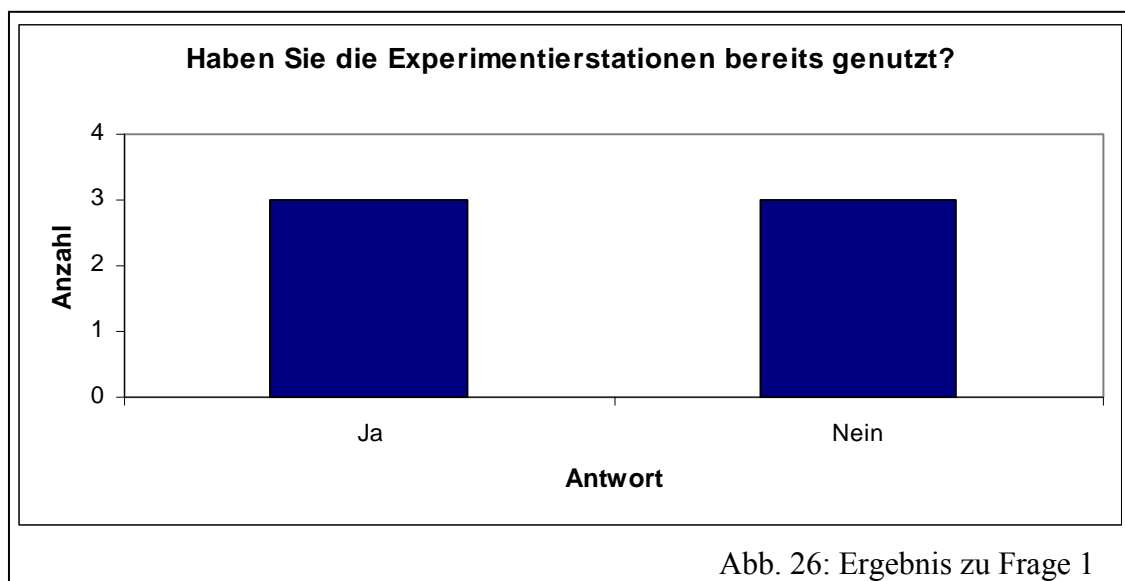
Das aktuelle Interesse der Schüler und die Attraktivität der Experimentierstationen wird daran deutlich, dass so gut wie alle Schüler die Stationen in Betrieb genommen haben. Auch die Texte scheinen attraktiv und verständlich gewesen zu sein, da die Hälfte der Schüler sie gelesen hat und über 80% der Schüler verstanden haben, was an der Station getan werden kann.

4.2.2. Lehrerfragebogen

Die Rücklaufquote der Lehrerbefragung war ausgesprochen hoch: Von sieben fest an der Schule angestellten Lehrkräften kamen sechs Fragebögen zurück. Damit haben sich über 85% der Lehrkräfte an der Befragung beteiligt.

Bereits bei der Veranstaltung zur Eröffnung hatten sich einige Lehrer positiv über die Stationen geäußert. Dies spiegelt sich, wie unten genauer dargestellt, auch in den Ergebnissen der Befragung wieder.

Besonders erstaunlich waren die Antworten auf die erste Frage, ob die Lehrkraft die Experimentierstationen bereits im Unterricht genutzt habe (Abb. 26). Die Hälfte der an der Befragung Teilnehmenden gab an, die Stationen bereits benutzt zu haben. Da die Stationen erst sehr spät im Schuljahr eröffnet wurden, und daher die beiden Themen optische und akustische Phänomene im Sachunterricht vermutlich bereits behandelt worden waren, war eine so rege Nutzung nicht zu erwarten.



Da die Einbindung in den Unterricht ein erklärtes Ziel der Experimentierstationen ist, ist dies natürlich sehr erfreulich. Allerdings kann die bisherige Nutzung im Unterricht nur als erster Schritt gesehen werden, denn zu optimalen Veränderungen bei den Schülern führt vermutlich nur eine wirklich themenbezogene Einbindung, also eine Einbindung in den Sachunterricht genau dann, wenn die beiden Themen dort gerade behandelt werden.

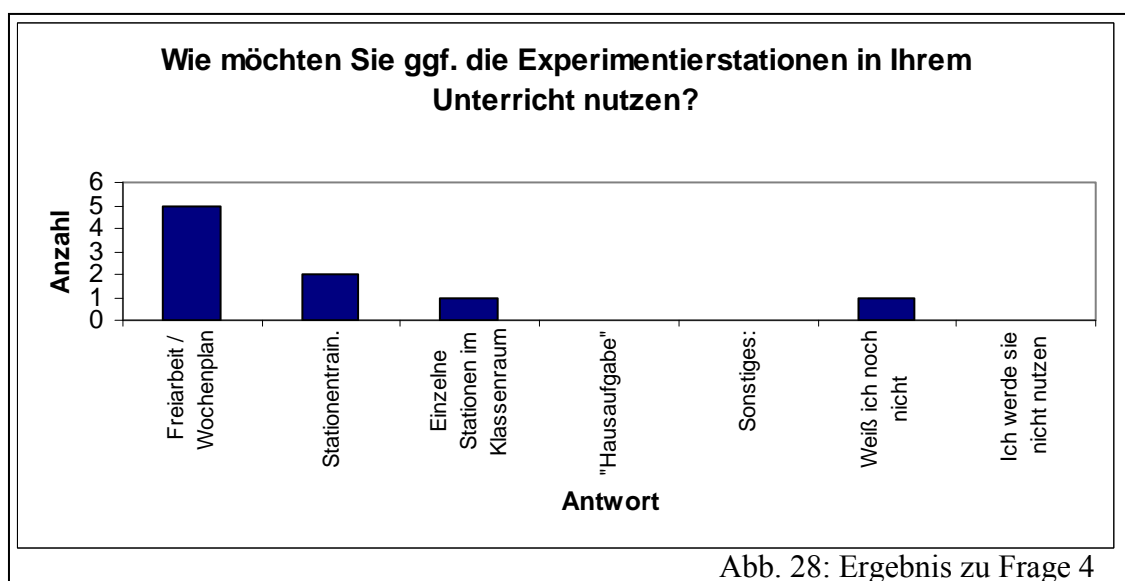
Darauf, dass diese direkte Einbindung stattfinden wird, lassen die Antworten auf die zweite Frage hoffen (Abb. 27): Zwei Drittel der Lehrkräfte gab an, die Stationen in ihrem Unterricht nutzen zu wollen. Besonders aber die Antwort, die Stationen vielleicht mit einer anderen

4. Kurzevaluation

Klasse zu nutzen, weist darauf hin, dass die Stationen passend in den Sachunterricht eingebunden werden sollen. Etwa die Hälfte gab diese Antwort. Vermutlich haben die betreffenden Lehrkräfte gerade keine dritte Klasse, möchten die Stationen aber nutzen, wenn sie wieder eine haben.



Auf die vierte Frage (Abb. 28), wie die Experimentierstationen im Unterricht genutzt werden sollen, antworteten 83% der Lehrkräfte, dass sie sie in der Freiarbeit oder in der Wochenplanarbeit nutzen möchten. 33% möchten die Stationen als Stationentraining nutzen, eine Lehrkraft plant, einzelne Stationen mit in den Klassenraum zu nehmen. Auch bei dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich und wurden auch genutzt, einige Lehrkräfte wählten mehrere Einsatzmöglichkeiten aus.



Die Antworten auf diese Frage stimmen gut mit denen zur zweiten Frage überein. Auch hier gab keine Lehrkraft an, die Experimentierstationen nicht für den Unterricht nutzen zu wollen.

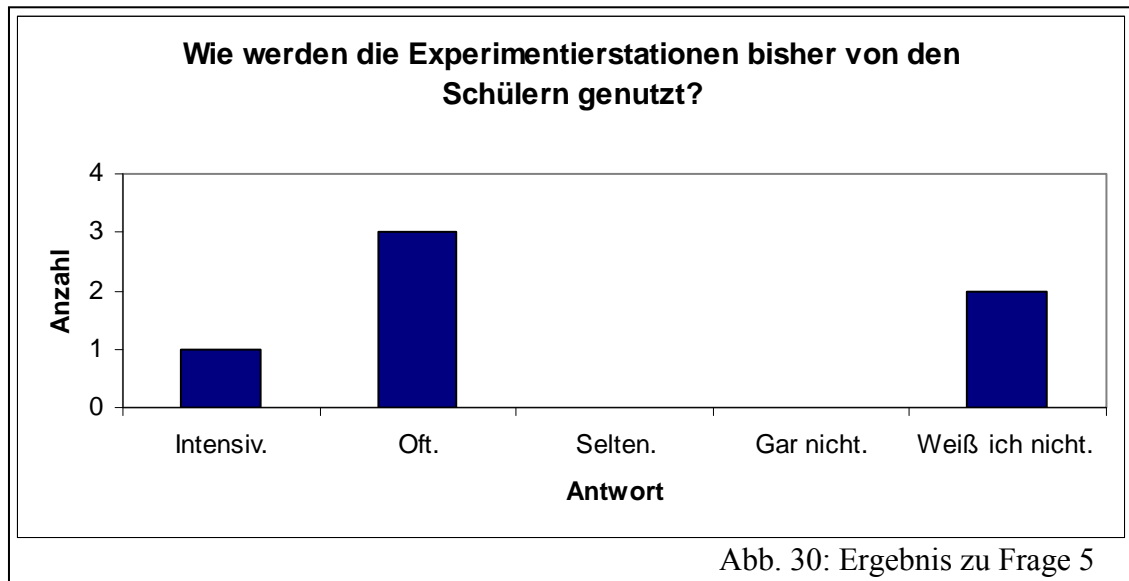
Andererseits ist erkennbar, dass die Stationen voraussichtlich vielfältig eingesetzt werden dürften. Dass so viele Befragte angaben, die Stationen in Frei- oder Wochenplanarbeit nutzen zu wollen, lässt auch darauf schließen, dass an der Grundschule Reichenberg offene Unterrichtsformen sehr verbreitet sind – was wiederum für die Nutzung der Stationen positiv ist. Denn vor allem sollen die Schüler laut den Antworten selbstständig an den Stationen arbeiten dürfen, was wie oben aufgezeigt für die Motivation sehr förderlich ist.

Auf die dritte Frage (Abb. 29), bei der eine Bewertung der freien Zugänglichkeit der Experimentierstationen gefragt war, antworteten fünf von sechs Lehrern, dass die Zugänglichkeit für die Schüler sehr interessant sei, zwei gaben an, dass sie praktisch sei. Lästig fand die freie Zugänglichkeit zum Glück niemand.



Befürchtungen, dass die Stationen im Schulhaus jemanden stören könnten, wurden damit ausgeräumt. Dies ist wichtig, da es unwahrscheinlich ist, dass jemand die Experimentierstationen nutzt, wenn er sich jedem Tag über ihren Standort im Schulgebäude ärgert.

Die fünfte Frage (Abb. 30), wie die Experimentierstationen bisher von den Schülern genutzt werden, beantwortete die Hälfte der Lehrer mit „Oft.“. Während der Durchführung der Schülerbeobachtungen hatte bereits eine Lehrkraft angemerkt, dass die Schüler vor und nach dem Unterricht sehr häufig an den Stationen zu finden seien. Einmal wurde die Antwort „Intensiv.“ ausgewählt, zweimal „Weiß ich nicht.“.



Diese Information ist eine interessante Ergänzung zu den Schülerbeobachtungen. Dass die Schüler häufig an den Stationen experimentieren, ist sehr erfreulich, die Stationen werden anscheinend gut angenommen. Interessant wäre es, nach einigen Wochen oder Monaten abermals zu überprüfen, wie oft die Stationen benutzt werden. Dann wäre klar, ob sie nur als Neuheit interessant waren, oder ob sie auch weiterhin interessant bleiben.

Insgesamt ergab die Fragebogenuntersuchung sehr positive Ergebnisse. Die Stationen werden bereits jetzt und vermutlich auch in Zukunft im Unterricht vielfältig eingesetzt. Ihre Platzierung stört nicht und die Schüler nutzen sie häufig.

Allerdings sind diese sehr positiven Antworten auch kritisch zu sehen: Es ist nicht auszuschließen, dass die Lehrkräfte – bewusst oder nicht – die erwünschten Antworten gegeben haben, nicht die realistischen.

5. Einsatz der Stationen beim Tag der Physik

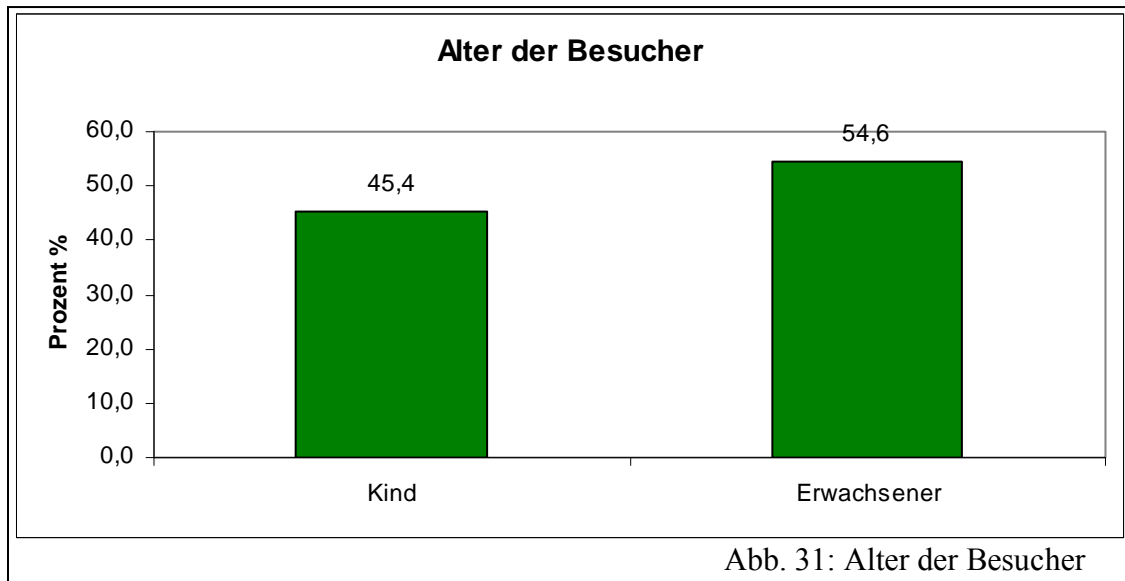
Am Samstag, den 05.07.2008, fand der „Tag der Physik“ der Fakultät für Physik und Astronomie statt, eine Art „Tag der offenen Tür“ für die Öffentlichkeit. Teil des Programms war eine Experimentierstraße, bei der auch die für die Universität gefertigten Duplikate der Experimentierstationen ausgestellt wurden.

Einige der Besucher, die die Stationen ausprobierten, wurden mit Hilfe eines leicht abgewandelten Beobachtungsbogens beobachtet: Zusätzlich zu den auf den Schülerbeobachtungsbögen notierten Punkten wurde protokolliert, ob es sich bei dem Besucher um einen Erwachsenen oder ein Kind handelt.

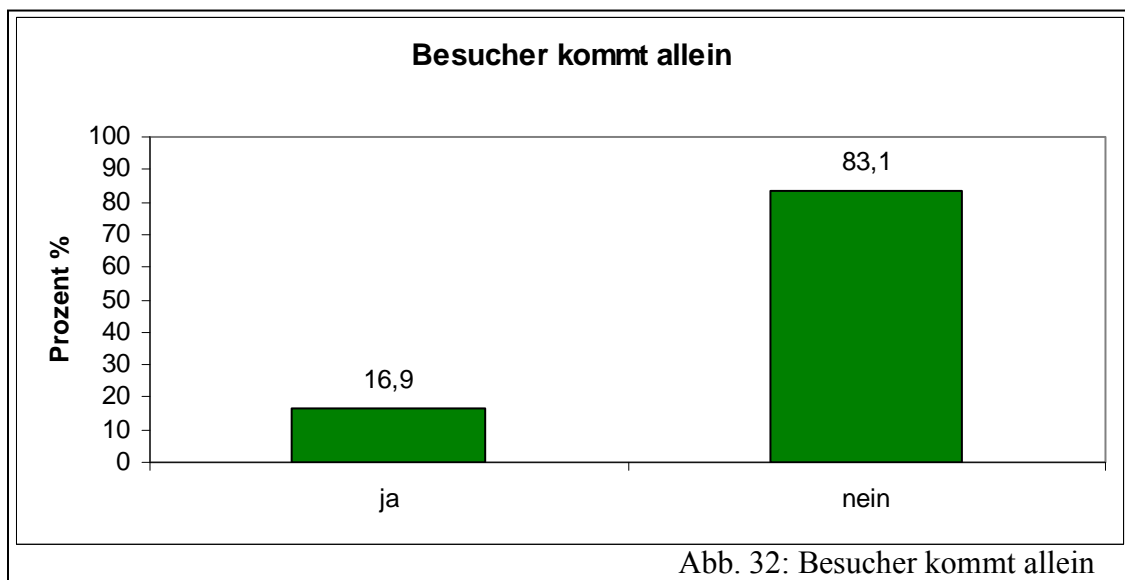
Die Durchführung der Beobachtung gestaltete sich recht schwierig, da viele der Besucher Fragen zu den Stationen und Gesprächsbedarf hatten. Ein Gespräch zu führen und gleichzeitig genau zu beobachten ist jedoch nicht möglich. Da die Gespräche über die Stationen jedoch auch sehr wichtig sind, gerade wenn es darum geht, den Nachbau an anderen Schulen zu bewerben, wurde die Beobachtung häufig unterbrochen. Es liegen damit wesentlich weniger Beobachtungsbögen vor, als Besucher an den einzelnen Stationen waren. Auch musste eine Beschränkung auf wenige Stationen stattfinden, da diese zum Einen zu weit von einander entfernt standen, um alle gleichzeitig genau sehen zu können, zum Anderen aber auch zu viele waren, um für alle eine sinnvolle Anzahl an Beobachtungen durchzuführen.

Ergebnisse der Beobachtung und Vergleich mit der in der Schule durchgeführten Evaluation

Insgesamt wurden 21 Beobachtungsbögen ausgewertet, die zu fünf verschiedenen Experimentierstationen ausgefüllt wurden. Anders als bei der Evaluation in der Schule waren beim Tag der Physik auch Erwachsene anwesend. In Abb. 31 wird erkenntlich, dass etwas mehr als die Hälfte der beobachteten Personen Erwachsene waren.

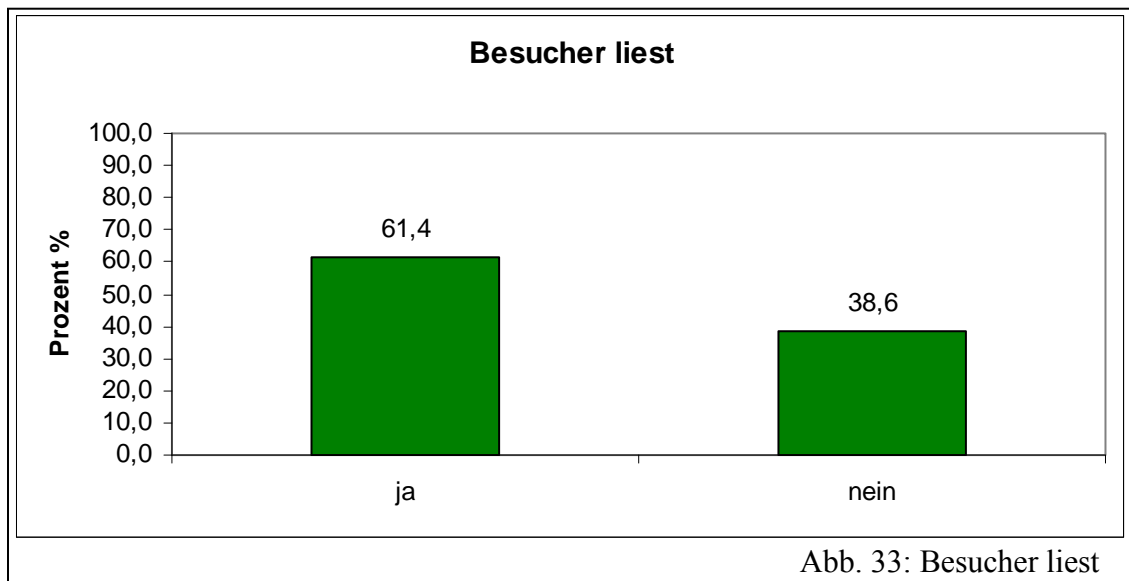


Im Folgenden werden nur die Beobachtungspunkte genannt, bei denen sich die Ergebnisse der Besucherbeobachtung und der Schülerbeobachtung stark voneinander unterscheiden. Die Einzelergebnisse der Besucherbeobachtung finden sich im Anhang unter 9.7 Einzelergebnisse der Besucherbeobachtung beim Tag der Physik.

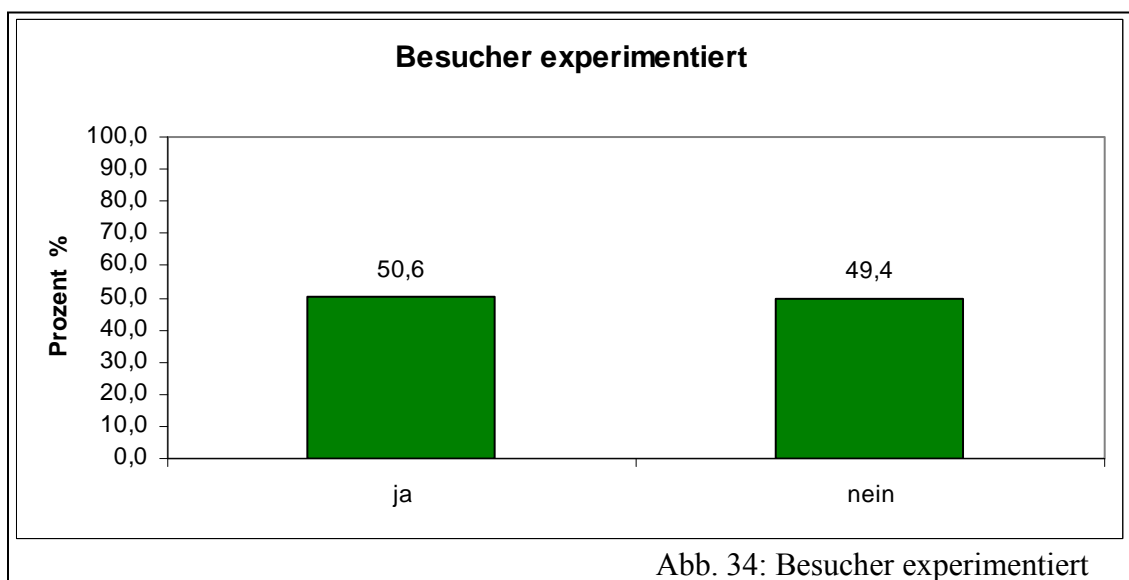


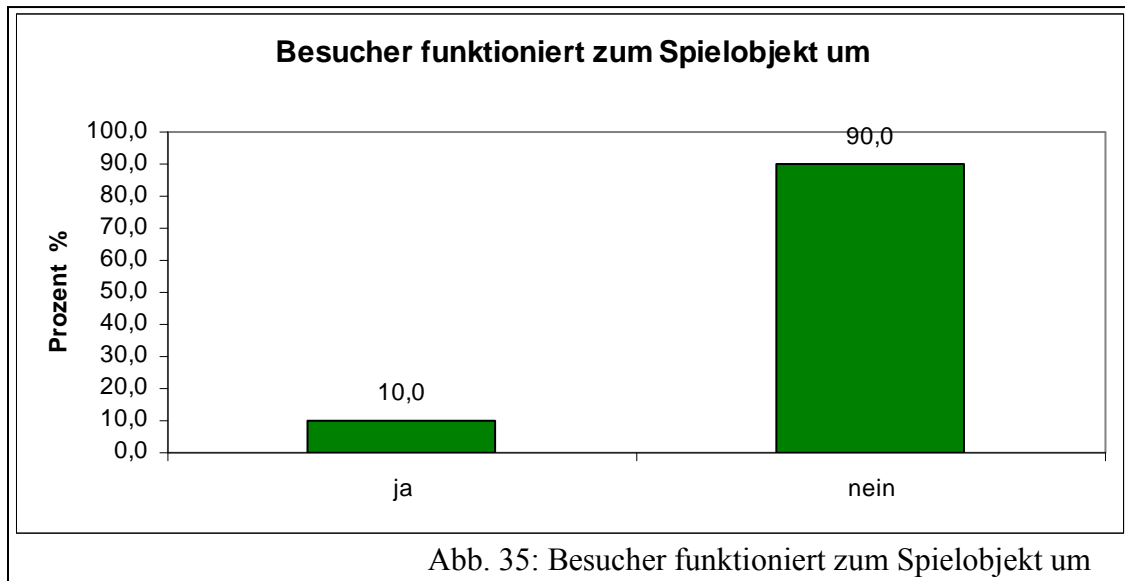
Von den Besuchern kamen etwa 17% alleine an die Experimentierstationen, das sind fast 10% mehr als bei den Schülern (siehe Abb. 32). Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass einige der erwachsenen Besucher alleine zum Tag der Physik gekommen waren und daher auch alleine die Stationen ausprobierten. Aber auch einige Kinder kamen alleine an die Stationen – vermutlich, weil sie die anderen Kinder nicht kannten und die Eltern nur von weitem zuschau-

ten. In der Schule stammten die Kinder jeweils aus einer Klasse und fanden sich dadurch wahrscheinlich leichter in Gruppen zusammen.



Die Texte wurden von den Besuchern häufiger gelesen als von den Schülern, im Vergleich zu 50% Lesenden in der Schule waren es beim Tag der Physik etwa 61%. Die Beobachtung, dass vor allem die Erwachsenen häufig zuerst die Texte lasen, kann durch die ausgewerteten Beobachtungsbögen nicht wiedergegeben werden, da diese Information bei der Auswertung verloren geht.





Experimentiert haben die Besucher häufiger als die Schüler (siehe Abb. 34). Experimentierten in der Schule etwa 40%, waren es in der Uni über 50% der Besucher. Dafür wurden die Stationen seltener zum Spielobjekt umfunktioniert, nur 10% der Beobachteten spielten (siehe Abb. 35), während es in Reichenberg etwa 38% waren.

Die Unterscheidung zwischen den beiden Beobachtungspunkten ist jedoch schwierig. Bei beiden werden nicht in der Anleitung erwähnte Handlungen an den Stationen durchgeführt – ob dies aus dem Verstehen heraus geschieht oder spielerisch erfolgt, ist oft nicht ersichtlich. Vielleicht wurde den Erwachsenen einfach öfter als den Kindern ein zielgerichtetes Experimentieren unterstellt.

Ein weiterer Grund für das häufige Experimentieren könnte auch die Anordnung der Stationen gewesen sein. Sie standen hier alle in einer Reihe nebeneinander, was dazu führte, dass die Besucher die Experimente miteinander verknüpften. Besonders die beiden Stationen „Licht mischen“ und „Farbschlucker“, die gemeinsam auf einem Tisch standen, wurden oft voreinander geschoben, sodass das Licht der einen durch die Farbfilter der anderen Station fiel (siehe Abb. 36).



Abb. 36: Kombination von Stationen

Insgesamt wurden die Stationen auch von den Besuchern des Tages der Physik gut angenommen. Viele äußerten im Gespräch, dass ihnen die Stationen gut gefielen. Dies lässt sich auch in den Einzelergebnissen nachvollziehen, da die meisten die Stationen begeistert oder staunend verließen.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden dreizehn physikalische Experimentierstationen für den Einsatz in Grundschulen entwickelt, gebaut und erprobt. Der Einsatz solcher Stationen ist sehr sinnvoll, wie anhand verschiedener Studien gezeigt werden konnte: Grundschüler sind entwicklungspsychologisch betrachtet bereits in der Lage, physikalische Zusammenhänge in Grundzügen zu verstehen. Allerdings nur, wenn die Zusammenhänge an realen Objekten untersucht werden können und so anschaulich gemacht werden.

Auch aus diesem Grund gehören Schülerexperimente in den Sachunterricht der Grundschule, darin sind sich Lehrplan und Sachunterrichtsdidaktiker einig. Doch die Realität im Unterricht sieht anders aus, was nicht zuletzt daran liegt, dass zum Experimentieren mit Schülern viel Aufwand bei der Vorbereitung betrieben werden muss, was Zeit kostet – Zeit, die im Schulalltag oft nicht vorhanden ist.

Leider wurde in drei Untersuchungen gezeigt, dass eine der naheliegendsten Lösungen, nämlich der Besuch eines außerschulischen Lernortes, in dem die Schüler experimentieren können, nicht sehr effektiv ist. Da aus organisatorischen Gründen meist nicht die zum aktuellen Unterricht passenden Experimente im außerschulischen Lernort durchgeführt werden können, bleiben die Experimente unverbunden und können von den Schülern nicht mit dem Unterricht in Verbindung gebracht werden. Effektive Lernvorgänge und längerfristige Interessenänderungen bleiben aus, das Interesse wird nur sehr kurzfristig geweckt. Dies könnte nur durch eine sinngebende Einbindung in den Unterricht verbessert werden. Hier zeigt sich der große Vorteil der in der Schule installierten Experimentierstationen: Da sie ständig in der Schule stehen, ist es jederzeit möglich, sie für den Unterricht zu nutzen – so können sie passend in den Unterricht eingebaut werden.

Die Möglichkeit, sie in den Sachunterricht integrieren zu können, wurde als wichtigstes Kriterium bei der Auswahl der Stationen herausgearbeitet. Eine noch engere Anbindung an die Lehrplaninhalte wäre wünschenswert, ist jedoch nicht leicht realisierbar, denn auch weitere Kriterien wie die einleuchtende Handhabung, verständliche Phänomene und die Sicherheit der Schüler müssen berücksichtigt werden. Besonders problematisch bei der Auswahl war zudem, dass die Stationen möglichst wartungsfrei sein müssen.

Zusätzlich zu den Stationen wurden Begleitmaterialien gefertigt, nämlich ein Lehrerhandbuch und Schülerarbeitsblätter. Diese sollen helfen, die Einbindung in den Unterricht weiter zu erleichtern.

Die abschließende Kurzevaluation zeigte, dass fast alle Lehrkräften die Stationen nutzen wollen. Auch die Schülerbeobachtung lieferte durchweg positive Ergebnisse: Die Schüler verstehen, was sie an den Stationen machen können, kommunizieren über physikalische Sachverhalte und experimentieren selbstständig.

Alle gewünschten Ziele konnten demnach erreicht werden. Interessant wäre allerdings eine weitergehende Evaluation, die mit wissenschaftlich anerkannten Diagnoseinstrumenten über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht, ob und wenn ja in welcher Form der Unterrichtseinsatz tatsächlich stattfindet, wie die Schüler die Stationen nach längerer Zeit nutzen und ob sich die erwünschten langfristigen Interesseneffekte tatsächlich nachweisen lassen. Die in Reichenberg durchgeführte Evaluation entspricht kaum den wissenschaftlichen Gütekriterien, daher wäre eine Überprüfung der gewonnenen Erkenntnisse sinnvoll.

Nützlich wären auch weitere Stationen zu anderen Themen aus dem Sachunterricht der Grundschule, sodass nicht nur zwei Themengebiete abgedeckt werden können. Allerdings müsste dann über alternative Platzierungsmöglichkeiten nachgedacht werden – allzu viele Stationen können nicht im Schulflur untergebracht werden.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Experimentierstationen eine für Schüler und Lehrer attraktive Ergänzung für den Sachunterricht sein können. Der Nachbau an anderen Schulen ist empfehlenswert, es haben sich bereits jetzt Interessenten gemeldet.

7. Literaturverzeichnis

Bücher und Artikel:

- **AKADEMIE FÜR LEHRERFORTBILDUNG UND PERSONALFÜHRUNG DILLINGEN:** *Naturwissenschaften in der Grundschule*. Schwerpunkte Physik und Chemie. Dillingen: Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung 2005.
- **BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS:** *Lehrplan für die Grundschule in Bayern*. München: Verlag J. Maiß 2000.
- **BEGHI, L.; XAUSA, E.; ZANFORLIN, M.:** *Analytic determination of the depth effect in stereokinetic phenomena without a rigidity assumption*. In: *Biological Cybernetics* 65 (1991), S. 425-432.
- **BRÖLL, Leena; FRIEDRICH, Jens; OETKEN, Marco:** *Das Schülerlabor NAWilino als Fortbildungsstätte für Grundschullehrer*. In: Höttecke, Dietmar: *GDCP 2007. Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung*. Berlin: LIT 2008, S. 260ff.
- **CHRISTMANN, U./GROEBEN, N.:** *Anforderungen und Einflussfaktoren bei Sach- und Informationstexten*. In: Groeben, N./Hurrelmann, B. (Hrsg.): *Lesekompetenz. Bedingungen, Dimensionen, Funktionen*. Weinheim, München: Juventa-Verlag, 2. Aufl. 2006, S. 150ff.
- **DEGER; GLEIXNER; PIPPIG; WORG:** *Galileo 9. Das anschauliche Physikbuch*. München: Oldenbourg 2000, S. 144ff.
- **FEUERLEIN, Rainer; NÄPFEL, Helmut; SCHÄFLEIN, Horst:** *bsv Physik 2*. München: Bayerischer Schulbuch Verlag 1993, S. 72ff.
- **FIESSER, Lutz:** *Anstiften zum Denken – die Phänomenta*. Bericht über ein Forschungsprojekt. Flensburg: Pädagogische Hochschule, Institut für Physik und ihre Didaktik, 1990.

- **FIESSER**, Lutz: „*Wie war das noch...?*“. Flensburg: Laborakademie c/o Phänomenta 1998.
- **FIESSER**, Lutz: *Raum für Zeit*. Quellentexte zur Pädagogik der interaktiven Science-Zentren. Flensburg: Laborakademie c/o Phänomenta 2000.
- **GESELLSCHAFT FÜR DIDAKTIK DES SACHUNTERRICHTS (GDSU)**: *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 2002.
- **GUDERIAN**, Pascal: *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte*. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik. Berlin: Humboldt-Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I, Diss., 2006.
- **GUDERIAN**, Pascal; **PRIEMER**, Burkhard: *Schülerlabore, was soll das alles?*. In: Höttecke, Dietmar: GDCP 2007. Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung. Berlin: LIT 2008, S. 251ff.
- **GUDERIAN**, Pascal; **PRIEMER**, Burkhard; **SCHÖN**, Lutz-Helmut: *Der Einfluss mehrfacher Besuche eines außerschulischen Lernorts auf die Entwicklung des aktuellen Interesses an Physik bei Schülern der 5. und 8. Jahrgangsstufe*. In: Höttecke, Dietmar: GDCP 2006. Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Berlin: LIT 2007, S. 215ff.
- **HALLER**, Kerstin: *Lernen im Museum und im Science Center*. Pädagogische und psychologische Grundlagen. In: Noschka-Roos, Annette: Besucherforschung in Museen. Instrumentarien zur Verbesserung der Ausstellungskommunikation. München: Deutsches Museum 2003, S. 144ff.
- **HOLST**, Sönke: *Interaktive Experimentierstationen*. Die Möglichkeit Naturwissenschaften und Technik in der Primarstufe neu zu beleben. In: MNU 2008 (Jahrgang 61), Heft 1, S. 48ff.

- **HOLST**, Sönke: *Entwicklung und Evaluation interaktiver Experimentierstationen*. Eine Studie zur Überprüfung der Bildungswirksamkeit erfahrungsfördernder Experimentierstationen in der Primär- und Orientierungsstufe. Tönning: Der Andere Verlag 2005.
- **JENNINGS**, Terry: *Licht und Energie*. Mülheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr 1992.
- **KAHLERT**, Joachim; **DEMUTH**, Reinhard: *Wir experimentieren in der Grundschule – Band 1*. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Köln: Aulis-Verlag 2007.
- **KAHLERT**, Joachim; **DEMUTH**, Reinhard: *Wir experimentieren in der Grundschule – Band 2*. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Köln: Aulis-Verlag 2007.
- **KLAES**, Esther: *Stand der Forschung zum Lehren und Lernen an außerschulischen Lernorten*. In: Höttecke, Dietmar: *GDCP 2007. Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung*. Berlin: LIT 2008, S. 263ff.
- **LUKESCH**, Helmut: *Einführung in die pädagogisch-psychologische Diagnostik*. Regensburg: Roderer, 2. Aufl. 1998.
- **LÜCK**, Gisela: *Naturwissenschaften im frühen Kindesalter*. Untersuchungen zur Primärbegegnung von Kindern im Vorschulalter mit Phänomenen der unbelebten Natur. Münster: LIT 2000.
- **MEIER**, Richard (Hrsg.): *Mobile 3. Heimat und Sachunterricht*. Braunschweig: Westermann 2002.
- **MIERICKE**, Jürgen: *Physik ist überall*. Die kleine Physik-Show „Versuch der Woche findet großes Interesse“. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, Phy-Did 1/3 (2004)*, S. 28-29.

- **MÖLLER**, Kornelia: *Handeln, Denken und Verstehen*. Untersuchungen zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht in der Grundschule. Essen: Westarp Wissenschaften 1990.
- **NOSCHKA-ROOS**, Annette: *Texte im technischen Museum*. Textformulierung und Gestaltung, Verständlichkeit, Testmöglichkeiten. Berlin: Institut für Museumsforschung 1988.
- **PORST**, Rolf: *Fragebogen*. Ein Arbeitsbuch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2008.
- **SCHULLER**, Günther: *Kurzdarstellung für das Rudolf-Alexander-Haus Würzburg*. Würzburg: o.V. 2008.
- **SWELLER**, John; **VAN MERRIENBOER**, Jeroen; **PAAS**, Fred: *Cognitive Architecture an Instructional Design*. In: Educational Psychology Review, Vol. 3, Nr. 3 (1998), S. 258ff.
- **TIPLER**, Paul Allen: *Physik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1. Auflage 1994.
- **TIPLER**, Paul Allen: *Physik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1. Auflage 2004.
- **WASMANN-FRAHM**, Astrid: *Plädoyer für schulinterne Schülerlabore*. In: MNU 2008 (Jahrgang 61), Heft 1, S. 44ff.

Internet:

- Informationen zu Grundlagen der Optik und Akustik:
<http://leifi.physik.uni-muenchen.de> (Aktualisierungsdatum: 30.07.2008)
- Übersicht über Schülervorstellungen:
http://www.physik.uni-kassel.de/did1/Schuelervorstellungen/Schuelervorstellungen_SU.pdf

(Aktualisierungsdatum: 30.07.2008)

- Geschwindigkeit von Schall in Holz:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Holz> (Aktualisierungsdatum: 01.08.2008)

Abbildungen:

- Abb. 1: Guderian 2006, S. 136
- Abb. 4: Fotografie von Dr. Thomas Wilhelm
- Abb. 5: Fotografie von Dr. Thomas Wilhelm
- Abb. 6: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 7: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 8: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 9: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 10: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 11: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 12: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 13: Fotografie von Dr. Thomas Wilhelm
- Abb. 14: Fotografie von Dr. Thomas Wilhelm
- Abb. 15: Fotografie von Dr. Thomas Wilhelm
- Abb. 16: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 17: Fotografie von Saskia Wüst
- Abb. 36: Fotografie von Kathrin Löffler

Tabellen:

- Tabelle 1: <http://de.wikipedia.org/wiki/Tonleiter> (Aktualisierungsdatum: 01.08.2008)

8. Erklärung nach §30 Abs. 6 LPO I

Hiermit erkläre ich, dass ich die schriftliche Hausarbeit selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe.

Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, wurden von mir unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Dies gilt ebenso für Zeichnungen, Kartenskizzen und bildliche Darstellungen.

Würzburg, den

9. Anhang

9.1. Informationen für Lehrkräfte

Lehrerhandbuch zu den Experimentierstationen



Verfasst von Saskia Wüst
im Rahmen der schriftlichen Hausarbeit.
Betreuer: AR Dr. Thomas Wilhelm

Lehrerhandbuch zu den Experimentierstationen

Inhalt

1. Einleitung.....	II
2. Optische Phänomene.....	III
2.1. Sehen.....	III
2.1.1. Grundlagen	III
2.1.2. Schülervorstellungen	V
2.1.3. Lehrplanbezug	V
2.1.4. Stationen	VI
2.2. Farbe.....	VIII
2.2.1. Grundlagen	VIII
2.2.2. Schülervorstellungen	XII
2.2.3. Lehrplanbezug	XII
2.2.4. Stationen	XIII
2.3. Spiegel.....	XVI
2.3.1. Grundlagen	XVI
2.3.2. Schülervorstellungen	XVIII
2.3.3. Lehrplanbezug	XVIII
2.3.4. Stationen	XIX
3. Akustische Phänomene.....	XXI
3.1. Schallerzeugung.....	XXI
3.1.1. Grundlagen	XXI
3.1.2. Schülervorstellungen	XXII
3.1.3. Lehrplanbezug	XXIII
3.1.4. Stationen	XXIII
3.2. Schallausbreitung.....	XXIV
3.2.1. Grundlagen	XXIV
3.2.2. Schülervorstellungen	XXV
3.2.3. Lehrplanbezug	XXVI
3.2.4. Stationen	XXVII
4. Literatur.....	XXVIII

1. Einleitung

Zielsetzung – Wozu die Experimentierstationen?

Der Einsatz der Experimentierstationen soll es allen Schülern ermöglichen, eigene Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen zu machen.

Dadurch sollen Interesse geweckt, naturwissenschaftliche Vorstellungen angeregt und erste Erfahrungen mit der Methode des Experimentierens gewonnen werden.

Da die Stationen frei zugänglich aufgebaut sind, können sie auch (gerade!) außerhalb des Unterrichts von den Schülern ausprobiert werden, völlig ohne Zeit- oder Leistungsdruck.

In verschiedenen Studien (z.B. der Dissertation von Pascal Guderian) wurde die Einsicht gewonnen, dass der Besuch von außerschulischen Lernorten, an denen Experimente durchgeführt wurden, bei Schülern nur dann längerfristige Effekte erzielt, wenn der Besuch in den Unterricht eingebunden wird.

Meiner Überzeugung nach gilt dies auch für an der Schule installierte Experimente. Daher orientiert sich die Auswahl der Stationen am Lehrplan für die bayerische Grundschule, eine Einbindung in den Unterricht soll so erleichtert werden.

Die Experimentierstationen sollen eine sinnvolle Ergänzung zu einigen Themenbereichen des HSU sein, können und sollen die Behandlung dieser Themen im Unterricht jedoch *nicht* ersetzen.

Sie ersparen in einigen Fällen den mühsamen Aufbau von Versuchen und ermöglichen, mit wenig Aufwand die Schüler eine Vielzahl von Experimenten ausprobieren zu lassen.

Von mir zusammengestellte Schülerarbeitsblätter sollen Ideen geben, wie die Stationen im Unterricht bearbeitet werden könnten.

Aufbau

Die beiden folgenden Kapitel beginnen jeweils mit einem kurzen Abriss über die physikalischen Grundlagen der ausgewählten Themen. Sie können unabhängig voneinander gelesen werden, da sie nicht aufeinander aufbauen.

Nachdem klar ist, worum es geht, werden die wichtigsten Vorstellungen und Erfahrungen von Schülern dargestellt. Dies soll dazu dienen, eventuell auftretende Verständnisschwierigkeiten der Schüler vorhersehen und verstehen zu können.

Um die Nutzung im Unterricht zu erleichtern, wird anschließend knapp ein Bezug zum bayerischen Lehrplan hergestellt. Dann folgen Hinweise und Erläuterungen zu jeder einzelnen Station und teilweise auch zu den Schülerarbeitsblättern.

Zuletzt werden im vierten Kapitel die zur Erstellung des Textes verwendeten Bücher aufgeführt, um bei Interesse an einem der Themen das Weiterlesen zu erleichtern.

2. Optische Phänomene

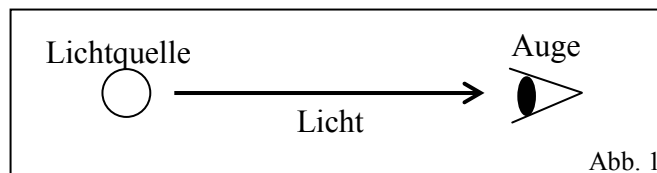
2.1. Sehen

2.1.1. Grundlagen

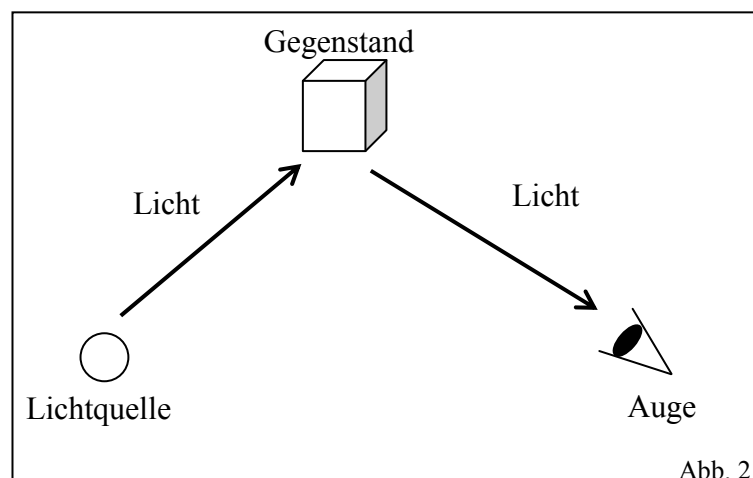
Der Sehvorgang

Sehen können wir nur, wenn **Licht in unsere Augen** gelangt. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:

- 1) Der Gegenstand leuchtet selbst, er ist also eine Lichtquelle (Lampe, Leuchtziffern, etc.). Das Licht fällt direkt vom Gegenstand in unser Auge (Abb. 1).



- 2) Der Gegenstand leuchtet NICHT selbst, er muss beleuchtet werden. Das Licht fällt von einer Lichtquelle zunächst auf den Gegenstand und wird dann von ihm zum Teil absorbiert, zum Teil gestreut (d.h. in alle Richtungen zurückgeworfen). Das gestreute Licht trifft dann auf unser Auge, wir können den Gegenstand sehen (Abb. 2).



Für den Sehvorgang ist es letztlich unerheblich, ob der Gegenstand selbst leuchtet oder nicht.

Ausbreitung des Lichts

Es ist nicht möglich, Licht auf dem Weg von der Quelle zum Gegenstand direkt zu beobachten.

Mit etwas Kreidestaub oder Puder kann man es jedoch sichtbar machen: An den kleinen Staubteilchen wird das Licht gestreut, dort können wir es sehen.

Der Weg des Lichts verläuft immer auf einer **geraden Linie**, es macht keine Knicke oder Kurven.

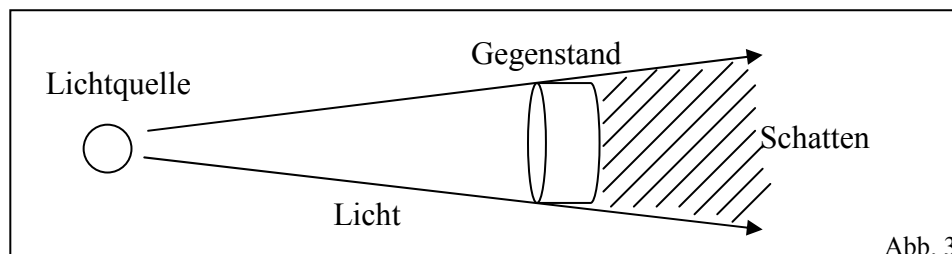
Das Licht bewegt sich sehr schnell, mit etwa $300.000 \frac{km}{s}$. Es braucht beispielsweise um von der Sonne zur Erde zu gelangen nur ca. 8 Minuten.

Dabei legt es eine weite Strecke im Vakuum zurück – es braucht also anders als Schallwellen kein Medium (wie Luft) zur Ausbreitung.

Schatten

Ein Schatten entsteht, wenn man einen nicht durchsichtigen Gegenstand beleuchtet, denn hinter diesen Gegenstand kann das Licht nicht gelangen.

Der Schatten entsteht also immer in der Verlängerung der Linie zwischen Lichtquelle und Gegenstand (Abb. 3).



Wie groß der Schatten ist, hängt von zwei Faktoren ab:

- wie weit ist die Lichtquelle vom Gegenstand entfernt (je näher, desto größer)
- wie weit ist der Gegenstand von der Fläche entfernt, auf die der Schatten fällt (je näher, desto kleiner)

Je nachdem, wie groß die Lichtquelle ist, sind die Ränder des Schattens unterschiedlich scharf. Je kleiner die Lichtquelle ist, desto schärfer sind die Schatten.

Bei einer großen Lichtquelle gibt es einen Übergangsbereich zwischen beleuchteter und unbeleuchteter Fläche. Schaut man von diesem Übergangsbereich aus zurück zur Lichtquelle, sieht man, dass sie vom Gegenstand teilweise verdeckt wird.

2.1.2. Schülervorstellungen

Den meisten Schülern ist bewusst, dass man nur sehen kann, wenn Licht vorhanden ist.

Licht macht in ihrer Vorstellung hell, ermöglicht das Sehen. Es taucht die Umgebung in ein Lichtbad.

Den Zusammenhang, dass es das Licht ist, das man sieht, vermuten sie jedoch nicht.

Auch die Verbindung zwischen Gegenstand und Auge bleibt ungeklärt. Sie glauben nicht, dass Licht vom Gegenstand in ihr Auge fallen muss, um diesen sehen zu können.

Die Vorstellung, dass Licht sich geradlinig ausbreitet, ist den meisten Schülern klar.

Allerdings haben sie Probleme damit, sich einen Lichtfluss von der Lichtquelle zum Gegenstand vorzustellen. In ihrer Vorstellung befindet sich das Licht nach dem Einschalten in einem statischen Zustand.

Dass hinter einem Gegenstand ein Schatten entsteht, ist den meisten Kindern klar, auch wird Schatten meist mit „Lichtmangel“ in Verbindung gebracht.

Manche Schüler glauben, dass der Schatten auch im Dunkeln da ist, man ihn nur nicht sehen kann.

Bei der oben beschriebenen Lichtbad-Vorstellung kann die Schattenbildung nicht verstanden werden. Da das Licht nicht als von der Quelle ausgehend, sondern als „alles umgebend“ angenommen wird, kann nicht erklärt werden, warum es bestimmte Stellen nicht erreicht.

Auch wenn sie nicht die Lichtbad-Vorstellung haben, erkennen viele Schüler den Zusammenhang zwischen der Position der Lichtquelle und der Richtung des Schattens nicht. Auch dass hinter dem beleuchteten Gegenstand ein ganzer Schattenraum und nicht nur eine Schattenfläche entsteht, ist ihnen nicht klar.

Einigen Kindern ist ebenfalls nicht bewusst, dass Schatten weder Farbe noch Binnenstruktur haben.

2.1.3. Lehrplanbezug

Das Thema Sehen taucht im Lehrplan für die Grundschulen in Bayern bereits in der ersten Klasse auf, der zu behandelnde Gesichtspunkt ist hier die Schattenbildung:

1.6.2 Tag und Nacht	
Mit Licht und Schatten Erfahrungen sammeln	Schattenspiele, z. B. Schattenfangen; Schattenfiguren

Die Raum-Lage-Beziehungen zwischen Lichtquelle, Gegenstand und Schatten bestimmen	Schattenlage, Schattenlänge; Schattenentstehung erklären
---	--

Die Ausbreitung des Lichts wird erst in der dritten Klasse im Inhaltsbereich „optische Phänomene“ aufgegriffen. Unter anderem heißt es dort: „Die Ausbreitung des Lichts untersuchen: einfache Versuche zur geradlinigen Ausbreitung“.

Die Station „Kinorad“ passt z.B. zum Thema „Wünsche und Bedürfnisse“:

2.3 Wünsche und Bedürfnisse	
Freizeitgestaltung im Wandel der Zeit	Veränderung des Freizeitverhaltens an einem ausgewählten Beispiel in verschiedenen Zeitausschnitten: Spiel, Urlaub, Sport o. Ä.; Quellenarbeit, Zeitzeugen befragen

Durch die Entwicklung vom Daumenkino bis zum Fernseher wurde eine der größten Veränderungen in der Freizeitgestaltung vieler Menschen ausgelöst.

2.1.4. Stationen

Station „Schatten“

Bei dieser Station können die Schüler Erfahrungen mit Schatten sammeln.

Es stehen mehrere Gegenstände zur Verfügung, die Lampe kann weitgehend frei bewegt werden.

Wünschenswert wäre es, wenn die Schüler anfangen, frei zu experimentieren, also z.B. eigene Gegenstände benutzen, auch die eigenen Hände, etc.

Durchsichtige Gegenstände könnten besonders interessant sein.

Mit den Arbeitsblättern erkunden sie zunächst frei die Schatten verschiedener Körper.

Dann sollen sie herausfinden, was die Form des Schattens mit der Form des Körpers zu tun hat. Auch der Zusammenhang zwischen der Lage des Schattens und der Position der Lichtquelle wird thematisiert.

Durch Ausprobieren sollen die Schüler herausfinden, wie man große und kleine Schatten erzeugen kann.

Station „Kinorad“

Durch die Schlitze in einer drehbar gelagerten Scheibe blickt man jeweils auf das gegenüberliegende, an der anderen Scheibe angebrachte Bild. Die einzelnen Bilder geben einen Bewegungsablauf wieder, wobei nebeneinander liegende Bilder sich immer nur leicht unterscheiden.

Dreht man die Scheibe nun an und blickt durch die Schlitze, kann das Auge ab einer gewissen Geschwindigkeit keine einzelnen Bilder mehr erkennen – sie verschmelzen zu einer Bewegung.

Dabei ist es wichtig, dass man nur durch die Schlitze schaut und so die Bilder immer durch ein Stück Scheibe voneinander getrennt werden. Schaut man nicht durch die Schlitze auf die Bilder, verschmelzen diese einfach zu einem undefinierbaren Streifen.

Die Schüler können an dieser Station erkunden, wie die Illusion einer Bewegung zustande kommt.

Beim Vergleich der einzelnen Bilder miteinander sollen sie feststellen, dass diese sich immer nur sehr wenig voneinander unterscheiden.

Auch können sie herausfinden, dass die Bilder erst ab einer gewissen Drehgeschwindigkeit miteinander verschmelzen.

Vertiefend könnte im Unterricht ein eigenes Daumenkino gebastelt werden.

Station „Scheibe oder Tunnel?“

Auf eine Scheibe sind mehrere exzentrische Kreise gemalt. Dreht man die Scheibe, glaubt man in einen dreidimensionalen Tunnel oder Kegel zu schauen.

Diese optische Täuschung wird „Stereokinetisches Phänomen“ genannt, wie genau sie erklärt werden kann, ist noch strittig.

Eine Theorie versucht das Phänomen damit zu erklären, dass unser visuelles System versucht, die Geschwindigkeitsunterschiede (Punkte, die weiter außen auf der Scheibe liegen, bewegen sich schneller also solche, die weiter innen liegen) zu minimieren. Dies kann gelingen, wenn man „annimmt“ (nicht bewusst!) dass die sich langsamer bewegenden Punkte weiter weg sind. Denn Dinge, die weiter weg sind, sehen kleiner aus. Auch die Strecken, die sie zurücklegen, sehen kleiner aus, es wirkt, als würden sie sich langsamer bewegen.

Die Schüler sollen hier erfahren, dass unsere Wahrnehmung sich recht leicht täuschen lässt und eine optische Täuschung kennen lernen. Auf dem Text neben den Stationen wird der Begriff „dreidimensional“ verwendet – falls dieser den Schülern nicht bereits geläufig ist, sollte er erklärt werden.

Station „Welches ist größer?“

Diese Station besteht aus zwei gleich großen Holzstücken.

Die äußere und die innere Kante eines Holzstücks sind jeweils gleich gekrümmt (Kreisbögen mit dem gleichen Radius), sodass die Hölzer aneinander passen. Die äußere Kante ist jedoch länger.

Legt man die Holzstücke aneinander, scheint das hintere Holzstück kleiner zu sein. Die kurze Seite des hinteren Holzstücks wird mit der langen Seite des vorderen Stücks verglichen – daher scheint die ganze vordere Figur länger zu sein.

Hier lernen die Schüler eine weitere optische Täuschung kennen.

Auf dem Arbeitsblatt werden sie zusätzlich dazu angeregt, eine eigene Idee zu entwickeln, wie die Täuschung zustande kommen könnte.

2.2. Farbe

2.2.1. Grundlagen

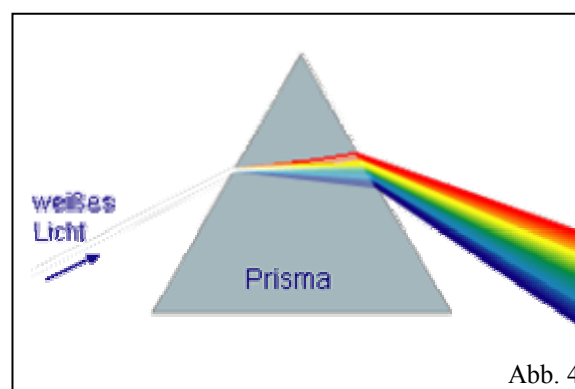
Aufspaltung weißen Lichts

Weißes Licht besteht aus einer **Mischung verschiedener Farben**.

Lassen wir weißes Licht durch ein Prisma fallen, werden die Farben unterschiedlich stark abgelenkt – rotes Licht am wenigsten, violettes am stärksten.

Stellen wir hinter das Prisma einen Schirm, lässt sich darauf ein regenbogenfarbiges Band beobachten, dessen Hauptfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett sind (Abb. 4).

Diese Farben nennt man Spektralfarben.



Umgekehrt ist es auch möglich, durch „Mischen“ von farbigem Licht den Farbeindruck „weiß“ zu erzeugen. Dazu müssen wir die gleiche weiße Fläche mit rotem, grünem und blauem Licht beleuchten (oder mit allen Spektralfarben).

Farbige Gegenstände

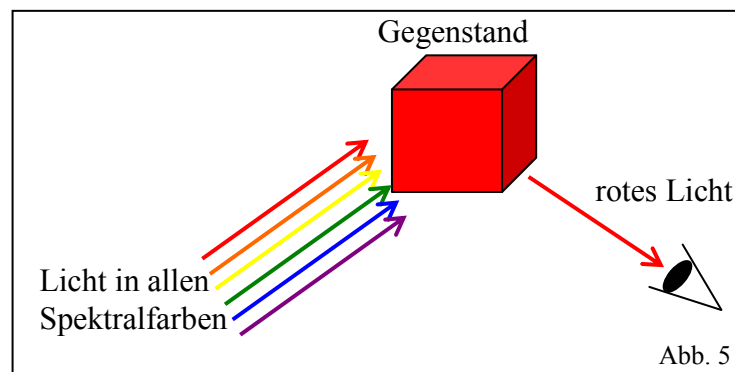
Wie kommt es nun, dass uns manche Gegenstände farbig erscheinen und andere nicht, obwohl sie doch alle mit dem gleichen weißen Licht beleuchtet werden?

Ein Gegenstand, der uns weiß erscheint, reflektiert alle Farben.

Ein z.B. rot erscheinender Gegenstand enthält einen Farbstoff, der alle Farben außer rot fast vollständig absorbiert (verschluckt). Nur den roten Bereich des Spektrums reflektiert er, also kann auch nur das rote Licht in unser Auge treffen (Abb. 5).

Häufig werden auch die Nachbarfarben reflektiert, unser Gehirn erkennt die Farbe dennoch (z.B. als Rot).

Wenn ein Gegenstand alle Farben absorbiert, erscheint er uns schwarz.



Bei einem durchsichtigen, z.B. grün erscheinenden Gegenstand wird nur das grüne Licht durchgelassen, alle anderen Farben werden absorbiert.

Der Farbeindruck, den wir von einem Gegenstand haben, hängt folglich nicht nur von dem Farbstoff im Gegenstand ab, sondern auch vom Licht, mit dem wir ihn beleuchten.

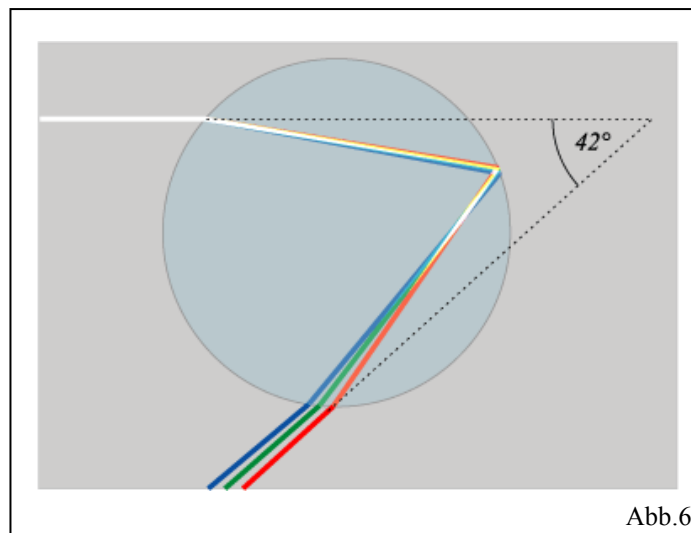
Ein in weißem Licht rot erscheinender Gegenstand sieht beispielsweise in rein blauem Licht schwarz aus. Da blaues Licht absorbiert wird und nur rotes Licht reflektieren würde, kann kein Licht vom Gegenstand in unser Auge gelangen.

Der Regenbogen

Zur Entstehung eines Regenbogens sind Licht und Wassertropfen nötig.

Weißes Licht von der Sonne dringt in einen Wassertropfen ein (Abb. 6).

Beim Übergang von der Luft ins Wasser wird das Licht wie beim Prisma gebrochen (der Strahl macht „einen Knick“), und zwar je nach Farbe unterschiedlich stark. Dadurch wird es in die Spektralfarben aufgefächert.



An der Rückseite des Tropfens wird ein Teil des Lichts reflektiert, der Rest tritt wieder aus dem Tropfen aus (dieser Rest wurde nicht eingezeichnet, er trägt nicht zur Entstehung des Regenbogens bei).

Der reflektierte Teil trifft wieder auf die Wand des Tropfens und wird beim Übergang in Luft abermals gebrochen. Das Licht verlässt den Regenbogen in verschiedenen Richtungen, bei einem Winkel von etwa 42° zwischen einfallendem und gebrochenen Lichtbündel gibt es eine Häufung, hier tritt besonders viel Licht aus. Daher sieht man dort den Regenbogen, das Licht, das unter anderen Winkeln austritt ist zu schwach.

Da das rote Licht am wenigsten gebrochen wird, fällt vom obersten Tropfen rotes Licht ins Auge (Abb. 7). Blaues Licht wird am stärksten gebrochen, es fällt vom untersten Tropfen ins Auge.

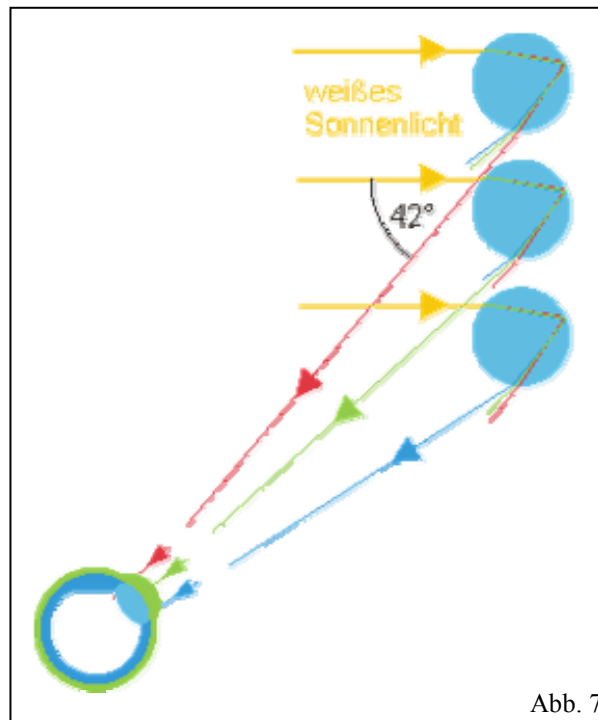


Abb. 7

Manchmal kann man am Himmel neben dem Hauptregenbogen einen weiteren beobachten (Abb. 8).



Abb. 8

Ein solcher Nebenregenbogen entsteht, wenn das Licht im Tropfen zweimal reflektiert wird. Die Farbfolge ist beim Nebenregenbogen umgekehrt. Außerdem ist es innerhalb des ersten Regenbogens heller, zwischen den beiden Regenbögen dunkler.

2.2.2. Schülervorstellungen

Die meisten Schüler lehnen die Vorstellung ab, dass weißes Licht eine Mischung verschiedenfarbigen Lichts ist.

Licht, das durch ein Prisma in seine Spektralfarben zerlegt wird, wird als vom Prisma eingefärbtes Licht gedeutet.

Ein Gegenstand erscheint nach Meinung der Kinder farbig, weil er eine bestimmte Farbe hat und das Licht diese sichtbar werden lässt.

Mit dem Wasserfarbkasten haben die Schüler bereits vielfältige Erfahrungen zur Farbmischung gesammelt. Die daraus entstandenen Vorstellungen entsprechen der subtraktiven Farbmischung, also dem Verschlucken von Licht (siehe 2.2.1 *Farbige Gegenstände* und 2.2.4 *Farbschlucker*). Daher ist additive Farbmischung, also das Überlagern verschiedenfarbigen Lichts, für die Schüler höchst erstaunlich (siehe 2.2.4 *Mischen von Licht*).

2.2.3. Lehrplanbezug

Die Optik ist im bayerischen Lehrplan in der dritten Klasse angesiedelt:

3.2.3 Optische oder akustische Phänomene

(Ein Inhaltsbereich - „Licht“ oder „Schall“ - ist verbindlich, in Abstimmung mit 3.2.2.)

Ausbreitung des Lichts und Spiegelphänomene bewusst machen

- die Ausbreitung des Lichts untersuchen

einfache Versuche zur geradlinigen Ausbreitung, Streuung und Bündelung von Licht;
Licht in die Spektralfarben (Regenbogenfarben) auflösen; Licht bündeln, z. B. mit der Lupe
Sicherheitserziehung: Entzündungsgefahr, Laser

Mit „Licht in die Spektralfarben (Regenbogenfarben) auflösen“ wird auch der Bereich Farben angesprochen.

2.2.4. Stationen

Station „Licht mischen“

An dieser Station können die Schüler ausprobieren, was passiert, wenn man mit rotem, grünem und blauem Licht die gleiche weiße Fläche beleuchtet. Dabei können die drei farbigen Lampen einzeln an- und ausgeschaltet werden.

Die verschiedenen Farben „addieren“ sich zu einer Mischfarbe:

Schaltet man nur das **rote** und **grüne** Licht an, verarbeitet unser Gehirn den Farbeindruck als **Gelb**. **Rot** und **Blau** erscheinen uns **magentafarben** (pink), **Blau** und **Grün** wirken wie **Cyan** (Türkis). Alle drei Farben zusammen erscheinen uns weiß, was nicht den Erfahrungen entspricht, die beim Malen mit Wasserfarben gemacht werden können.

Die Farben, die wir sehen, müssen also nicht immer reine Spektralfarben sein. Auch Mischfarben können den gleichen Farbeindruck hervorrufen.

Genutzt wird diese Art der Farbmischung beispielsweise beim Fernseher. Dort liegen für jeden Bildpunkt (Pixel) je drei Farbpunkte (rot, grün, blau) so eng beieinander, dass sie nicht einzeln wahrgenommen werden. Werden alle drei gleich stark zum Leuchten gebracht, sieht der Pixel weiß aus. Indem die drei Farben unterschiedlich stark zum Leuchten gebracht werden, lässt sich beinahe jeder Farbeindruck erzeugen.

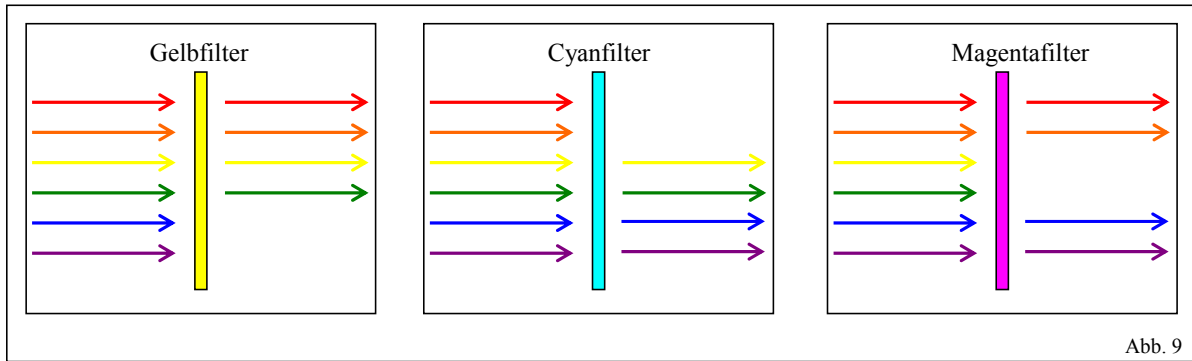
Bei einem Röhrenfernseher kann man die einzelnen Farbpunkte mit einer Lupe sehr gut erkennen.

Station „Farbschlucker“

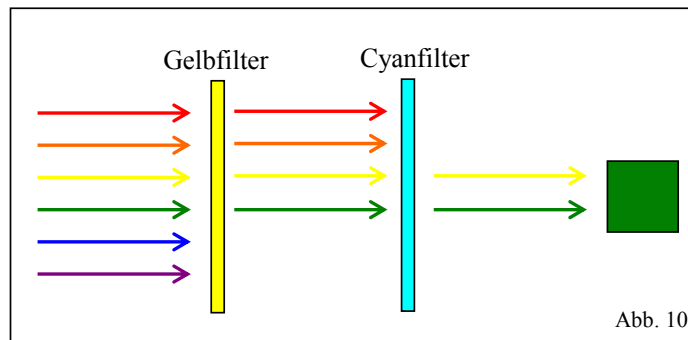
An dieser Station können ein gelber, ein magentafarbener und ein cyanfarbener Filter voreinander geschoben werden.

Dabei können die Schüler beobachten, dass ein neuer Farbeindruck entsteht, wenn man zwei Filter voreinander schiebt, und dass die Filter schwarz aussehen, wenn man alle drei voreinander schiebt. Das entspricht den Erfahrungen, die mit dem Wasserfarbkasten gewonnen werden können.

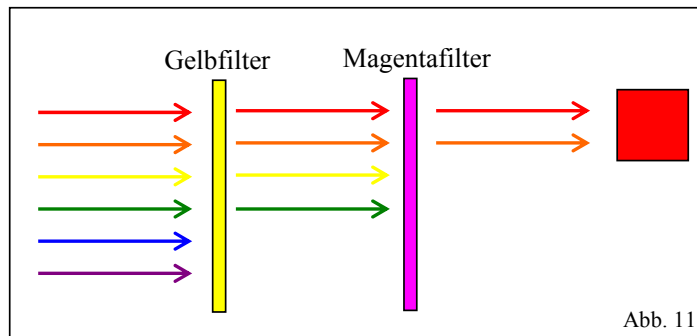
Die Filter lassen jeweils nur einen bestimmten Teil des Spektrums durch und „verschlucken“ den anderen Teil (Abb. 9):



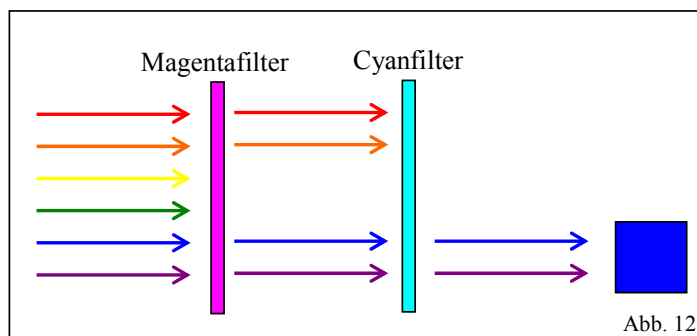
Gelbfilter absorbieren blaues und violettes Licht und lassen gelbes Licht durch, Cyanfilter verschlucken den rötlichen Teil des Spektrums und lassen türkisblaues durch. Schiebt man beide hintereinander, entsteht ein grünlicher Farbeindruck, da nur der grüne Teil des Spektrums von beiden durchgelassen wird (Abb. 10):



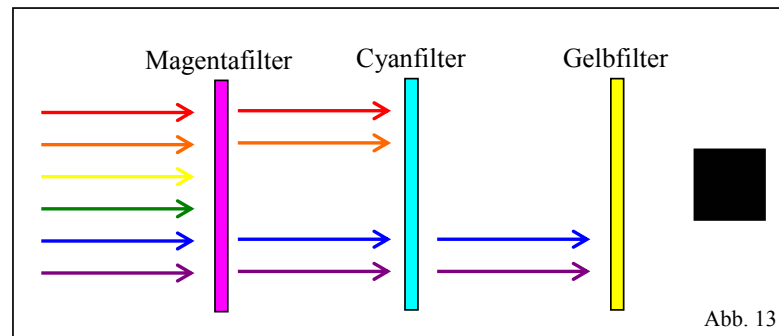
Magentafilter absorbieren den grünen Teil des Spektrums und lassen pinkrotes durch. Durch die Kombination eines Magenta- und eines Gelbfilters kommt also nur rotes Licht (Abb. 11).



Einen Magenta- und einen Cyanfilter hintereinander kann nur blaues Licht passieren (Abb. 12).



Schiebt man alle drei Farbfilter hintereinander, wird alles Licht absorbiert, die Filter sehen schwarz aus (Abb. 13).



Diese Art der Farbmischung wird subtraktive Farbmischung genannt, weil immer ein Teil des Lichts absorbiert, also subtrahiert, wird.

Sie tritt immer auf, wenn Stoffe gemischt werden, beispielsweise beim Mischen von Wasserfarben.

Auch Farbdrucker funktionieren nach diesem Prinzip. Allerdings nutzen sie meist zusätzlich noch schwarze Farbe.

Station „Weißes Licht - oder nicht?“

Diese Station ermöglicht es, Licht in die Spektralfarben zu zerlegen.

Das Prisma ist drehbar gelagert. Die Schüler können so den Winkel, unter dem das Licht einfällt, verändern, bis auf dem Schirm ein Spektrum zu sehen ist.

Sie sollen erfahren, dass weißes Licht aus Licht aller Farben besteht. Allerdings benötigen sie hier vermutlich Hilfe, damit sie **nicht** die Vorstellung entwickeln, das Prisma färbe das Licht ein.

2.3. Spiegel

2.3.1. Grundlagen

Reflexion

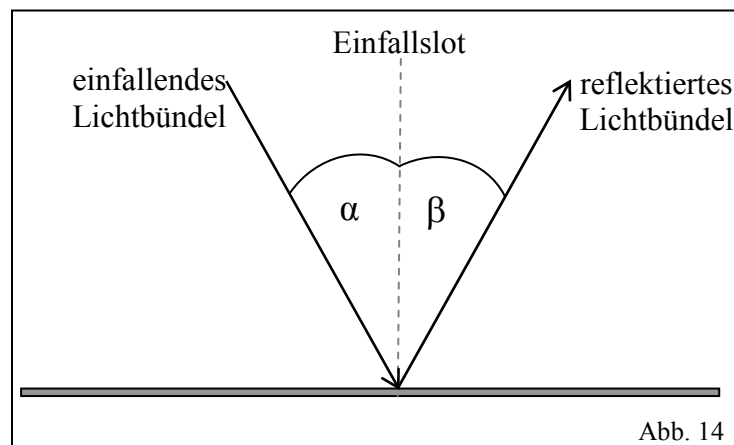
Um einen Gegenstand sehen zu können, muss von diesem aus Licht in unser Auge gelangen. Die Oberflächen der meisten Körper reflektieren das auf sie fallende Licht in alle Richtungen. Man nennt dies „diffuse Reflexion“ oder Streuung.

Manche Oberflächen lenken das Licht jedoch in nur eine bevorzugte Richtung ab – hier spricht man von „gerichteter Reflexion“ oder „Spiegelung“.

Die Richtung, in welche das Licht reflektiert wird, lässt sich bei einem ebenen (also nicht gekrümmten) Spiegel mit dem **Reflexionsgesetz** leicht vorhersagen.

Das auf den Spiegel fallende Lichtbündel, das reflektierte Lichtbündel und das sog. Einfallslot (Lot auf den Spiegel im Auftreffpunkt des einfallenden Bündels) liegen in einer Ebene.

Einfallswinkel α und Reflexionswinkel β haben bezogen auf das Einfallslot den gleichen Betrag (Abb. 14).



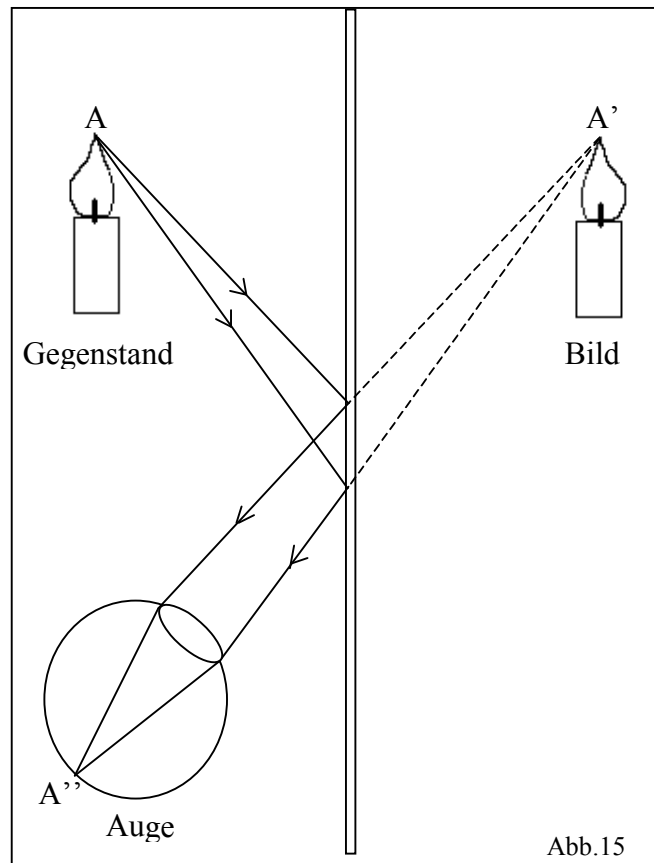
Entstehung des Spiegelbilds

Ein Lichtbündel, das von der Kerzenspitze (A) ausgeht, wird laut Reflexionsgesetz so reflektiert, dass das reflektierte Bündel verläuft, als käme es von einer Kerzenspitze A' hinter dem Spiegel (Abb. 15).

Das Auge verlängert das Lichtbündel nach hinten und verlegt somit den Ursprung nach hinten.

Der Abstand des realen Gegenstandes vom Spiegel und der Abstand des vom Auge „vermuteten“ Spiegelbildes vom Spiegel sind gleich groß.

Das Auge kann nicht unterscheiden, ob das Bündel am Spiegel „abgeknickt“ wurde und nur ein Bild der Flamme zu sehen ist, oder ob am Punkt A' tatsächlich eine Kerzenflamme ist.

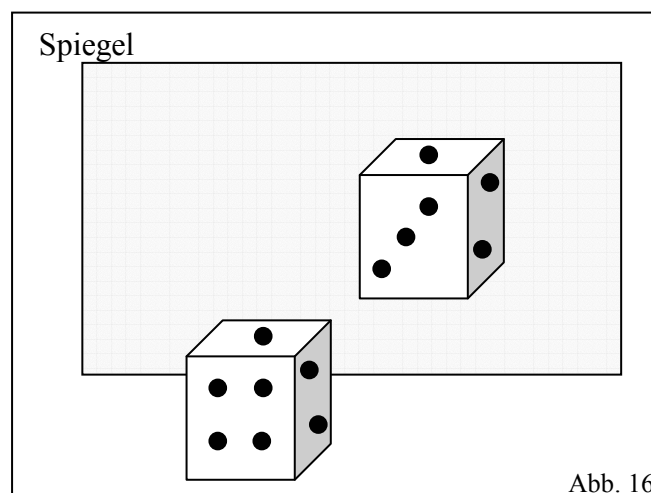


Eigenschaften des Spiegelbildes

Das Spiegelbild liegt im gleichen Abstand hinter dem Spiegel, wie der Gegenstand davor. Es ist genauso groß und symmetrisch zur Spiegelebene.

Entgegen der Alltagsvorstellung vertauscht der Spiegel **nicht links und rechts** – er müsste dann ja konsequenterweise auch oben und unten vertauschen.

Mit einem Würfel lässt sich veranschaulichen, was der Spiegel vertauscht:



Die Zwei ist auch im Spiegelbild rechts, die Eins oben – aber statt der Vier ist die Drei vorne. Der Spiegel vertauscht also vorne und hinten.

2.3.2. Schülervorstellungen

Zur Lage des Spiegelbildes gibt es zwei verschiedene Schülermeinungen:

Die einen geben an, man sehe das Spiegelbild hinter dem Spiegel, es sei aber *auf* dem Spiegel (bzw. auf der Rückwand oder zwischen den Wänden des Spiegels). Der Spiegel wird hier als Bildträger gesehen, ähnlich wie ein Foto.

Laut den anderen Schülern sieht man das Spiegelbild hinter dem Spiegel, es ist aber *im* Spiegel (also in einer Spiegelwelt bzw. dem Spiegelinneren).

Zwischen Licht und Spiegelbild sehen die meisten Schüler keinen Zusammenhang.

Sie wissen zwar aus eigener Erfahrung, dass man mit einem Spiegel Licht zurückwerfen kann, sehen den Spiegel aber primär als etwas, das dem Betrachter das zeigt, was vor ihm steht. Das hat für sie nichts mit Licht zu tun, zumal ihnen auch der Zusammenhang zwischen Licht und Sehen nicht geläufig ist.

Viele Schüler (und auch Erwachsene) sind der Meinung, dass ein Spiegel rechts und links vertauscht. Sie können aber häufig richtig vorhersagen, wie ein Gegenstand im Spiegel aussieht.

2.3.3. Lehrplanbezug

Das Untersuchen von Spiegelphänomenen wird im Lehrplan der dritten Jahrgangsstufe im Bereich HSU recht ausführlich festgeschrieben:

3.2.3 Optische oder akustische Phänomene	
Ausbreitung des Lichts und Spiegelphänomene bewusst machen - Spiegelphänomene erkunden und anwenden	Licht mit Spiegeln umleiten; Spiegelsymmetrie: Spiele mit Spiegeln, z. B. Spiegelschrift, Kaleidoskop, Spiegellabyrinth, Periskop; Spiegelbilder auf der Wasseroberfläche, Glas, polierten Flächen o. Ä. betrachten; Lagebestimmung des Spiegelbildes: den Abstand von Bild und Spiegelbild zur Spiegeloberfläche betrachten, Bewegungsrichtung im Spiegel verfolgen

	Phänomen des „Toten Winkels“ (VKE)
--	------------------------------------

Auch in Mathematik sollen Spiegelphänomene aufgegriffen werden:

3.1.3 Achsensymmetrie	
Die Eigenschaften symmetrischer Figuren entdecken	z. B. Falten, Reißen, Schneiden; Klecksbilder erstellen, mit einem Spiegel experimentieren
Symmetrische Figuren entdecken, erstellen, zeichnen und beschreiben	z. B. Spiegeln, Legen, Figuren am Geobrett spannen, Ergänzen; Dynamische Geometrie: am Computer Achsensymmetrie darstellen leistungsschwächere Schüler: mit Schablone arbeiten leistungsstärkere Schüler: Mehrfachspiegelung an parallelen bzw. aufeinander senkrecht stehenden Achsen
Symmetrien in der Umwelt auffinden	Gebäude, Buchstaben usw.
<i>Fachbegriffe:</i> Symmetrieachse, symmetrisch und deckungsgleich	

2.3.4. Stationen

Station „Klappspiegel“

Die Station besteht aus zwei Spiegeln, die wie ein Buch klappbar miteinander verbunden sind. Einer ist fest auf der Tischplatte montiert, der andere lässt sich drehen.

Dadurch können verschiedene Winkel zwischen den Spiegeln eingestellt werden, sodass sich ein zwischen die Spiegel gestellter Gegenstand unterschiedlich oft spiegelt.

Durch geschickte Wahl der Winkel lassen sich schöne Muster erzeugen.

Erstaunliches zeigt der Klappspiegel bei einem Winkel von 90° : Blickt man nun in den Spiegel, sieht man sich so, wie einen andere sehen. Der Spiegel vertauscht jetzt tatsächlich rechts und links.

Mit dem ersten Arbeitsblatt sollen die Schüler im Unterricht erkunden, was der Spiegel vertauscht. Dazu wird ein Würfel benutzt, da dieser auf jeder Seite anders aussieht.

Der Klappspiegel wird hierbei ganz aufgeklappt (180°) und benutzt als sei es eine große Spiegelfläche. Dadurch sollen zunächst verwirrende Mehrfachspiegelungen vermieden werden.

Auf den beiden anderen Arbeitsblättern sollen die Mehrfachspiegelungen genutzt werden, um aus einfachen Bildern Muster zu erzeugen.

Station „Kaleidoskop“

Genau wie seine kleinen „Verwandten“ besteht das begehbare Kaleidoskop aus drei Spiegeln, die jeweils in einem Winkel von 60° zueinander angeordnet sind.

Übersetzt heißt Kaleidoskop etwa „Schönseher“ (Abb. 17).



Man spiegelt sich im Kaleidoskop nicht nur einmal, sondern sieht sich unendlich oft – das Spiegelbild wird wieder und wieder gespiegelt.

Die Schüler sollen sich an dieser Station darüber Gedanken machen, warum man sich nicht nur einmal sieht – haben sie die Station „Klappspiegel“ bereits erkundet, sind ihnen Mehrfachspiegelungen ja bereits bekannt.

Sie können erfahren, dass lediglich drei Spiegel nötig sind, um die wunderschönen Bilder zu erzeugen.

Eine interessante Ergänzung wäre es, die Schüler selbst Kaleidoskope basteln zu lassen (eine sehr einfache Bastelanleitung gibt es z.B. unter: <http://www.rahmenplan.de/R41.html>).

3. Akustische Phänomene

3.1. Schallerzeugung

3.1.1. Grundlagen

„Schall“ ist der **Überbegriff** für Töne, Klänge und Geräusche. Töne sind gleichmäßige Schwingungen, die z.B. ertönen, wenn man eine Stimmgabel anschlägt. Klänge sind ein Zusammenspiel verschiedener Töne, Geräusche hingegen völlig unregelmäßige Schwallenschwankungen, wie sie beispielsweise entstehen, wenn man durch trockenes Laub geht.

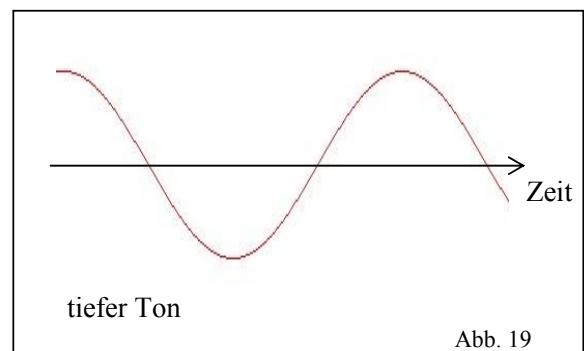
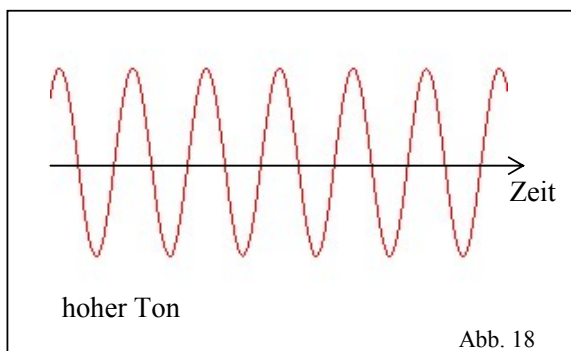
Schall kann von verschiedenen Gegenständen erzeugt werden. Gemeinsam ist allen Gegenständen, dass sie in eine **schnelle Bewegung** versetzt werden müssen – sie müssen schwingen.

Diese Schwingung wird dann an ein **Medium** (meist Luft) weitergegeben, das auch anfängt zu schwingen. Nun kann sich die Schwingung ausbreiten.

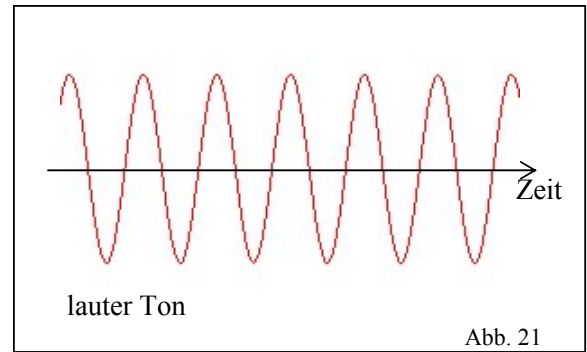
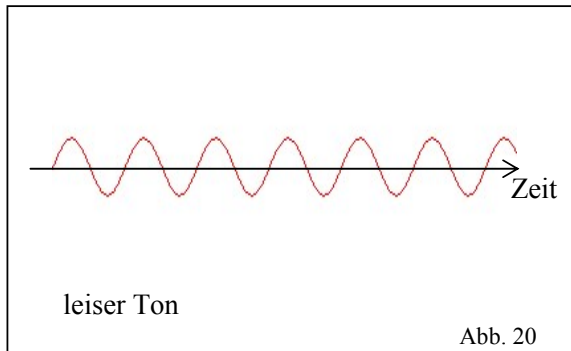
Töne können als hoch oder tief und als laut oder leise unterschieden werden.

Ein hoher Ton entsteht bei einer sehr **schnellen** Schwingung (Abb. 18), ein tiefer durch eine langsame Schwingung (Abb. 19). Entsprechend gibt man die Tonhöhe an durch die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, gemessen in Hertz (Hz).

Ein Mensch kann Schwingungen etwa zwischen 16 Hz (sehr tief) und 20.000 Hz (sehr hoch) hören.



Wie laut ein Ton ist hängt von der **Schwingungsweite** ab. Lenkt man z.B. eine Gitarrensaite nur leicht aus (Abb. 20), ist der Ton leiser als der von einer stark ausgelenkten Saite erzeugte Ton (Abb. 21).



Um einen Ton lauter zu machen kann man auch einen Resonanzkörper nutzen: Dieser schwingt mit und verstärkt so den Schall.

Beispielsweise klingt eine Spieluhr viel lauter, wenn man sie auf den Tisch legt. Berührt man den Tisch, kann man die Schwingung sogar spüren.

3.1.2. Schülervorstellungen

Der Sammelbegriff „Schall“ ist den Schülern weitgehend unbekannt, vor allem jüngeren.

Kircher und Engel schlagen vor, stattdessen den Ausdruck „Ton“ zu verwenden, da die umgangssprachliche Bedeutung dieses Begriffs ungefähr die gleiche sei wie die von „Schall“.

Dass die Ursache von Schall eine sich bewegende Schallquelle sein muss, ist den meisten Grundschulern nicht klar. Sie wissen nur, dass man etwas tun muss um Schall zu erzeugen, also beispielsweise auf einen Tisch schlagen. Schall fassen sie als direkte Folge der Tätigkeit auf. Ein Grund für diese Auffassung könnte sein, dass die Bewegung des Gegenstandes meist nicht sichtbar ist.

Macht man die Kinder in Versuchen gezielt auf die Bewegung aufmerksam, begreifen sie den Zusammenhang meist leicht.

Überlegungen zu hohen und tiefen Tönen sind für die meisten Schüler wenig verständlich, sie denken bei hoch und tief an räumliche Kriterien. (Beispielsweise einen hohen Ton singen manche, indem sie sich auf die Zehenspitzen stellen.)

Daher vertauschen sie die Begriffe häufig.

Laute und leise Töne können Grundschüler gut unterscheiden, sie sind auch in der Lage, mit einem Instrument (z.B. Trommel) laute und leise Töne zu erzeugen. Sie denken, ein lauter Ton erfordert eine kräftigere auslösende Handlung. Allerdings können sie sich nicht von diesen konkreten Prozessen lösen und abstrahieren, dass der Gegenstand weiter schwingt.

Auch die Wirkung eines Resonanzkörpers können fast alle Schüler mit ihrer Vorstellung nicht erklären.

Dennoch kennen sie viele Beispiele hierfür: Musikinstrumente mit einem Hohlkörper, wie Geigen, Gitarren, Trommeln, Xylophone, usw.

3.1.3. Lehrplanbezug

Die Erzeugung von Schall wird im bayerischen Lehrplan in der dritten Klasse behandelt:

3.2.3 Optische oder akustische Phänomene

Ausbreitung des Schalls untersuchen - Töne, Klänge, Geräusche durch schwingende Körper und Gegenstände erzeugen und ihnen zuordnen	hohe - tiefe, laute - leise Geräusche, z. B. durch gespanntes Gummiband mit verschiedenen Längen Hörrätsel, einfache Flöten; Monochord
---	---

Das Monochord wird sogar direkt erwähnt.

3.1.4. Stationen

Station „Klangrohre“

Diese Station besteht aus acht verschieden langen Regenfallrohren. Ihre Längen sind so abgestimmt, dass beim Anschlagen der Rohre die Töne c', d', e', f', g', a', h', c'' erklingen.

Es lassen sich also einfache Melodien spielen.

Mit dem Arbeitsblatt soll herausgefunden werden, dass die erzeugten Töne tiefer sind, je länger das Rohr ist.

Hierzu müssen die Schüler bereits wissen, was hohe und tiefe Töne sind.

Außerdem sollen die Schüler ausprobieren, was passiert, wenn sie ein Rohr beim Anschlagen festhalten – hier kann deutlich gemacht werden, dass die Schallquelle sich bewegen muss.

Zusätzlich kann ausprobiert werden, wie laute und leise Töne hervorgerufen werden können.

Falls an der Schule mit Boomwhackers, den unterschiedlich langen, gestimmten Kunststoffrohren (Abb. 22, z.B. <http://www.andreasvonhoff.de>) gearbeitet wird, bietet sich ein Vergleich an.



Station „Klingende Saite“

Das Monochord besteht – wie der Name bereits andeutet – aus nur einer Saite mit Resonanzkörper. Mit Hilfe eines Holzkeils lässt sich die Länge der angezupften Saite verändern. Je länger die Saite ist, desto tiefer ist der Ton.

Die Bewegung der Saite ist dabei recht deutlich sichtbar.

Das erste Arbeitsblatt soll bei der Erkundung des Zusammenhangs zwischen Saitenlänge und Tonhöhe helfen.

Indem auch gefragt wird „Was siehst du?“, wird die Bewegung der Schallquelle bereits thematisiert.

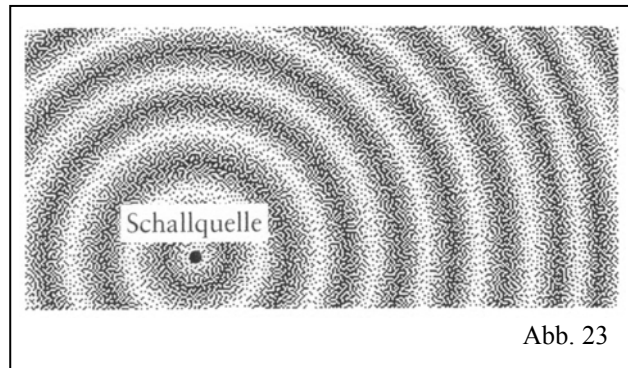
Das zweite Arbeitsblatt lenkt die Aufmerksamkeit weiter auf die Bewegung der Saite: Einerseits auf die größere Auslenkung bei lauten Tönen, andererseits auf das Verstummen des Tons, wenn man die Saite festhält.

3.2. Schallausbreitung

3.2.1. Grundlagen

Nachdem die Schallquelle in Bewegung versetzt wurde, gibt sie diese Bewegung weiter an das sie umgebende Medium, beispielsweise Luft. Dabei werden die Teilchen, aus denen das Medium besteht, aneinander gedrückt und auseinander gezogen. Dadurch ist die Luft an manchen Stellen dünner, an anderen dichter, es entstehen also Druckschwankungen.

Die vom Gegenstand angestoßenen Teilchen stoßen wieder neue Teilchen in ihrer Umgebung an – so kann sich die Schwingung ausbreiten (Abb. 23).



Es entsteht eine Schallwelle, bei der alle angestoßenen Luftteilchen nacheinander die gleiche Bewegung ausführen, wie die Schallquelle.

Treffen die schwingenden Luftteilchen auf unser Trommelfell, so wird es auch in Schwingung versetzt – wir können den Schall hören.

Da die Teilchen des Mediums zur Ausbreitung benötigt werden, kann sich Schall ohne Medium (im Vakuum) nicht ausbreiten.

Die Ausbreitung von Schall erfolgt nicht beliebig schnell, die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist in verschiedenen Stoffen unterschiedlich groß.

In Luft beträgt sie ca. $340 \frac{m}{s}$ (etwa $1200 \frac{km}{h}$), in Wasser ca. $1480 \frac{m}{s}$ (etwa $5300 \frac{km}{h}$) und in Holz ca. $5500 \frac{m}{s}$ (etwa $20.000 \frac{km}{h}$).

Außerdem verändert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit je nach Temperatur – je wärmer, desto schneller.

3.2.2. Schülervorstellungen

Die Vorstellung, dass die Schwingungen der Schallquelle durch ein Medium weitergeleitet werden, ist den meisten Schülern völlig fremd.

Das größte Problem liegt vermutlich darin, dass Luft nicht als etwas Stoffliches aufgefasst wird, sondern für „Nichts“ gehalten wird. Daher haben die Schüler Schwierigkeiten, sich die Übertragung der Bewegung vorzustellen.

Sie stellen sich oft vor, dass der Ton irgendwie durch den Raum fliegt und dabei auch an unserem Ohr vorbeikommt. Die Töne werden zuvor durch das Manipulieren des Gegenstandes hervorgehört – sie können auch wieder in der Schallquelle verschwinden, wenn man z.B. die Stimmgabel mit der Hand festhält.

Ältere Grundschüler stellen sich einen Ton wie einen Gegenstand vor, der z.B. an Wänden zurückgeworfen wird.

Da sie Gegenstände (Wände, Gebirge, ...) als Hindernisse sehen, können sie sich die Schallausbreitung in festen Körpern nicht erklären. Lässt man sie das Ohr an einen Gegenstand halten und klopft auf der anderen Seite leise darauf, erklären sie häufig, dass der Gegenstand den Ton außen entlang leitet.

Dass man beispielsweise auch hinter einer Wand etwas hört, erklären sie sich mit kleinen Löchern in der Wand.

In beiden Vorstellungen ist ein Medium nicht nötig, deswegen nehmen viele Schüler an, dass man im Vakuum (z.B. Weltall) besser hören kann.

Dass Schall Zeit braucht, um sich auszubreiten, ist den meisten Kindern klar. Sie kennen dies vom Gewitter: Der Donner ist später zu hören als der Blitz zu sehen ist, weil das Geräusch länger braucht als das Licht, um bis zu uns zu kommen.

3.2.3. Lehrplanbezug

Das Untersuchen der Schallausbreitung wird im Lehrplan der dritten Klasse recht ausführlich behandelt:

3.2.3 Optische oder akustische Phänomene	
<p>Ausbreitung des Schalls untersuchen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausbreitung von Schall in Luft, festen Körpern und Wasser 	<p>Schallausbreitung in Luft sichtbar machen, z. B. Reiskörner auf Tamburin; Schallträger wie Tischplatte oder Baumstamm, Resonanzkörper, Schnurtelefon</p> <p>Schallausbreitung im Wasser: mit angeschlagener Stimmgabel, Zusammenschlagen zweier Steine</p> <p>leistungsstärkere Schüler: Echolot; Orientierung der Fledermäuse; Kommunikation der Wale</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Verstärken oder Bündeln des Schalls 	<p>Trichter, Lautsprecher; Hörrohr; Maßnahmen zum Schutz vor Verkehrs-, Industrie-, Nachbarschaftslärm</p>

3.2.4. Stationen

Station „Geräusche im Holz“

Ein Baumstamm dient als fester Körper, an dem die Schallausbreitung in Feststoffen untersucht werden kann.

Hält man sein Ohr an die Schnittfläche des Stamms, kann man beispielsweise das Ticken einer an die andere Seite gehaltenen Armbanduhr deutlich hören.

Die Schüler sollen erkennen, dass Schall auch durch Feststoffe weitergeleitet werden kann. Zuvor sollte die Schallausbreitung in Luft und evtl. Wasser bereits thematisiert worden sein.

Station „Richtungshören“

An dieser Station können die Schüler erfahren, wie genau unsere Ohren wahrnehmen können, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt.

Sie halten sich auf jedes Ohr einen Trichter, die Trichter sind mit einem Schlauch verbunden, dessen Mitte markiert wurde.

Wenn man nur wenige Zentimeter links oder rechts von der Mitte auf den Schlauch klopft, ist der Unterschied bereits hörbar.

Die Töne kommen mit einem winzigen Zeitunterschied an unseren Ohren an. Dieser kleine Unterschied genügt für unser Gehirn bereits, um die Richtung festzustellen.

4. Literatur

Beim Verfassen des Kapitels „optische Phänomene“ verwendete Literatur:

- KAHLERT, Joachim; DEMUTH, Reinhard: *Wir experimentieren in der Grundschule – Band 1*. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Köln 2007.
- WILHELM, Thomas: Skript zur Vorlesung „Einführung in die Fachdidaktik I Ziele und Inhalte“: www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/vorlesung.htm
- JENNINGS, Terry: *Licht und Energie*. Mülheim an der Ruhr 1992.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS: *Lehrplan für die Grundschule in Bayern*. München 2000.
- FEUERLEIN, Rainer; NÄPFEL, Helmut; SCHÄFLEIN, Horst: *bsv Physik 2*. München 1993, S. 72ff.
- DEGER; GLEIXNER; PIPPIG; WORG: *Galileo 9*. Das anschauliche Physikbuch. München 2000, S. 144ff.
- BEGHI, L.; XAUSA, E.; ZANFORLIN, M.: *Analytic determination of the depth effect in stereokinetic phenomena without a rigidity assumption*. In: *Biological Cybernetics* 65 (1991). Heidelberg 1991, S. 425-432.
- WIESNER, Hartmut; CLAUS, Jürgen: *Vorstellungen zu Schatten und Licht bei Schülern der Primarstufe*. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* 13 (1985). Köln 1985, S. 318 – 322.
- BLUMÖR, Rüdiger; WIESNER, Hartmut: *Das Spiegelbild*. Untersuchungen zu Schülervorstellungen und Lernprozessen (Teil1). In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* 20 (1992). Köln 1992, S. 2-6.
- BEUTELSPACHER, Albrecht et al.: *Mathematik zum Anfassen*. 50 mathematische Experimente. Gießen 2007, S. 136f., S. 152f.
- <http://leifi.physik.uni-muenchen.de> (02.05.2008)
- Benham Kreisel: http://en.wikipedia.org/wiki/Benham's_top (11.05.2008)
- Anleitung zum Bau eines Kaleidoskops: <http://www.rahmenplan.de/R41.html> (12.05.2008)

Beim Verfassen des Kapitels „akustische Phänomene“ verwendete Literatur:

- KAHLERT, Joachim; DEMUTH, Reinhard: *Wir experimentieren in der Grundschule – Band 2*. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Köln 2007.
- WILHELM, Thomas: Skript zur Vorlesung „Einführung in die Fachdidaktik I Ziele und Inhalte“: www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/vorlesung.htm
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS: *Lehrplan für die Grundschule in Bayern*. München 2000.
- KIRCHER, Ernst; ENGEL, Christine: *Schülervorstellungen über Schall*. In: Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 22 (1994). Köln 1994, S. 53-57.
- Boomwhackers: <http://www.andreasvonhoff.de>

Sonstige Literatur:

- GUDERIAN, P.: *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte*. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik. Berlin 2007.

Abbildungsnachweis:

- Abb. 4: <http://www.bn-hof.de/~didactronic/Farbcodierung/prisma0.gif>
- Abb. 6: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Rainbow1.png>
- Abb. 7: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph07_g8/umwelt_technik/03regenbogen/regenbogen_h.gif
- Abb. 8: <http://climate.met.psu.edu/data/frost/images/rainbow.jpg>
- Abb. 17: http://www.wdrmaus.de/sachgeschichten/kaleidoskop/bilder/02_9.jpg
- Abb. 22: <http://img3.musiciansfriend.com/dbase/pics/products/4/1/5/258415.jpg>
- Abb. 23: Kahlert, Joachim; Demuth, Reinhard: *Wir experimentieren in der Grundschule – Band 2*. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Köln 2007, S. 158, Abb. 4.

9.2. Schülerarbeitsblätter

Vorschläge für Schülerarbeitsblätter

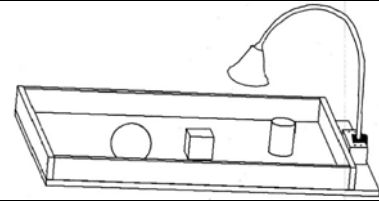
Inhalt

Name der Station	Seite
Schatten 1	118
Schatten 2	119
Kinorad	120
Scheibe oder Tunnel?	121
Welches ist größer?	122
Licht mischen	123
Farbschlucker	124
Weißes Licht - oder nicht?	125
Klappspiegel 1	126
Klappspiegel 2	127
Klappspiegel 3	128
Begehbares Kaleidoskop	129
Klangrohre	130
Klingende Saite 1	131
Klingende Saite 2	132
Geräusche im Holz	133
Richtungen hören	134

Name:

Datum:

Schatten 1



- 1) Schalte die Lampe ein.
- 2) Lege verschiedene Gegenstände vor die Lampe und beobachte ihre Schatten.

Welcher Schatten gefällt dir am besten? Male ihn!

- 3) Nimm eine Kugel und einen Würfel und lege sie ins Licht.

Kann man am Schatten erkennen, welche Form der Gegenstand hat?

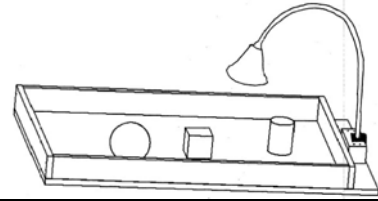
- 4) Nimm einen blauen und einen roten Gegenstand und lege sie ins Licht.

Kann man am Schatten erkennen, welche Farbe der Gegenstand hat?

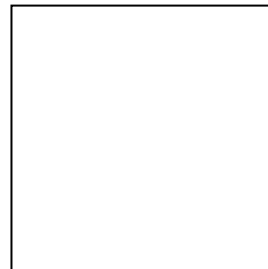
Name:

Datum:

Schatten 2



- 1) Schalte die Lampe ein.
- 2) Lege dieses Blatt auf das Brett.
- 3) Nimm den Würfel und lege ihn in das Quadrat.
- 4) Fahre mit deinem Stift den Rand des Schattens nach, den der Würfel wirft.



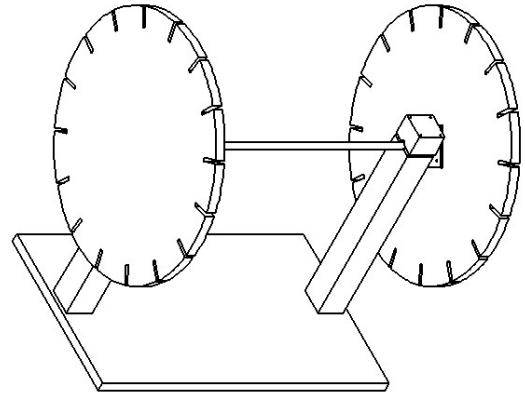
- 5) Bewege nun die Lampe und den Würfel.

Wann wird der Schatten am größten?

Name:

Datum:

Kinorad



1. Schaue durch einen Schlitz und drehe das Rad langsam an.

Was siehst du?

2. Jetzt drehe das Rad immer schneller.

Was passiert?

3. Halte das Rad an und betrachte die einzelnen Bilder. Was ändert sich von Bild zu Bild?

Name:

Datum:

Scheibe oder Tunnel?



1. Drehe die Scheibe langsam an und beobachte sie dabei genau.

Was fällt dir auf?

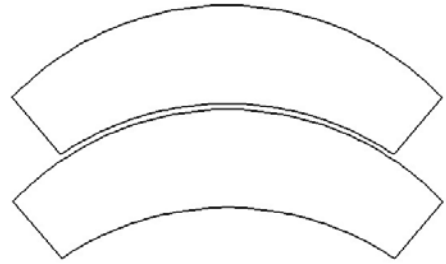
2. Was passiert, wenn du die Scheibe anders herum drehst?

3. Was siehst du, wenn du die Scheibe schnell drehst?

Name:

Datum:

Welches ist größer?



1) Lege die beiden Holzstücke nebeneinander.

Welches sieht größer aus?

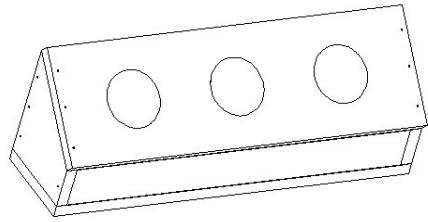
2) Nun lege die Holzstücke übereinander.

3) Kannst du dir das erklären?

Name:

Datum:

Licht mischen



1) Welche Farben haben die drei Lampen?

2) Schalte nun immer zwei Lampen gleichzeitig an.

Kannst du so weitere Farben sehen? Welche?

3) Welche Lampen musst du an machen, um einen gelben Fleck zu sehen?

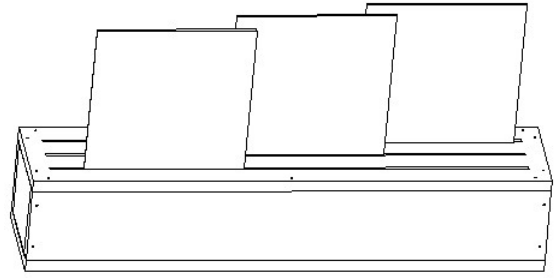
4) Was passiert, wenn alle drei Lampen gleichzeitig leuchten?

Male, was du siehst!

Name:

Datum:

Farbschlucker



1. Welche Farben haben die drei Scheiben? Wenn du den Namen der Farbe nicht weißt, schaue in deinem Wasserfarbkasten nach!

2. Welche Farben siehst du, wenn du je zwei Scheiben voreinander schiebst? Male die Kästen in den richtigen Farben aus.

und ergibt .

und ergibt .

und ergibt .

3. Was siehst du, wenn du alle drei Scheiben voreinander schiebst?

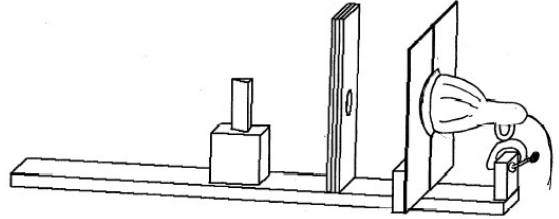
4. Weißes Licht besteht aus Licht aller Farben. Jede bunte Scheibe „verschluckt“ ein paar der Farben.

Was passiert mit dem Licht, wenn alle Scheiben voreinander stehen?

Name:

Datum:

Weißes Licht - oder nicht?



1. Drehe langsam das Prisma und beobachte dabei, was auf der Wand passiert. Was siehst du?

2. Male die Farben in der richtigen Reihenfolge ab!

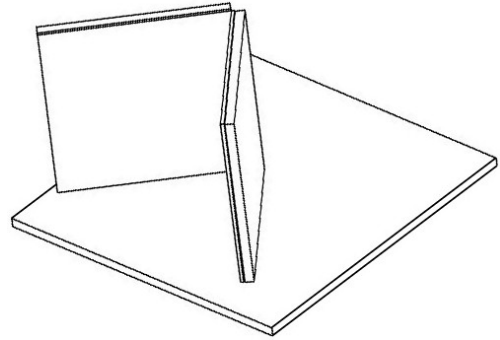
A large, empty rectangular box intended for the student to draw the color spectrum in the correct order.

3. Was passiert mit dem weißen Licht?

Name:

Datum:

Klappspiegel 1



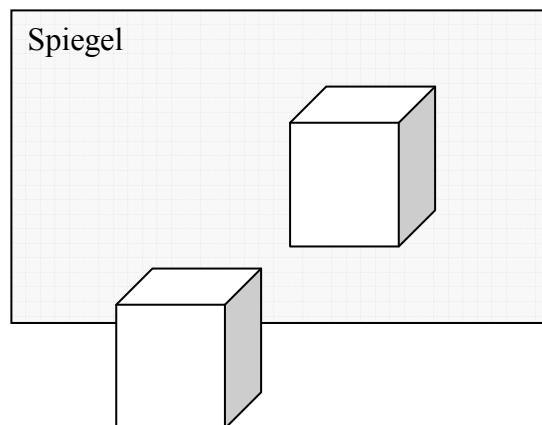
1. Klappe den Spiegel ganz auf, sodass beide Spiegelhälften auf einer Linie liegen:

von oben:



2. Lege einen Würfel vor den Spiegel.

Zeichne ein, wo du wie viele Punkte siehst:



3. Wo siehst du die obere Seite des Würfels im Spiegel?

4. Wo siehst du die rechte Seite des Würfels im Spiegel?

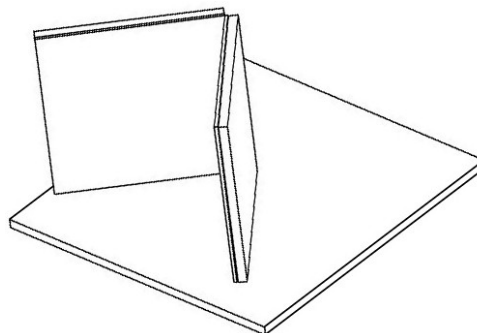
5. Wo siehst du die von dir abgewandte Seite des Würfels im Spiegel?

6. Was vertauscht der Spiegel?

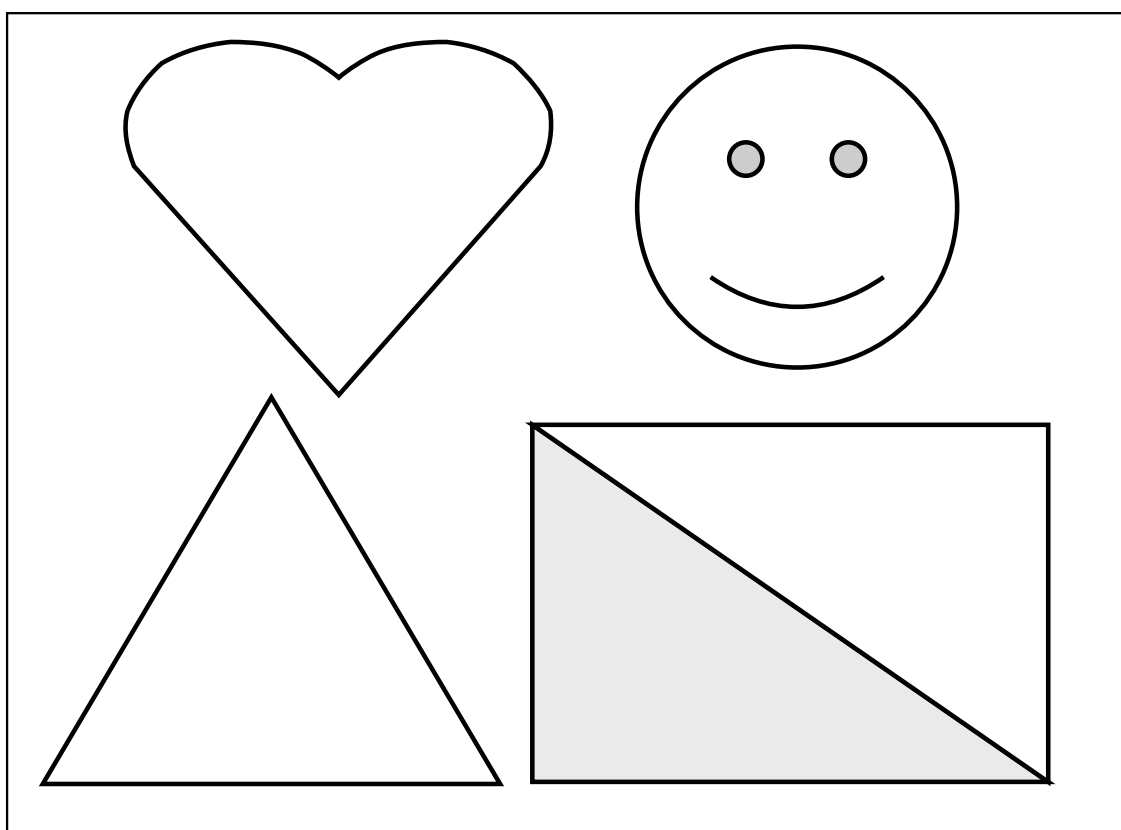
Name:

Datum:

Klappspiegel 2



1. Male die Bilder auf diesem Arbeitsblatt bunt an. Schneide sie aus.

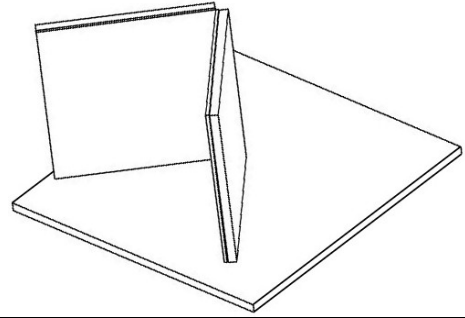


2. Weiter geht es auf dem Blatt „Klappspiegel 3“!

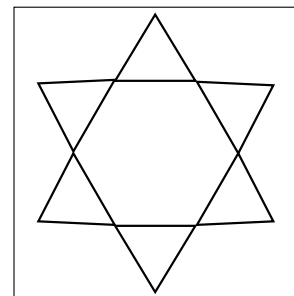
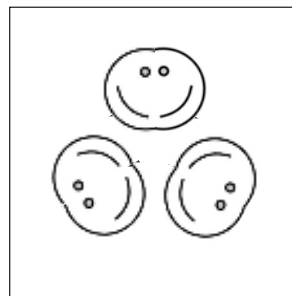
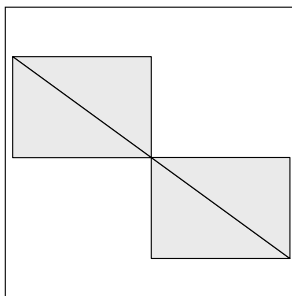
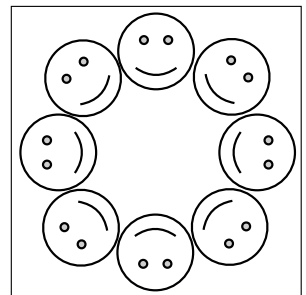
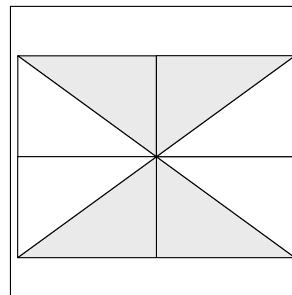
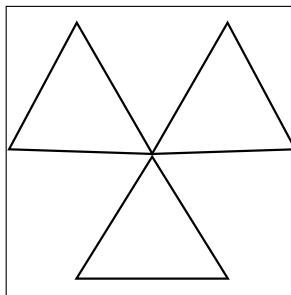
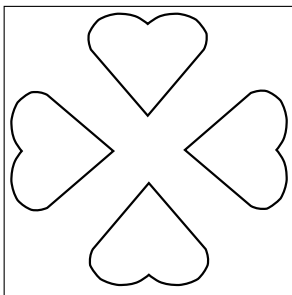
Name:

Datum:

Klappspiegel 3

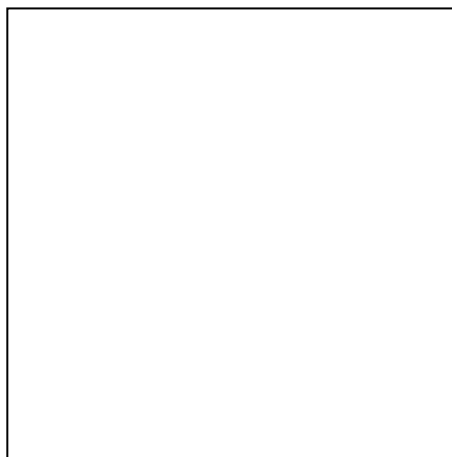


3. Lege immer eines deiner Bilder auf den Tisch und versuche mit dem Spiegel diese Muster zu erzeugen:



4. Erfinde eigene Muster!

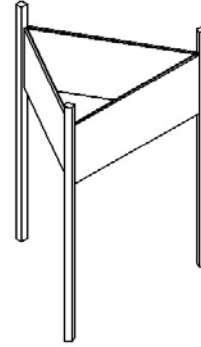
Male dein schönstes Muster.



Name:

Datum:

Begehbares Kaleidoskop



1. Stelle dich in die Mitte des Kaleidoskops.
2. Kannst du zählen, wie oft du dich siehst?

3. Warum siehst du dich so oft?

4. Was sieht man, wenn man in ein kleines Kaleidoskop schaut?

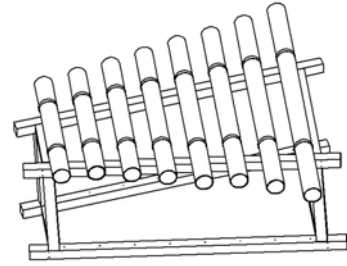
Male ein Bild davon!

A large, empty rectangular box intended for the student to draw a picture of what they see through a small kaleidoscope.

Name:

Datum:

Klangrohre



1. Schlage verschiedene Rohre an.

Bei welchem Rohr hörst du den höchsten Ton?

2. Berühre ein Rohr, während du es anschlägst.

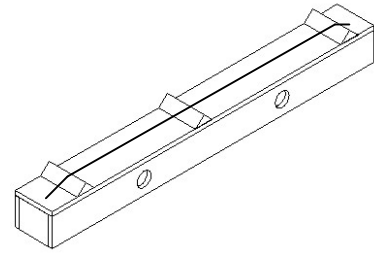
Was passiert?

3. Kannst du auf den Rohren ein Lied spielen? Notiere die Reihenfolge, in der du die Rohre anschlägst.

Name:

Datum:

Klingende Saite 1



1. Schiebe das Holzstück ganz an den rechten Rand.

Jetzt zupfe an der Saite links vom Holzstück.

Was hörst du?

Was siehst du?

2. Schiebe das Holzstück weiter nach links und zupfe wieder links vom Holzstück an der Saite.

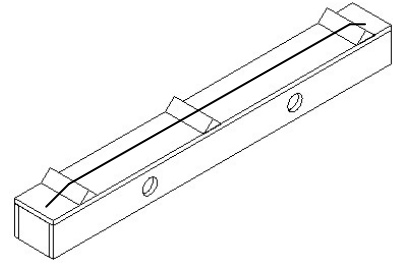
Hat sich etwas verändert?

3. Wie kannst du verschieden hohe Töne erzeugen?

Name:

Datum:

Klingende Saite 2



4. Wie kannst du einen besonders lauten Ton hervorrufen? Wie einen besonders leisen?

5. Wie sieht die Saite aus, wenn du einen sehr lauten Ton erzeugst?

6. Halte die Saite fest, nachdem du sie angezupft hast.

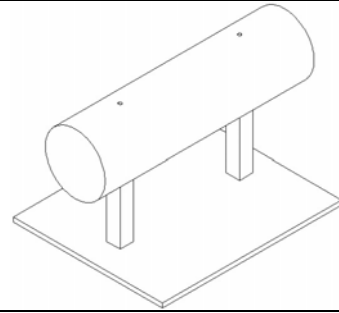
Was passiert?

7. Was glaubst du, woran das liegt?

Name:

Datum:

Geräusche im Holz



Dein Partner und du stehen einander gegenüber. Jeder von euch steht an einer der Seiten, an denen der Stamm abgesägt wurde.

1. Dein Partner kratzt nun mit dem Fingernagel an der abgesägten Seite des Stamms.

Hörst du etwas?

2. Drücke dein Ohr direkt an den Baumstamm.

Dein Partner kratzt wieder mit dem Fingernagel am Stamm.

Was hörst du?

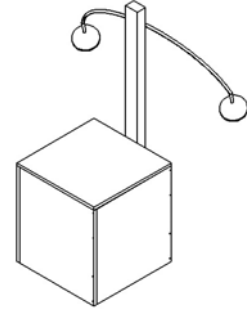
3. Wie ist das Geräusch bis in dein Ohr gekommen?

4. Tauscht die Rollen: Du kratzt und dein Partner hört.

Name:

Datum:

Richtungen hören



1. Setze dich auf die Kiste und halte auf jedes Ohr einen Trichter.
2. Dein Partner klopft vorsichtig mit einem Bleistift weiter rechts oder links oder in der Mitte auf den Schlauch.
3. Von wo hörst du das Klopfen: Von rechts, von links oder aus der Mitte?
4. Dein Partner notiert, wo er geklopft hat und von wo du das Klopfen gehört hast:

	Geklopft:	Gehört:
Beispiel	Mitte	links
1. Versuch		
2. Versuch		
3. Versuch		
4. Versuch		
5. Versuch		

5. Schaut die Tabelle an. Wie oft hast du richtig geraten?

6. Könnt ihr herausfinden, wie weit entfernt von der Mitte dein Partner klopfen muss, damit du gerade noch hören kannst, aus welcher Richtung das Klopfen kommt?

9.3. Texte an den Station

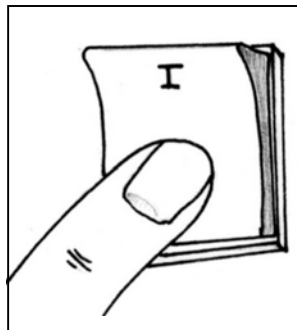
Die Texte wurden für den Einsatz in der Schule anders als hier beidseitig auf hellgelbes Papier gedruckt und zusätzlich laminiert.

Licht mischen

Schalte die Lampen ein und aus: Mal nur eine, mal zwei, oder alle drei.

Was siehst du?

Kannst du gelbes Licht mischen?



Licht mischen

Wie viele verschiedene Farben kannst du mischen?

Was passiert, wenn du mit deinen Wasserfarben Rot und Grün mischst?

Licht mischen ist anders als das Mischen von Wasserfarben.

Bei Licht sehen

- Rot und Grün zusammen gelb ●,
- Rot und Blau zusammen pink ●
- und Blau und Grün zusammen türkis ● aus.

Rot, Grün und Blau zusammen ergeben Weiß.

Schatten

Bewege die Gegenstände und die Lampe vorsichtig.

Haben alle Gegenstände einen Schatten?

Wann sind die Schatten am größten?

Schatten

Schaffst du es, dass der Schatten auf der anderen Seite des Gegenstands auftaucht?

Wie entsteht ein Schatten?

Schatten entstehen, wenn Licht auf einen Gegenstand trifft.

Weil es nicht durch den Gegenstand durch kann, kommt hinter dem Gegenstand kein Licht an.

Deswegen ist der Schatten immer auf der Seite, auf der die Lampe nicht ist.

Nur durchsichtige Gegenstände, zum Beispiel Gläser, haben fast keinen Schatten: Durch sie kommt das Licht durch!

Der Schatten ist besonders groß, wenn der Gegenstand sehr nah an der Lampe steht.

Farbschlucker

Schiebe die Scheiben hin und her.
Beobachte sie dabei genau.

Was passiert, wenn zwei Scheiben voreinander stehen?

Und was passiert, wenn alle drei Scheiben voreinander stehen?

Farbschlucker

Wo entstehen beim Mischen die gleichen Farben?

Weißes Licht besteht aus vielen Farben, z.B. Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett.

Jede der bunten Scheiben verschluckt ein paar der Farben: Das Licht ist nicht mehr weiß, wenn es durch die Scheibe hindurch kommt.

Wenn zwei Scheiben hintereinander stehen, werden von beiden Scheiben verschiedene Farben verschluckt.

Stehen drei Scheiben hintereinander, kommt gar kein Licht mehr durch. Die Scheiben sehen schwarz aus.

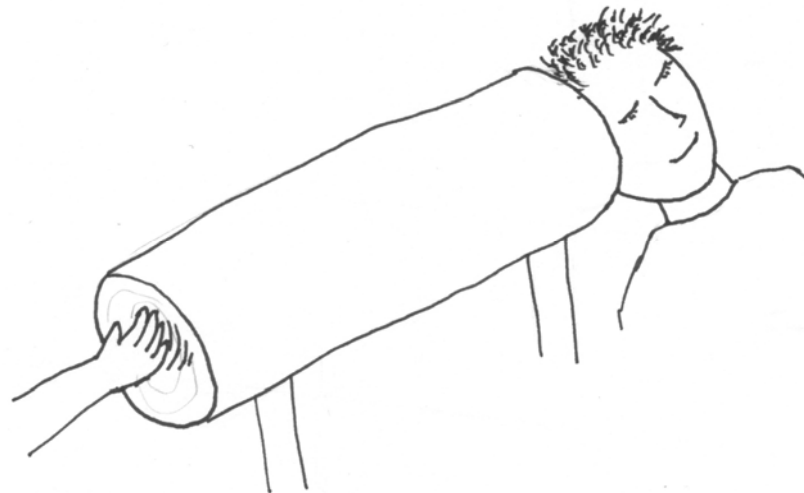
Die gleichen Mischfarben entstehen, wenn du Wasserfarben mischst!

Geräusche im Holz

Halte dein Ohr an den Baumstamm.

Lasse einen Mitschüler an der anderen Seite des Stammes kratzen.

Hörst du etwas?



Geräusche im Holz

Wie kommt das Geräusch an dein Ohr?

Ihr könnt statt zu kratzen auch eine Armbanduhr an die andere Seite halten!

Geräusche können auch durch Holz weitergeleitet werden.

Sie kommen im Holz sogar viel schneller voran als in Luft.

Um 10 Kilometer zurückzulegen, braucht ein Geräusch

- in Luft etwa 30 Sekunden
- in Holz etwa 2 Sekunden.

Welches ist größer?

Lege die Holzstücke zuerst **aneinander**.

Welches ist größer?

Jetzt lege sie **aufeinander**.

Welches ist größer?

Welches ist größer?

Lege die Holzstücke wieder aneinander, dann vertausche sie.

Ändert sich etwas?

Die beiden Holzstücke sind gleich groß.

Bei jedem einzelnen Holzstück ist aber eine gebogene Kante länger als die andere.

Wenn du die beiden Holzstücke aneinander legst, vergleiche deine Augen die beiden Kanten, die sich berühren.

Weil eine der Kanten länger ist, glaubt dein Gehirn automatisch, dass das ganze Holzstück größer sein muss.

Liegen die Holzstücke aufeinander, kannst du leicht sehen, dass sie gleich groß sind.

Kaleidoskop

Wie oft kannst du dich sehen?

Kaleidoskop

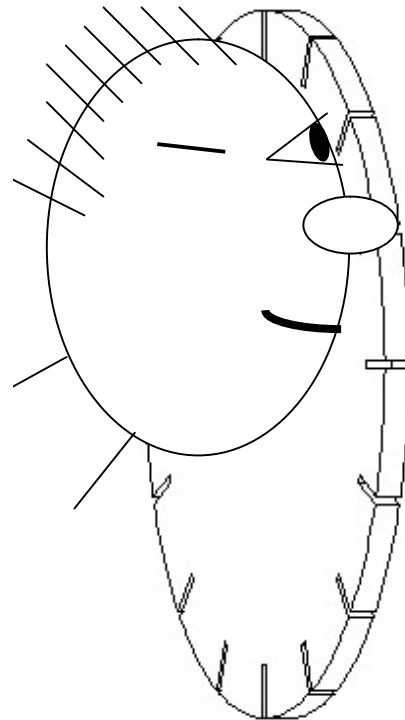
Warum siehst du dich so oft?

Im Kaleidoskop spiegelst du dich nicht nur einmal.
Du spiegelst dich in dem Spiegel, vor dem du stehst. Dann
spiegeln die anderen Spiegel wieder dein Spiegelbild. Und sie
spiegeln das Spiegelbild von deinem Spiegelbild.
Und immer so weiter.
Wenn du in das Kaleidoskop schaust, blickst du in die
Unendlichkeit!

Kinorad

Schaue durch einen Schlitz auf das Bild gegenüber.
Drehe das Rad immer schneller an.

Was passiert mit den Bildern?



Kinorad

Was passiert, wenn du die Scheibe anders herum drehst?

Funktioniert das Kinorad auch, wenn du nicht durch einen Schlitz, sondern außen vorbei auf die Bilder guckst?

Wenn du das Rad schnell genug drehst, kann dein Auge die Bilder nicht mehr einzeln sehen. Sie verschmelzen zu einer Bewegung.

Die einzelnen Bilder dürfen sich immer nur ein kleines bisschen voneinander unterscheiden, sonst sieht die Bewegung zu ruckartig aus.

Wenn du nicht durch einen Schlitz schaust, verschwimmen die Bilder zu einem Streifen. Du kannst den kleinen Film nicht mehr erkennen.

Klangrohre

Schlage die Rohre der Reihe nach an (entweder mit dem Stab oder mit der flachen Hand gegen das Rohrende).

Welches Rohr klingt am tiefsten?

Welcher Ton gefällt dir am besten?

Schlage nacheinander die Rohre mit diesen Nummern an:

① ② ③ ④ ⑤ ⑤

⑥ ⑥ ⑥ ⑥ ⑤

⑥ ⑥ ⑥ ⑥ ⑤

④ ④ ④ ④ ③ ③

② ② ② ② ①

Erkennst du das Lied?

Klangrohre

Was passiert, wenn du ein Rohr festhältst, während du es anschlägst?

Wenn du ein Rohr anschlägst, hörst du einen Ton.

Je länger das Rohr ist, desto tiefer ist der Ton.

Der Ton entsteht, weil sich das Rohr bewegt, nachdem du es angeschlagen hast. Es schwingt ganz leicht, so leicht, dass du es fast nicht sehen oder fühlen kannst.

Wenn du das Rohr festhältst, kann es sich kaum bewegen und es kann beinahe kein Ton entstehen.

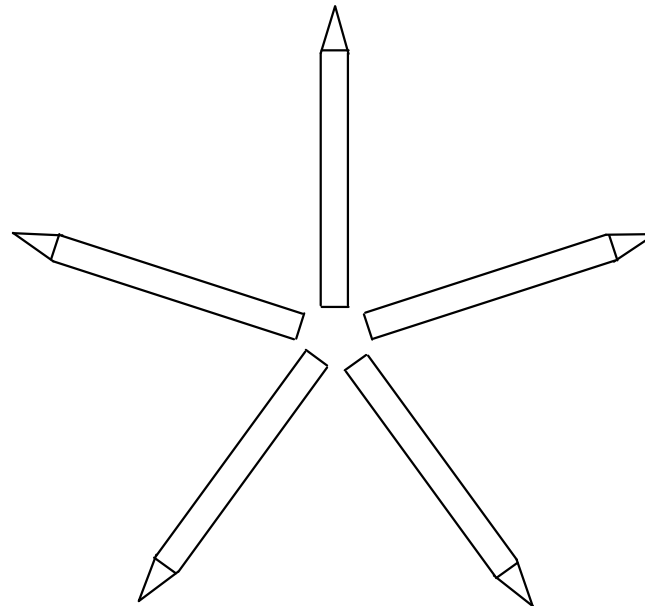
Das Lied auf der anderen Seite ist übrigens „Alle meine Entchen“.

Klappspiegel

Schaue in den Spiegel und klappe ihn langsam auf und zu.

Wann siehst du die meisten Spiegelbilder?

Lege einen Stift vor den Spiegel und versuche, dieses Muster zu erzeugen:



Klappspiegel

Klappe die beiden Spiegel so, dass sie im **rechten Winkel** zueinander stehen!
Du siehst dich jetzt so, wie andere dich sehen.

Wenn man die beiden Spiegel zusammen klappt, spiegeln sich Dinge, die vor dem Spiegel sind, nicht nur einmal:

Ihre Spiegelbilder werden von dem anderen Spiegel noch mal gespiegelt!

Je enger die Spiegel zusammen kommen, desto mehr Spiegelbilder sieht man.

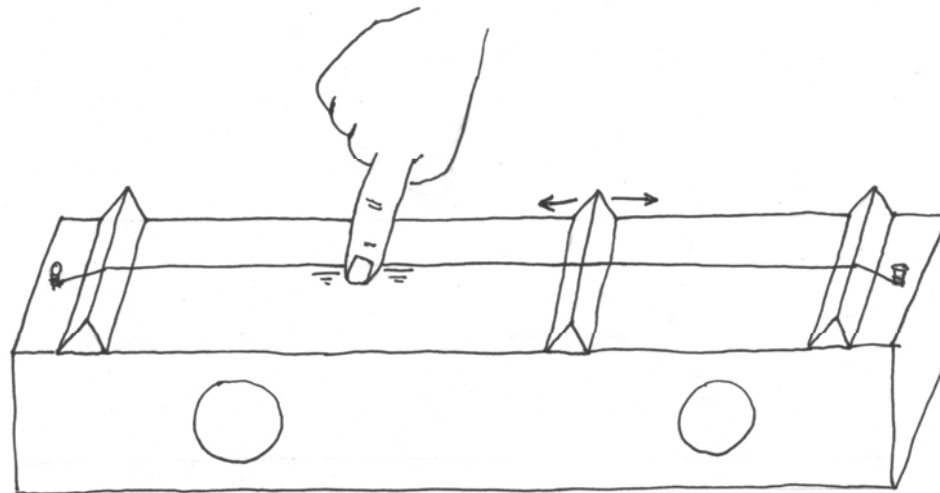
Das sind dann die Spiegelbilder von den Spiegelbildern von den Spiegelbildern und so weiter.

Klingende Saite

Zupfe die Saite an.

Schiebe den mittleren Keil weiter nach rechts oder links.
Zupfe erneut.

Wie kannst du einen besonders hohen Ton erzeugen?



Klingende Saite

Wie kannst du einen besonders lauten Ton erzeugen?
Wie sieht die Saite dabei aus?

Wenn du die Saite anzupfst, entsteht ein Ton. Dies geht nur, weil die Saite sich hin- und her bewegen kann: Sie schwingt.

Ein lauter Ton entsteht, wenn die Saite sich sehr stark bewegt.

Dazu musst du die Saite weit auslenken, bevor du sie loslässt.

Wie hoch oder tief der Ton wird, bestimmst du mit dem mittleren Keil: Der Ton ist dann besonders hoch, wenn der Abstand zwischen mittlerem und äußerem Keil besonders klein ist.

Weißes Licht - oder nicht?

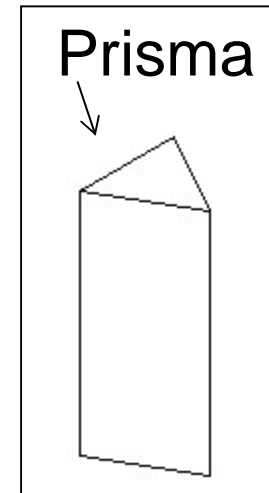
Schalte die Lampe ein und halte deine Hand hinter das Blech.

Welche Farbe hat das Licht?

Drehe langsam das Prisma.

Was siehst du auf der Wand hinter dem Prisma?

VORSICHT:
Das Blech wird heiß!
Nur das Prisma anfassen!



Weißes Licht - oder nicht?

An was erinnern dich diese Farben?

Weißes Licht besteht aus verschiedenen Farben, z.B. Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett.

Diese Farben nennt man „Spektralfarben“.

Im Prisma wird das weiße Licht in die einzelnen Farben zerlegt, man kann sie hinter dem Prisma auf der Wand sehen.

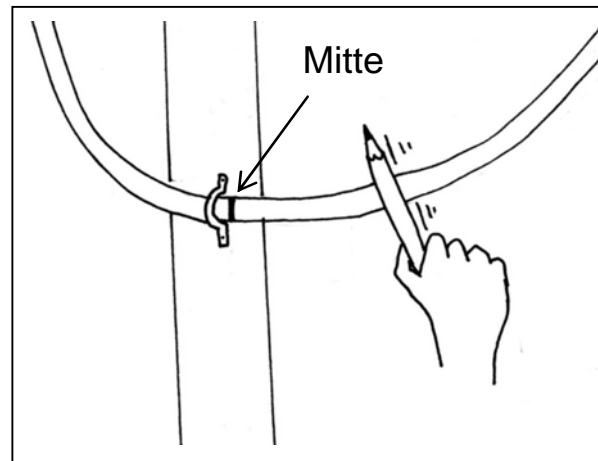
Etwas Ähnliches kannst du auch in der Natur beobachten: Bei einem Regenbogen wird das weiße Sonnenlicht von vielen kleinen Regentropfen in die einzelnen Farben zerlegt.

Richtungen hören

Setze dich auf die Kiste und halte an jedes Ohr einen Trichter.

Jetzt lass deinen Partner vorsichtig mit einem Bleistift auf den Schlauch klopfen.

Aus welcher Richtung hörst du das Klopfen?



Richtungen hören

Hast du richtig geraten?

Könnt ihr herausfinden, wie weit von der Mitte entfernt dein Partner klopfen muss, damit du gerade noch richtig rätst?

Unsere Ohren können sehr genau unterscheiden, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt.

Das funktioniert, weil das Geräusch bei einem Ohr ein kleines bisschen früher ankommt als beim anderen.

Dieses Ohr muss dann näher an der Geräuschquelle sein: Der Weg zum Ohr ist kürzer und das Geräusch darum früher da.

Scheibe oder Tunnel?

Drehe die Scheibe erst langsam und dann schneller.
Schaue sie dabei genau an.

Was siehst du?

Scheibe oder Tunnel?

Drehe die Scheibe jetzt andersrum.
Ändert sich etwas?

Wenn man die Scheibe in irgendeine Richtung langsam dreht, sieht es so aus, als wäre es keine flache Scheibe mehr: Man glaubt, in einen Tunnel oder Trichter zu gucken!

Die eigentlich flache Scheibe sieht plötzlich räumlich, also dreidimensional aus.

Wieso das passiert, wissen selbst Wissenschaftler bis heute nicht genau. Vielleicht hast du ja eine Idee?

9.4. Baupläne für die Stationen

Baupläne für die Experimentierstationen

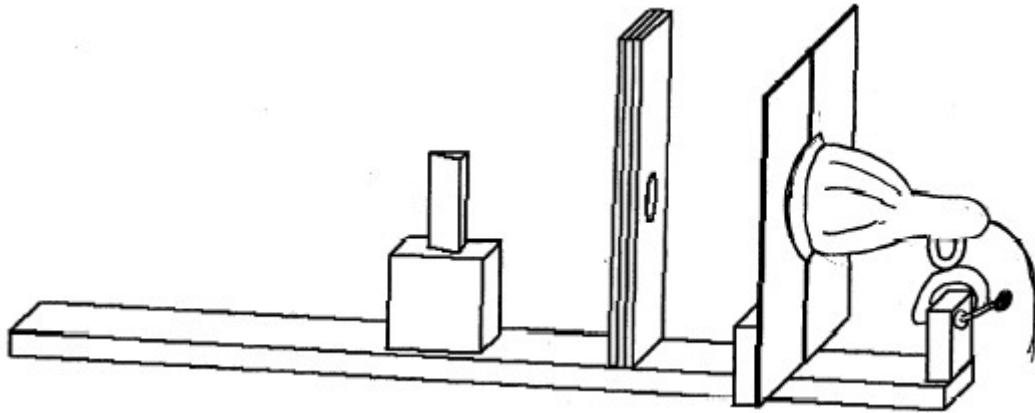
Allgemeine Hinweise	163
Bauplan für die Station „Farbschlucker“	168
Bauplan für die Station „Welches ist größer?“	173
Bauplan für die Station „Geräusche im Holz“	174
Bauplan für die Station „Kaleidoskop“	176
Bauplan für die Station „Kinorad“	179
Bauplan für die Station „Klangrohre“	183
Bauplan für die Station „Klappspiegel“	187
Bauplan für die Station „Licht mischen“	189
Bauplan für die Station „Monochord“	193
Bauplan für die Station „Richtungshören“	196
Bauplan für die Station „Schatten“	201
Bauplan für die Station „Scheibe oder Tunnel?“	204

Allgemeine Hinweise

Die folgenden Hinweise gelten für alle Baupläne und sollen helfen, den Bau der Stationen möglichst problemlos zu gestalten:

- Es wurden bei fast allen Stationen 15mm dicke Multiplexplatten und Balken mit einer Grundfläche von 45mm x 45mm verwendet. Natürlich können auch etwas dickere oder dünnere Platten bzw. Balken benutzt werden – dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Maße der anderen Platten angepasst werden.
- Für alle Schrauben vorbohren, damit das Holz nicht splittert: Dicke des Bohrers ca. 2/3 des Schraubendurchmessers, Bohrtiefe ca. 2/3 der Schraubenlänge
- Angaben zur Schraubengröße sind nur Vorschläge und können verändert werden
- Alle Kanten sorgfältig schleifen, um die Verletzungsgefahr zu verringern
- Holzverleimungen sollten je nach Kleber mindestens 15 Minuten lang gepresst werden

Bauplan für die Station „Weißes Licht – oder nicht?“



Material:

- Prisma (z.B. von Astromedia)
- Linse (Durchmesser 34mm, Brennweite ca. 10cm, z.B. von Astromedia)
- Grundplatte (siehe Skizze)
- Holzwürfel (siehe Skizze)
- Drehlager (zwei drehbar übereinander gelagerte Metallplatten, z.B. für Möbelbau)
- Blendenhalter (siehe Skizze)
- 2x Blende (siehe Skizze)
- Linsenhalter (siehe Skizze)
- Lampenhalter (siehe Skizze)
- Klemmlampe mit Glühbirne (z.B. DINGE von Ikea)
- 4 kleine L-Profile (Länge der Schenkel ca. 3cm)
- Schrauben (30 Stück ca. 3mm x 16mm)

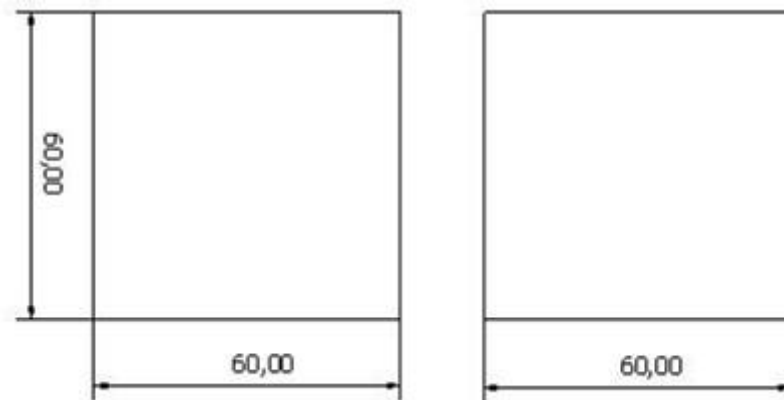
Bauanleitung:

1. Die Linse in den Linsenhalter einbauen: Dazu die Linse in das Loch des „Linsenhalter innen“ stecken und die beiden äußeren Linsenhalterteile aufleimen, ähnlich wie ein Sandwich. Die Löcher sollen dabei übereinander liegen.
2. Die beiden Blenden auf den Blendenhalter schrauben, sodass zwischen ihnen ein ca. 2mm breiter Spalt bleibt.
3. Je zwei L-Profile an den Linsen- und Blendenhalter befestigen.
4. Das Drehlager an den Holzblock schrauben.
5. Den Lampenhalter mit der Grundplatte verbinden, Lampe daran festklemmen.
6. Die Blende direkt vor der Lampe auf die Grundplatte stellen, den Linsenhalter in ca. 10cm Abstand aufstellen. Etwa 2cm dahinter den Holzblock mit dem Drehlager stellen, darauf das Prisma.

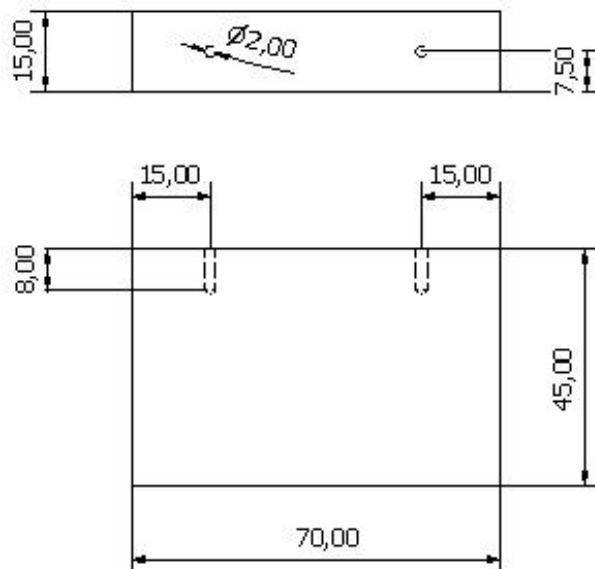
7. Die Lampe einschalten und alle Einzelteile so lange verschieben, bis die Linse den Spalt scharf abbildet und bei vorsichtigem Drehen des Prismas hinter diesem ein Spektrum erscheint. (Anordnung am besten vor eine weiße Wand stellen, sodass man das Spektrum auch sieht!)
8. Positionen der Bauteile markieren und sie dort anschrauben. Das Prisma auf den Holzblock kleben.

Skizzen der Einzelteile:

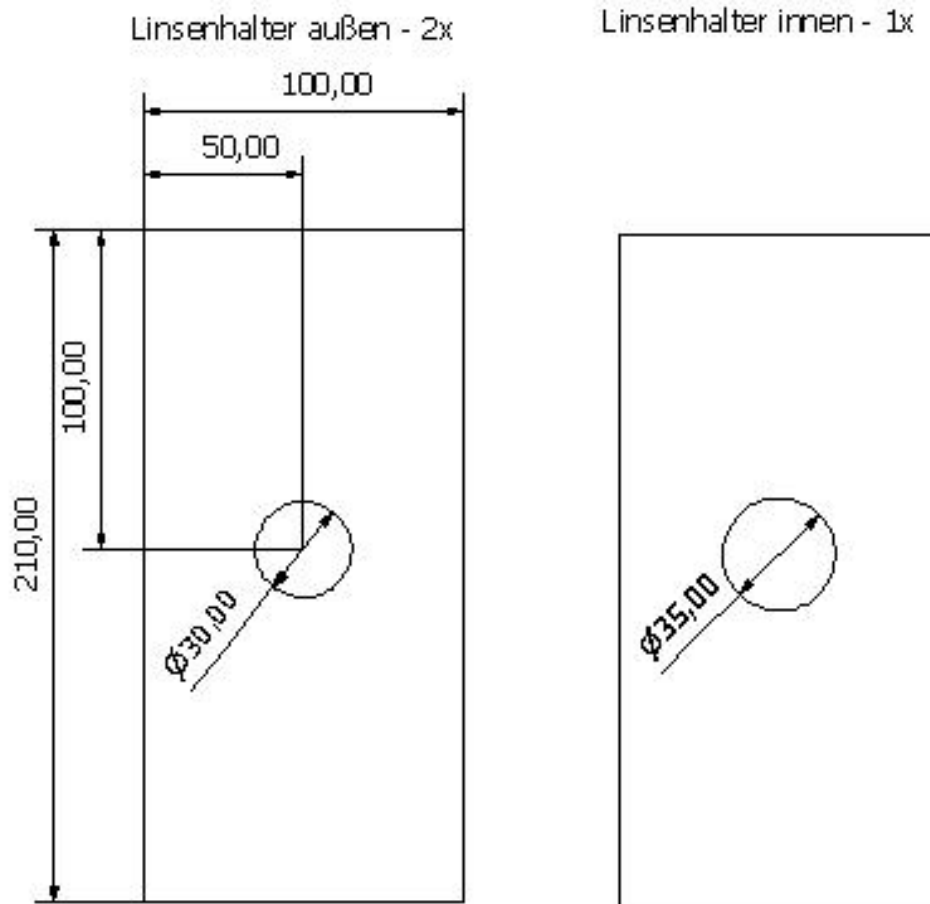
Holzwürfel:



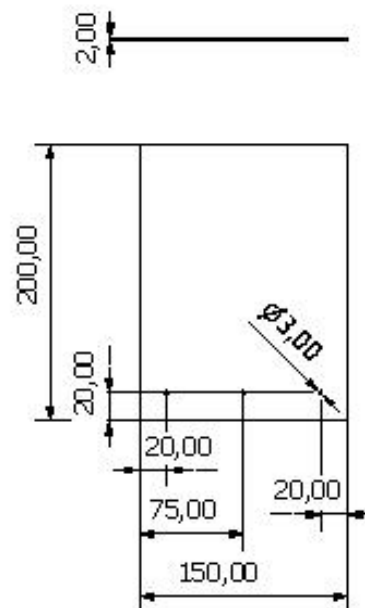
Lampenhalter:



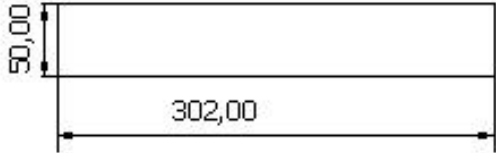
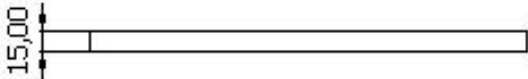
Linsenhalter:



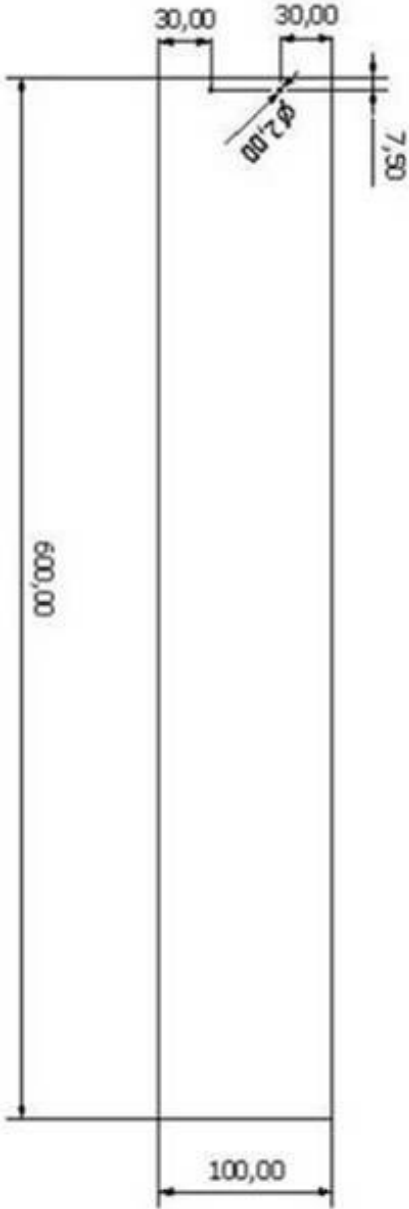
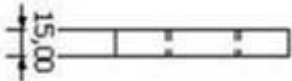
Blende:



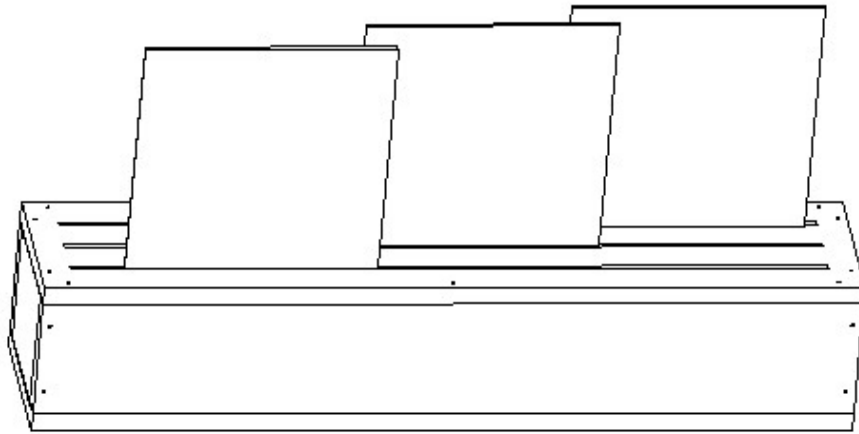
Blendenhalter:



Grundplatte:



Bauplan für die Station „Farbschlucker“

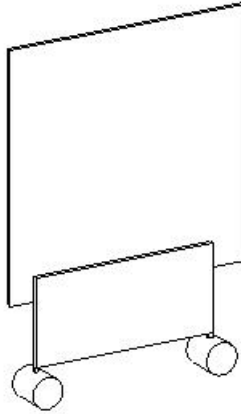


Material:

- 3 Plexiglasplatten (ca. 20cm x 20cm)
- 3 Farbfilterfolien (gelb, magenta und cyan, erhältlich im Vertrieb für Lichttechnik)
- 3x Gleiter (siehe Skizze)
- Kleber
- Schlitzplatte (siehe Skizze)
- Bodenplatte (siehe Skizze)
- 2x kurze Seite (siehe Skizze)
- 2x lange Seite (siehe Skizze)
- 6 kleine Möbelrollen (ca. 20-30mm hoch)
- Schrauben (ca. 12 je nach Rollen; 28 Stück ca. 3mm x 30mm)

Bauanleitung:

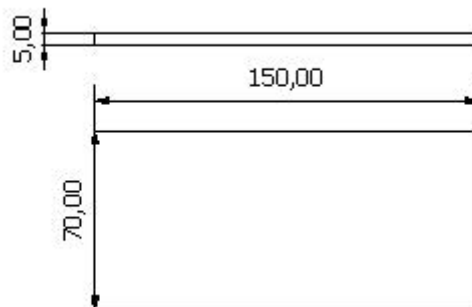
1. Die Folien auf die Plexiglasscheiben kleben und auf die gleiche Größe zurechtschneiden. Evtl. die Ränder mit durchsichtigem Klebeband schützen.
2. Je zwei Möbelrollen an einem Gleiter befestigen, sodass eine lange, schmale Seite des Gleiters nach unten zeigt (siehe Skizze).
3. Je eine Plexiglasplatte an einen Gleiter kleben (alternativ: schrauben):



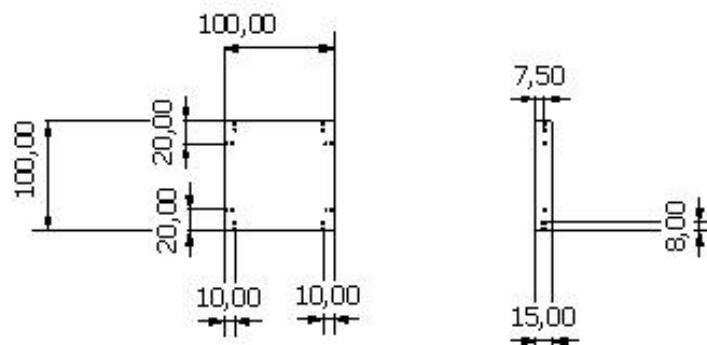
4. Bodenplatte, kurze und lange Seiten zu einer Kiste zusammenschrauben.
5. Die drei zusammengebauten Gleiter in die Kiste stellen, vorsichtig die Schlitzplatte darüber stülpen (je eine Plexiglasplatte durch einen Schlitz).
6. Die Schlitzplatte anschrauben.
7. Diese Station sollte vor einem Fenster aufgestellt werden!

Skizzen der Einzelteile:

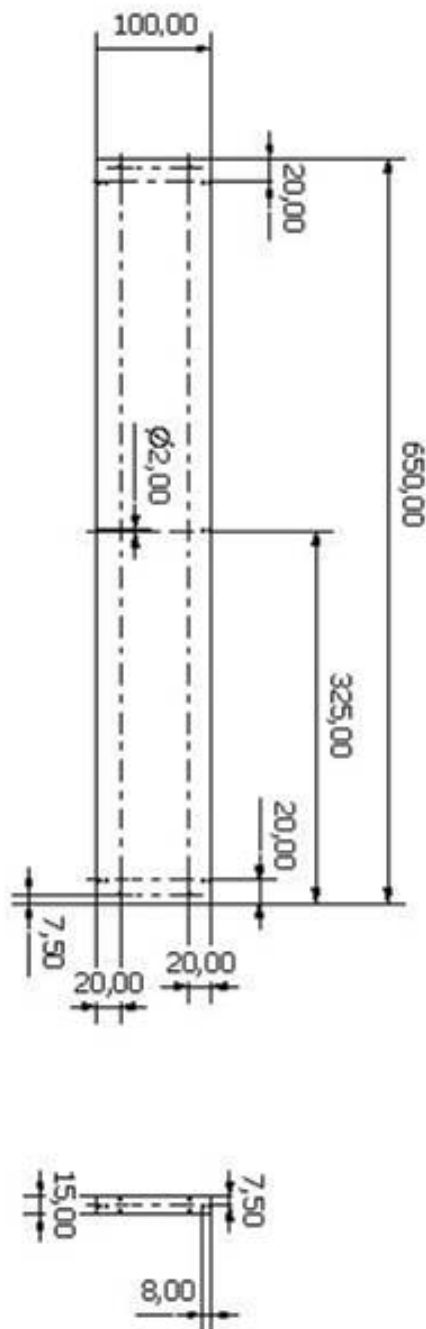
Gleiter:



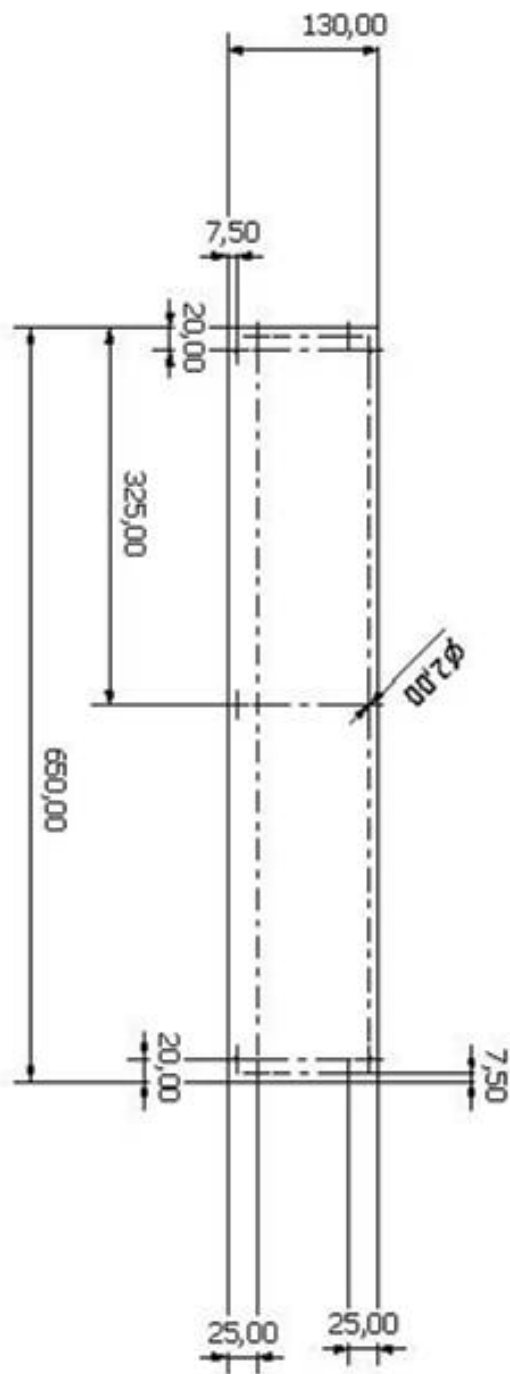
kurze Seite:



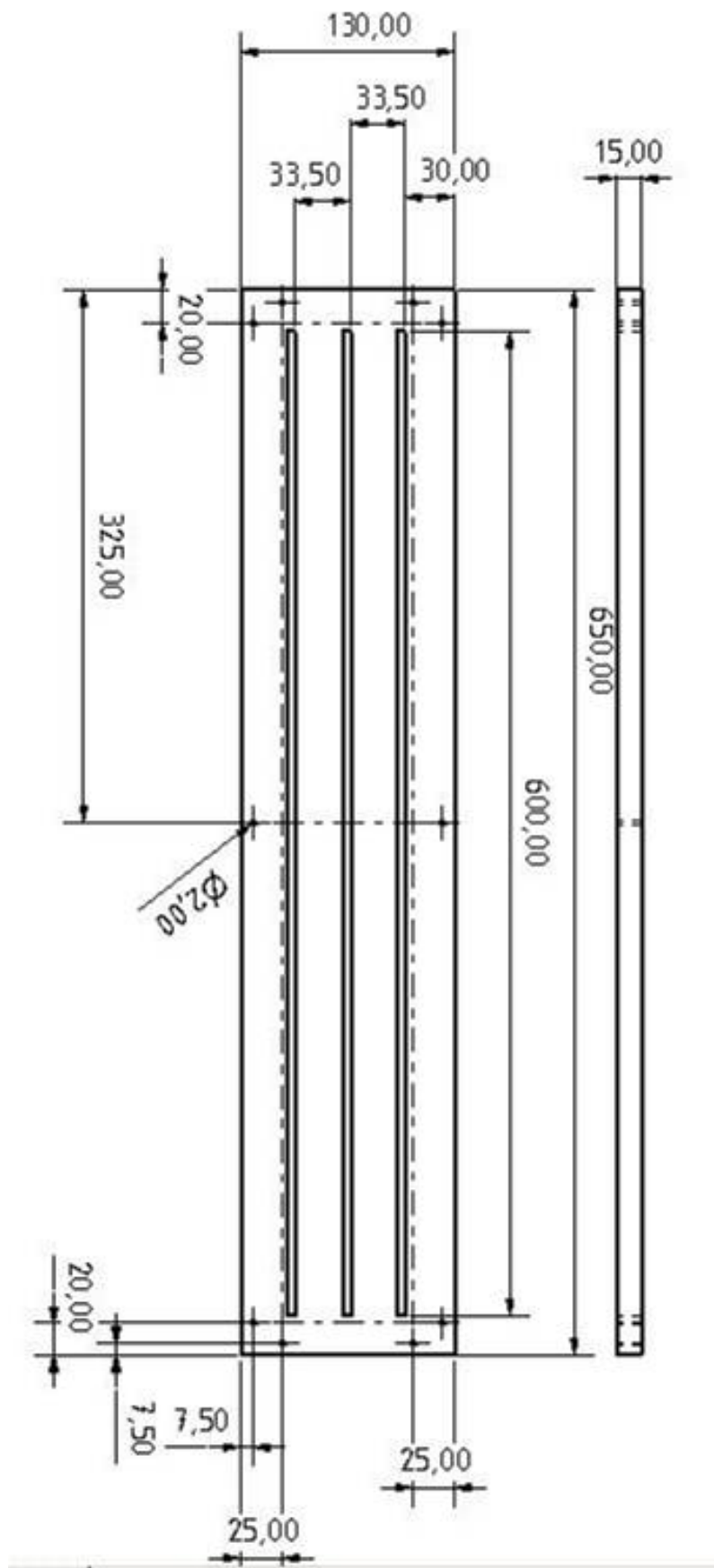
lange Seite:



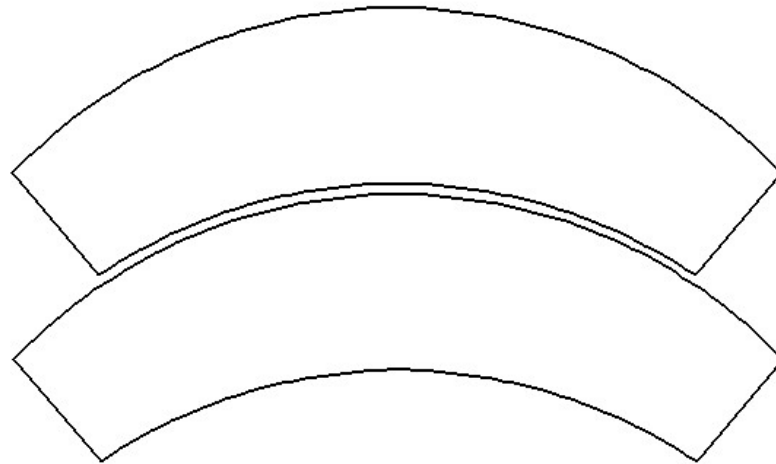
Bodenplatte:



Schlitzplatte:



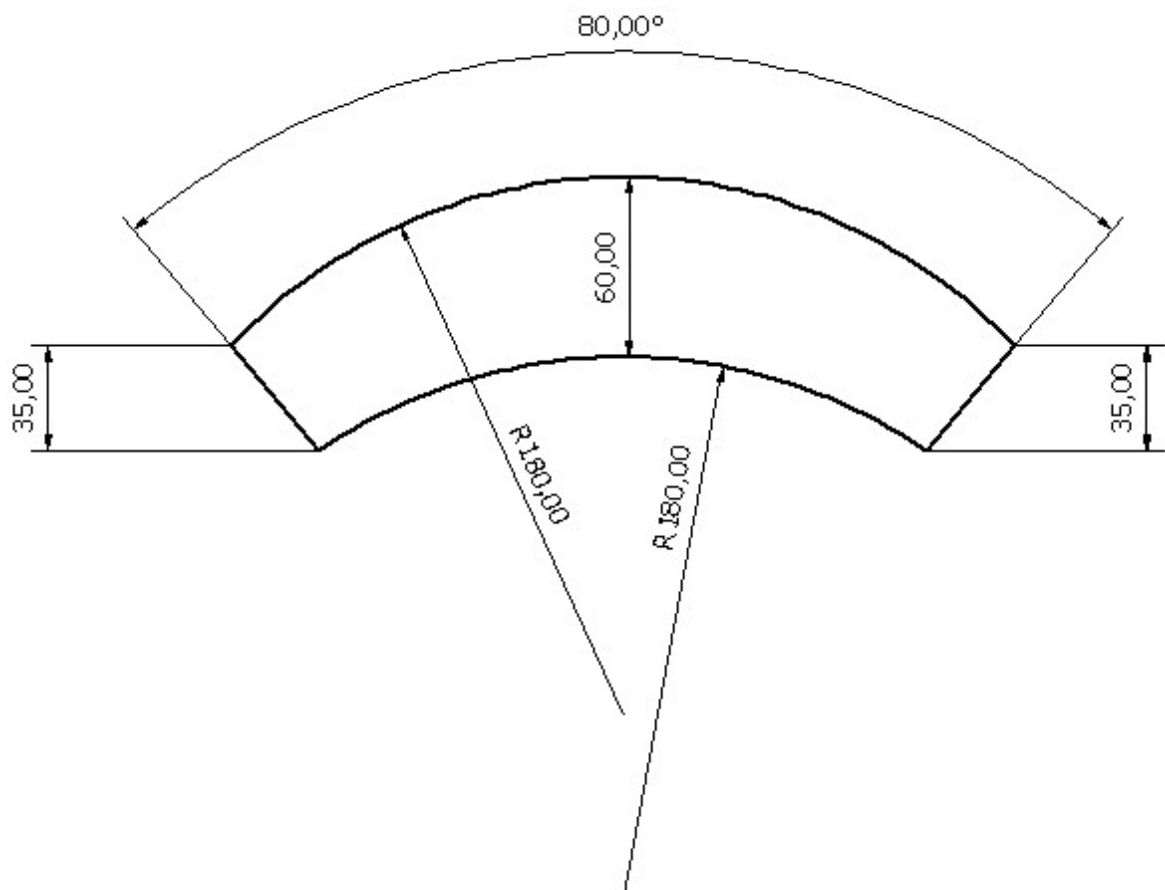
Bauplan für die Station „Welches ist größer?“



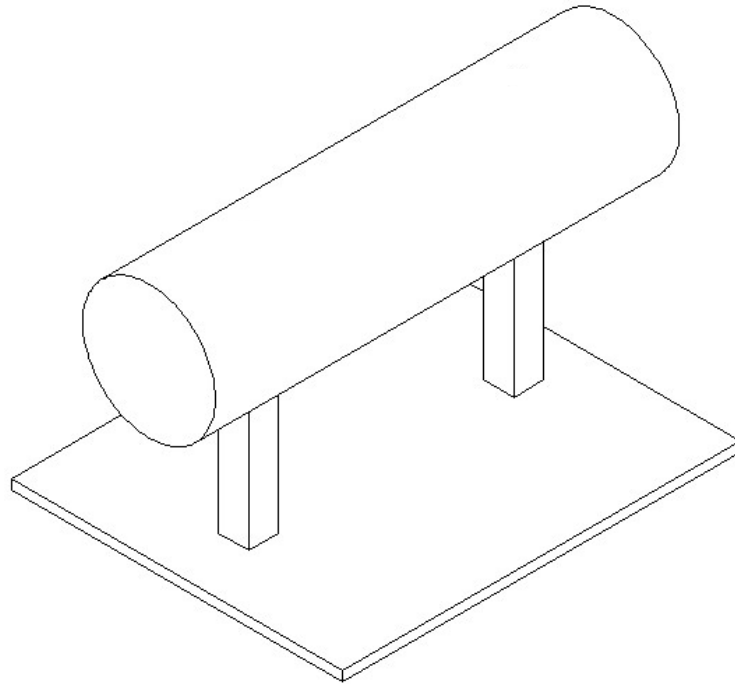
Material:

- 2 gebogene Holzstücke (siehe Skizze)

Skizze der Holzstücke:



Bauplan für die Station „Geräusche im Holz“



Material:

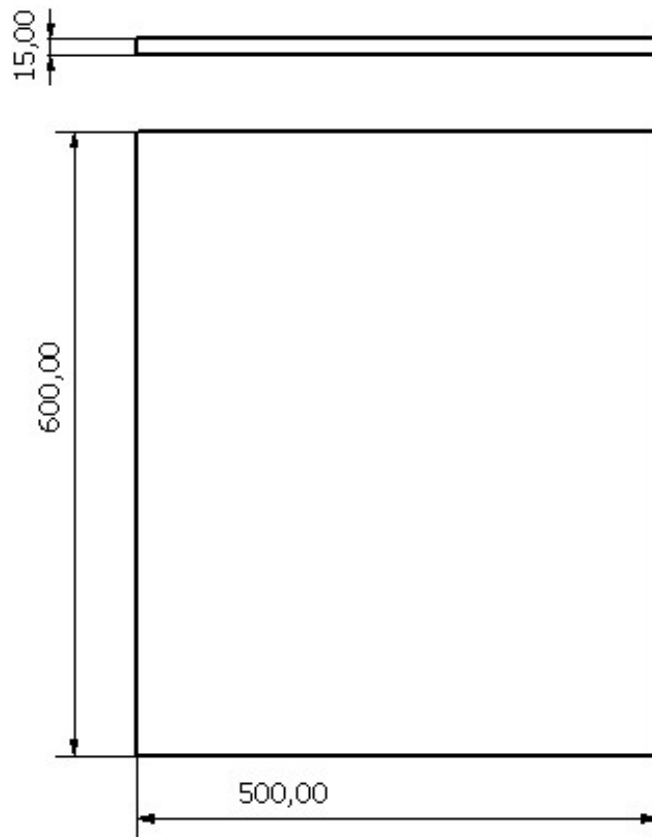
- Baumstamm (ca. 50cm lang, Durchmesser 20-30cm)
- Grundplatte (siehe Skizze)
- 2 Beine (siehe Skizze)
- 12 L-Profil (Schenkellänge ca. 2cm)

Bauanleitung:

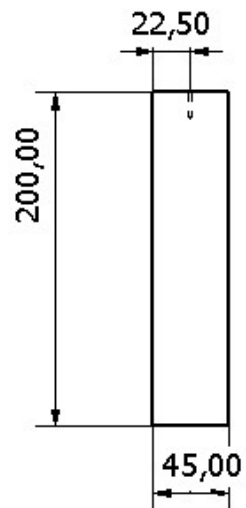
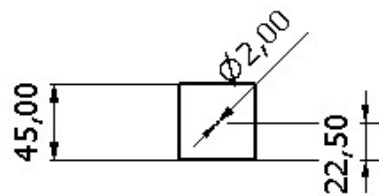
1. Jedes Bein mit 3 L-Profilen ca. 40cm voneinander entfernt am Baumstamm befestigen.
2. Mit den restlichen L-Profilen die Beine an der Grundplatte befestigen.

Skizzen der Einzelteile:

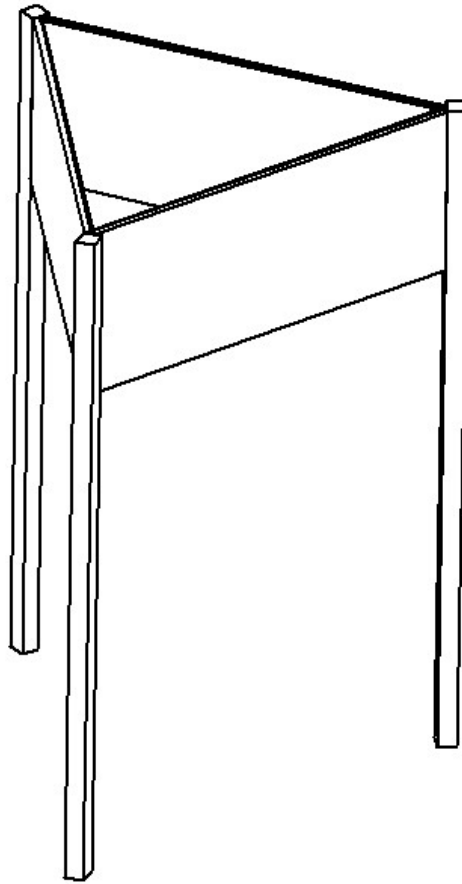
Grundplatte:



Bein:



Bauplan für die Station „Kaleidoskop“



Material:

- 3 Spiegel (40cm x 97cm, z.B. RAM von Ikea)
- 3 Beine (siehe Skizze)
- 3 Seitenwände (siehe Skizze)
- 12 Winkel (siehe Skizze) (alternativ Türscharniere verwenden)
- 120 Schrauben ca. 3,5mm x 16mm

Bauanleitung:

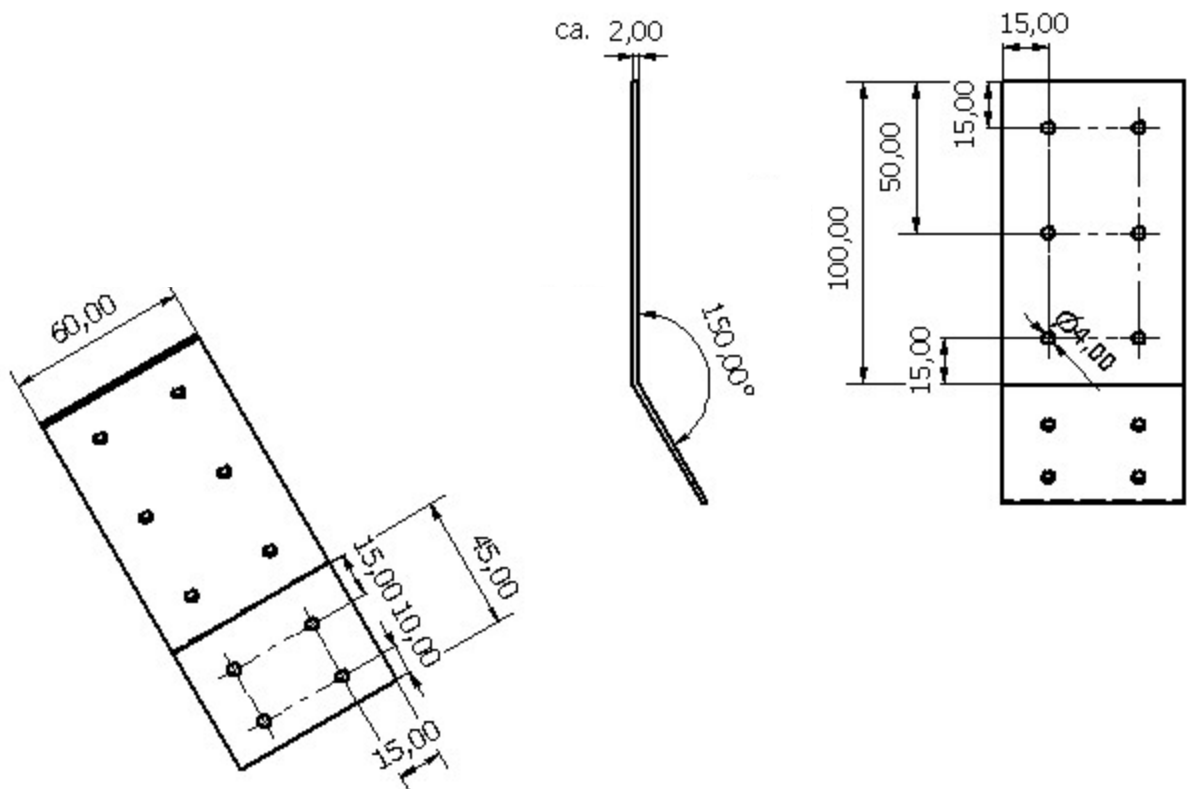
1. Spiegel mit Schrauben oder Spiegelkleber (je nachdem, ob die Spiegel gerahmt sind) an den Seitenwänden befestigen.
2. An den kurzen Seiten der Seitenwände auf der Rückseite je zwei Winkel befestigen: Die langen Schenkel werden an der Seitenwand festgeschraubt, die kurzen Schenkel stehen über (siehe Skizze).



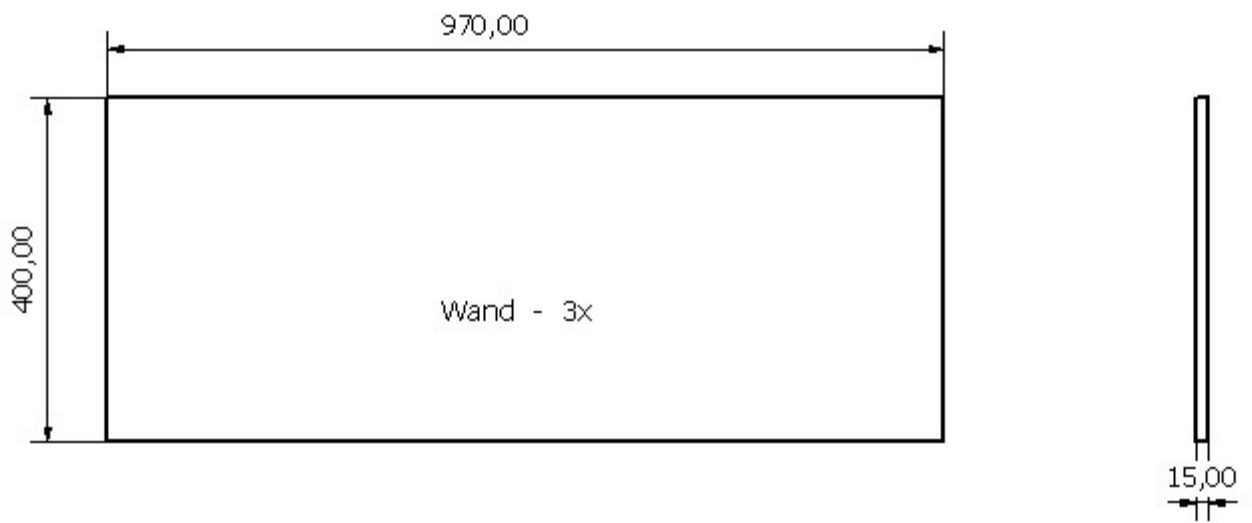
3. Die drei Seitenwände je auf eine der langen Seiten stellen, sodass die Kanten der Spiegel ein gleichseitiges Dreieck bilden.
4. Die Beine zwischen die Winkel schieben und dort festschrauben.
5. Das Kaleidoskop ist jetzt fertig – es steht nur noch auf dem Kopf.
6. Kaleidoskop umdrehen und auf die Beine stellen.

Skizzen der Einzelteile:

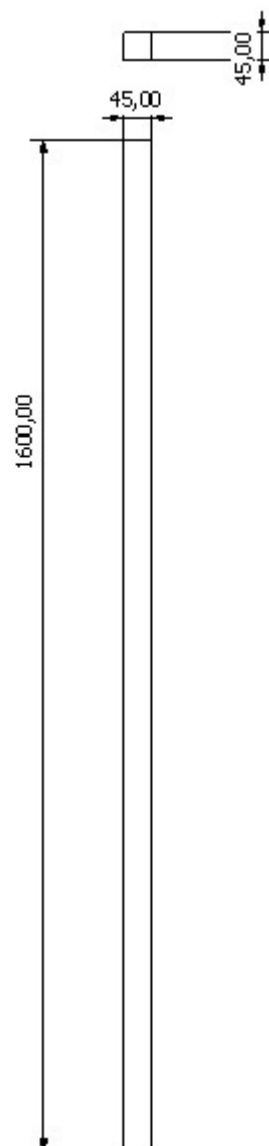
Winkel:



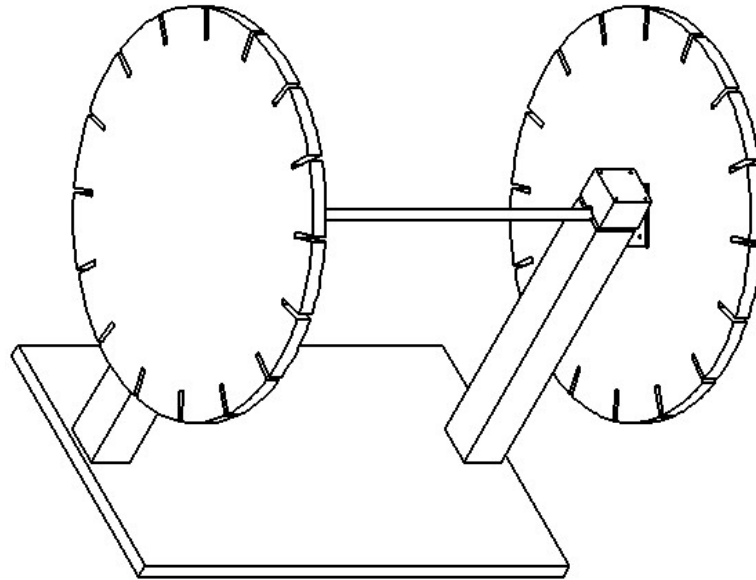
Seitenwände:



Beine:



Bauplan für die Station „Kinorad“



Material:

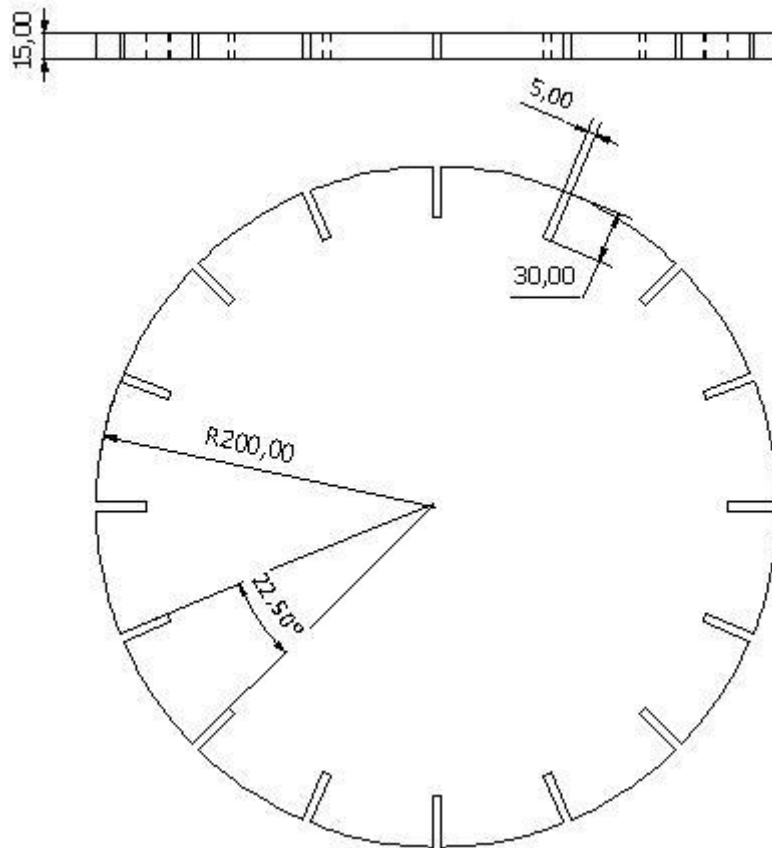
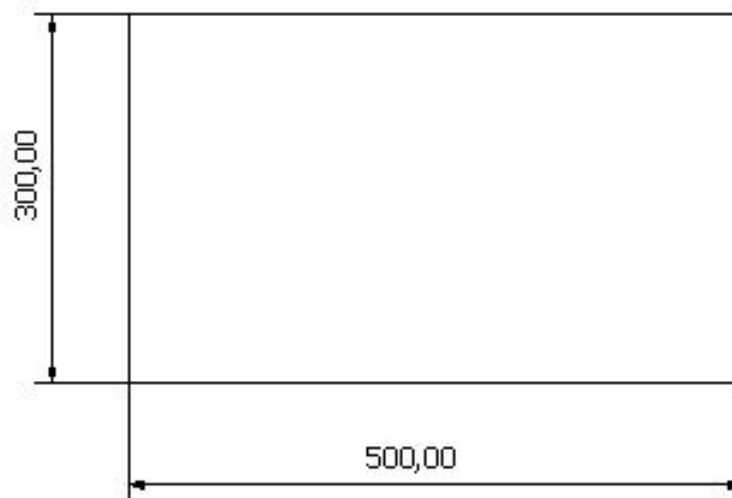
- 2 Schlitzscheiben (siehe Skizze)
- Grundplatte (siehe Skizze)
- 2 Balken mit Loch (siehe Skizze)
- Achse (siehe Skizze)
- 2 Metallhülsen (siehe Skizze)
- Bilder (siehe Anmerkung)
- Schrauben:
 - 4 Stück ca. 4mm x 40mm → Balken an Grundplatte;
 - 8 Stück ca. 3mm x 16 mm → Schlitzscheiben an Achse;
 - 8 Stück ca. 3mm x 55mm → kurzer Teil des Balkens an langen Teil des Balkens

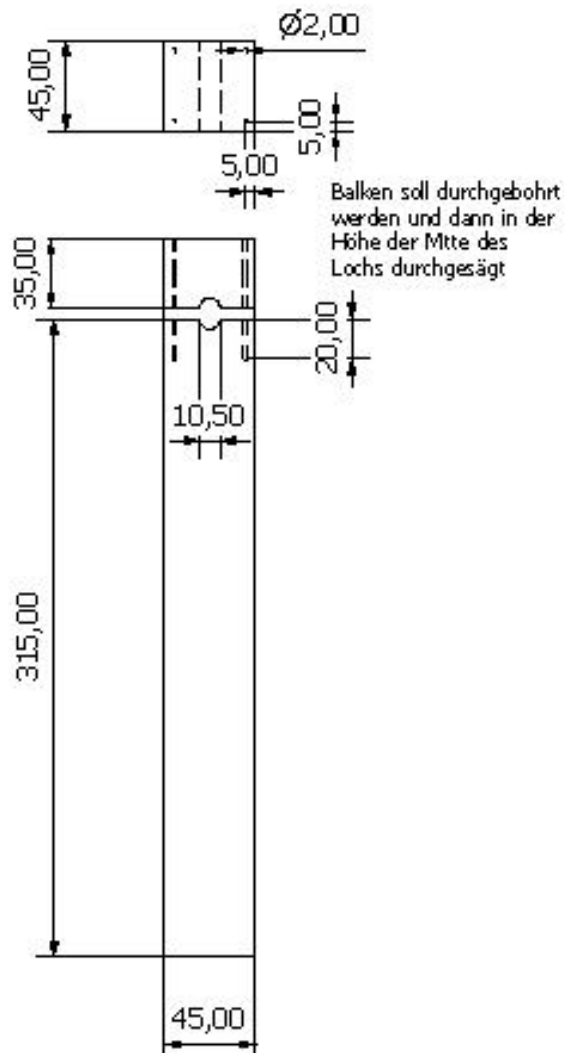
Bauanleitung:

1. Die Bilder auf die Schlitzscheiben kleben.
2. Die Achse mittig an den beiden Schlitzscheiben befestigen.
3. Die langen Teile des Balkens mit je 2 Schrauben von unten an der Grundplatte befestigen (alternativ 3 bis 4 kleine L-Profile verwenden). Dabei darauf achten, dass die durch die Bohrung entstandenen Kerben im Balken in einer Linie liegen.
4. Die Hülsen auf der Achse so weit nach außen schieben, dass sie in die Kerben der Balken gelegt werden können.
5. Die kurzen Teile der Balken mit der Kerbe auf die Achse legen und an den langen Teilen festschrauben.

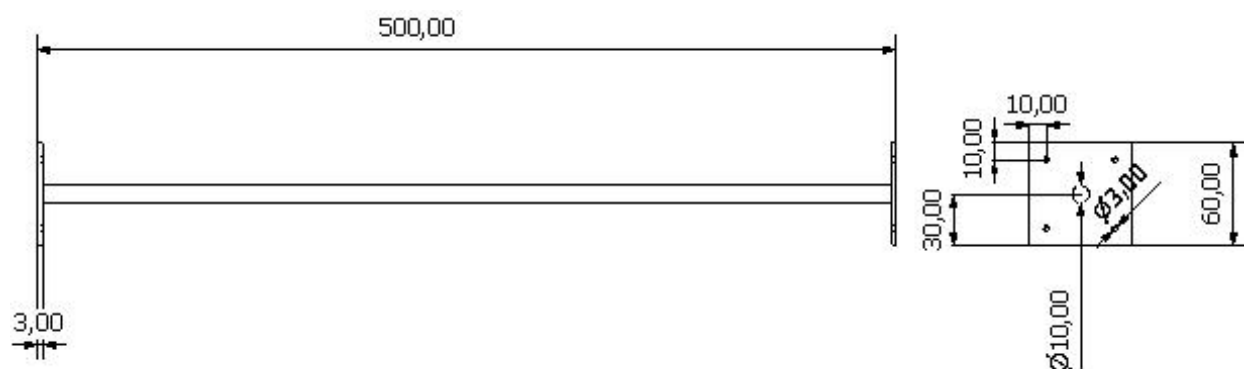
Skizzen der Einzelteile:Schlitzscheibe:

(für die Schlitz je am Ende des Schlitzes ein Loch mit einem Durchmesser von 5mm bohren und dann vom Rand der Scheibe zweimal bis zum Loch einsägen)

Grundplatte:

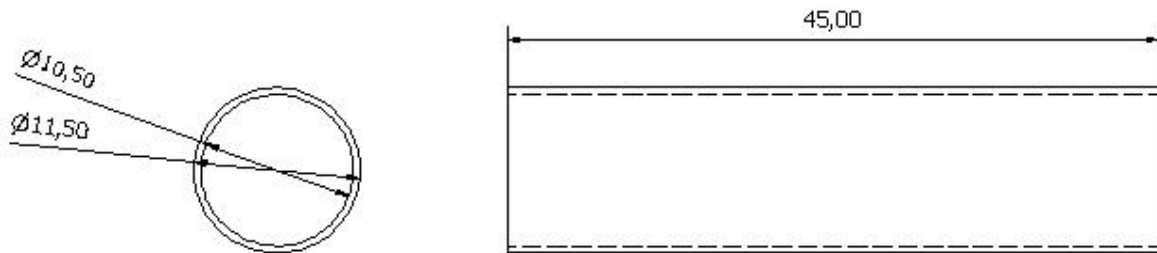
Balken:Achse:

Achtung: Bevor die beiden „Enden“ der Achse festgeschweißt werden, müssen die beiden Hülsen (siehe unten) auf den Metallstab gesteckt werden.



Hülse:

(Diese Hülse soll nur dafür sorgen, dass die Achse sich besser drehen kann. Sie darf ruhig etwas größer oder kleiner sein, dann muss nur die Bohrung im Balken angepasst werden.)

**Anmerkung:**

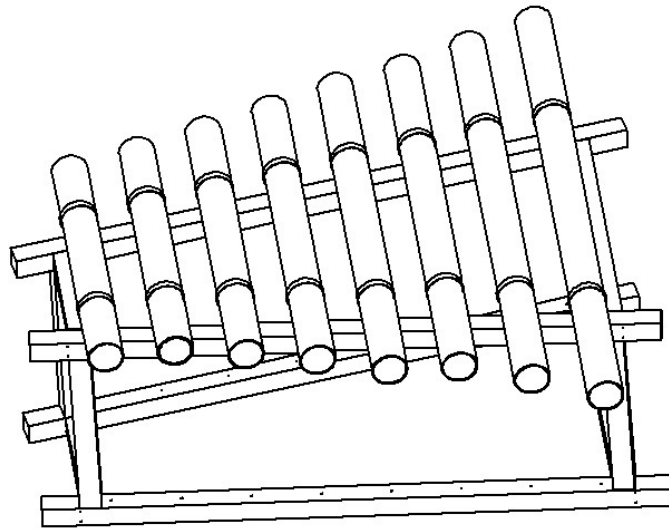
Zu den Bildern:

Benötigt werden pro Schlitzscheibe 16 Bilder, die sich jeweils nur wenig voneinander unterscheiden und einen Bewegungsablauf darstellen, ähnlich wie bei einem Daumenkino.

Sie sollten nicht zu klein sein, damit man sie noch gut erkennen kann, wenn man durch die Schlitze der gegenüberliegenden Schlitzscheibe schaut.

Am einfachsten ist ein Ball, der sich auf und ab bewegt.

Bauplan für die Station „Klangrohre“



Material:

- 8 Regenfallrohre (siehe Skizze)
- 32 Rohrschellen (Größe passend zu den Regenfallrohren, mit Stockschraube, siehe Bild)
- 4 Auflagebalken (siehe Skizze)
- 4 Beine (siehe Skizze)
- 2 kurze Balken (siehe Skizze)
- 2 lange Balken (siehe Skizze)
- Schrauben (16 Stück, ca. 3,5mm x 55mm)
- Holzleim
- Evtl. dünner Holzstab und Schnur

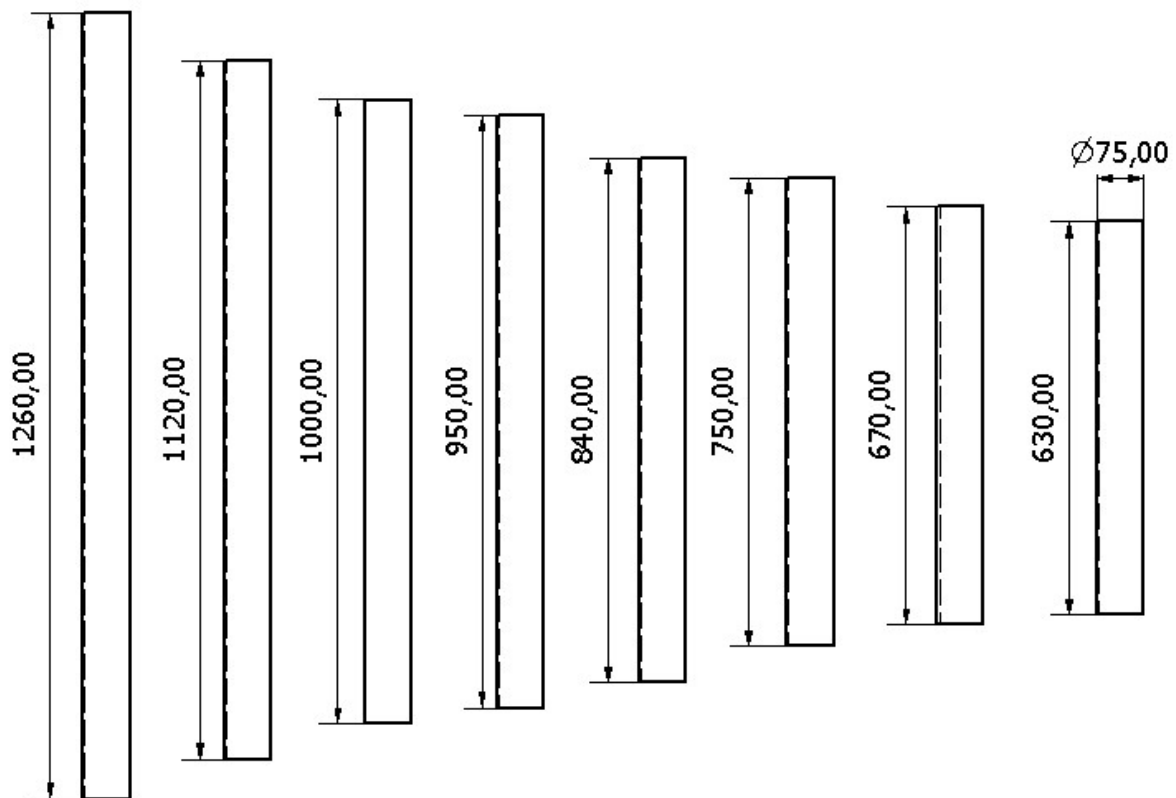
Bauanleitung:

1. An jedem Rohr im angegebenen Abstand vom Rohrende zwei Rohrschellen befestigen.
2. 2 Auflagebalken, einen kurzen und einen langen Balken auf dem Boden zusammenlegen. Das kürzeste und das längste Rohr dazunehmen und den langen sowie den kurzen Balken solange verschieben, bis die beiden Rohre jeweils ca. 10cm vom Ende der Auflagebalken auf den Auflagebalken festgeschraubt werden können.
3. Diese Position markieren und die Balken zusammenleimen.
4. Die anderen Auflagebalken, den anderen kurzen und den anderen langen Balken genauso zusammenlegen wie die ersten. Auch diese zusammenleimen.
5. Die so entstandenen Rahmen mit den Beinen zusammenbauen.

6. Mit dem längsten Rohr anfangend jeweils das Rohr an den oberen Rahmen halten, sodass beide Stockschrauben etwa mittig auf den Auflagebalken treffen. Die beiden Auftreffpunkte markieren, vorbohren und die Rohre befestigen. (Dazu zunächst Rohrschellen wieder abnehmen, etwa 3cm tief ins Holz schrauben, Rohr wieder einsetzen.) Mit den anderen Rohren genauso verfahren.
7. Falls erwünscht, den dünnen Holzstab (Schlegel) mit der Schnur an der Station festbinden.

Skizzen/Bild der Einzelteile:

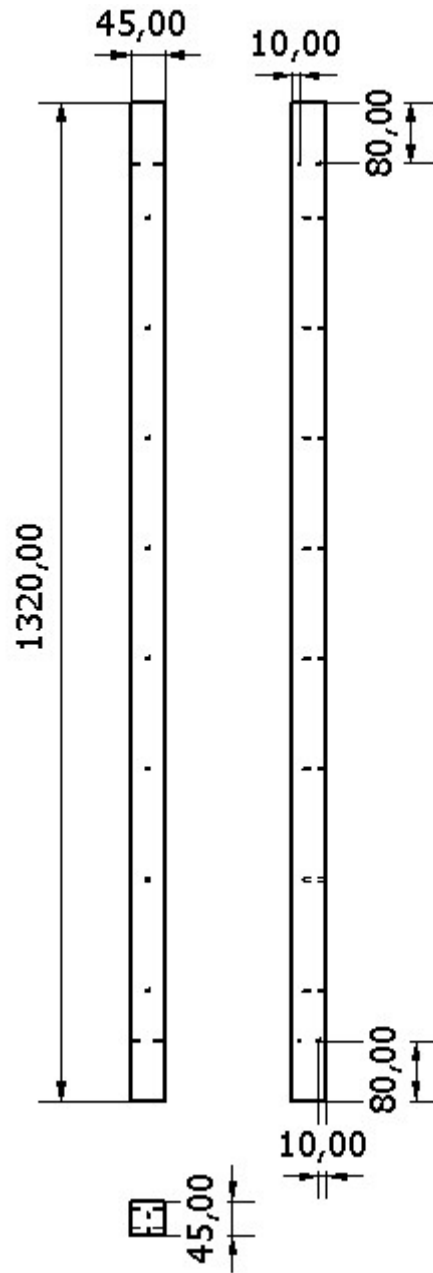
Regenfallrohre:



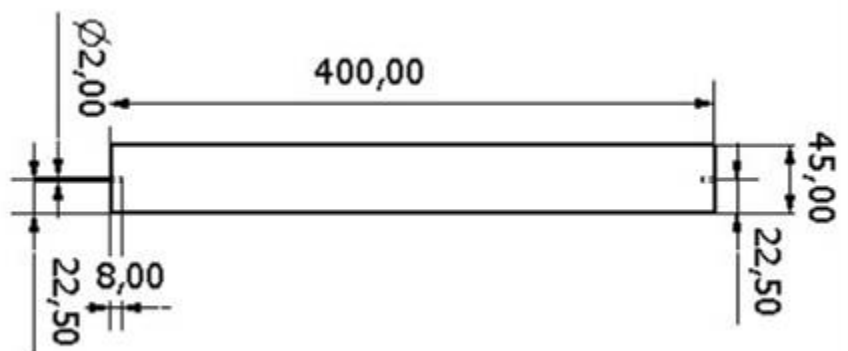
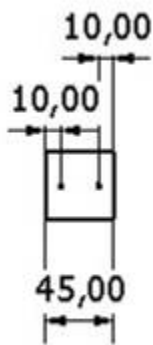
Abstand der Rohrschellen vom Rand des Rohrs (je $\frac{1}{4}$ der Rohrlänge):

- Rohr c': 0,32m
- Rohr d': 0,28m
- Rohr e': 0,25m
- Rohr f': 0,24m
- Rohr g': 0,21m
- Rohr a': 0,19m
- Rohr h': 0,17m
- Rohr c'': 0,16m

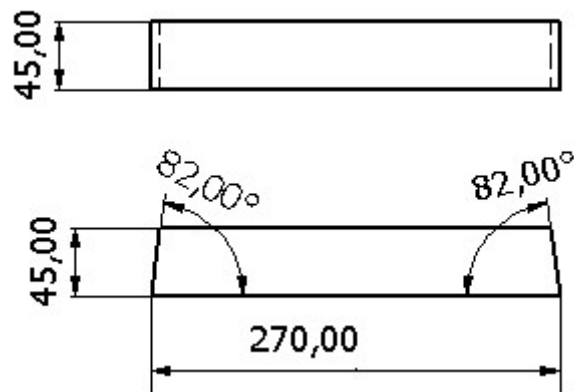
Auflagebalken:



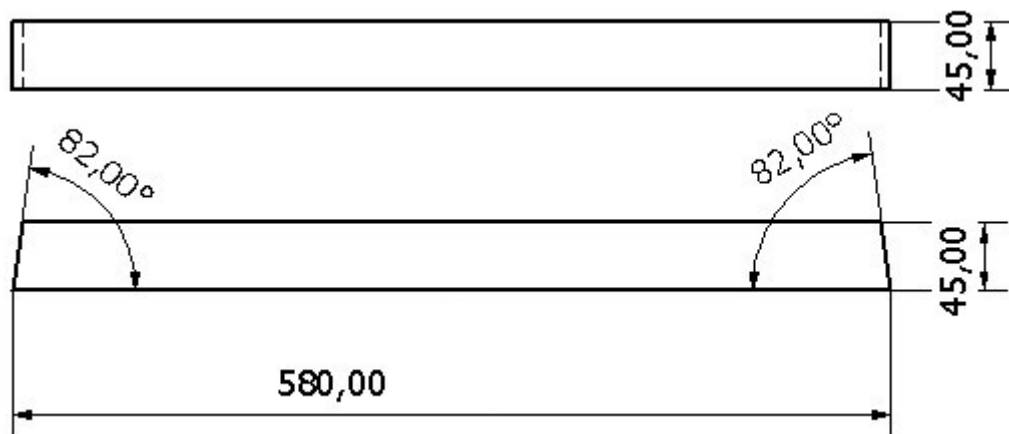
Beine:



kurze Balken:



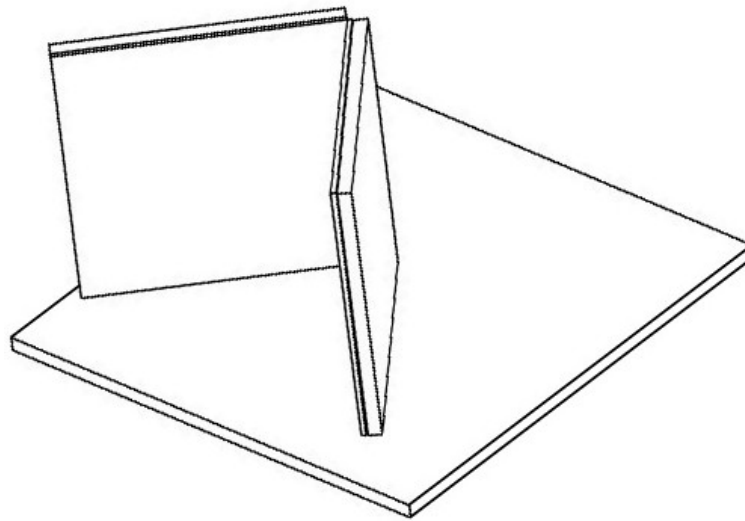
lange Balken:



Rohrschelle:



Bauplan für die Station „Klappspiegel“



Material:

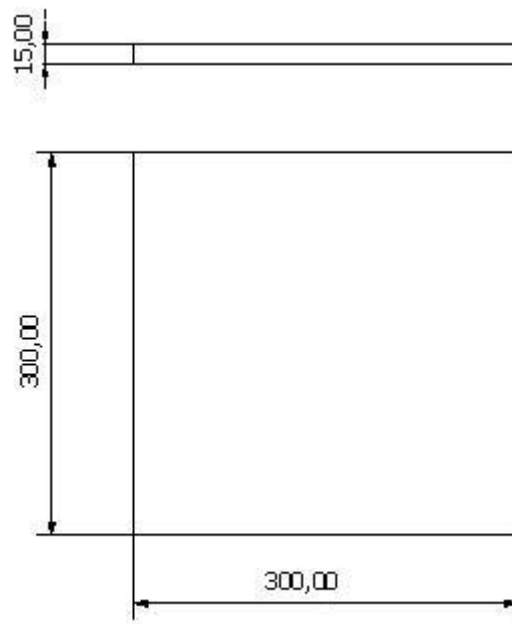
- 2 Spiegelfliesen 30cm x 30cm (z.B. LOTS von Ikea)
- 2 Rückwände (siehe Skizze)
- Grundplatte (siehe Skizze)
- 2 L-Profile (Länge der Schenkel ca. 15cm)
- Spiegelkleber
- Klavierband (30cm lang, ca. 3cm breit, Lochung ca. alle 6cm)
- Schrauben (je nach Lochung in den L-Profilen und im Klavierband)

Bauanleitung:

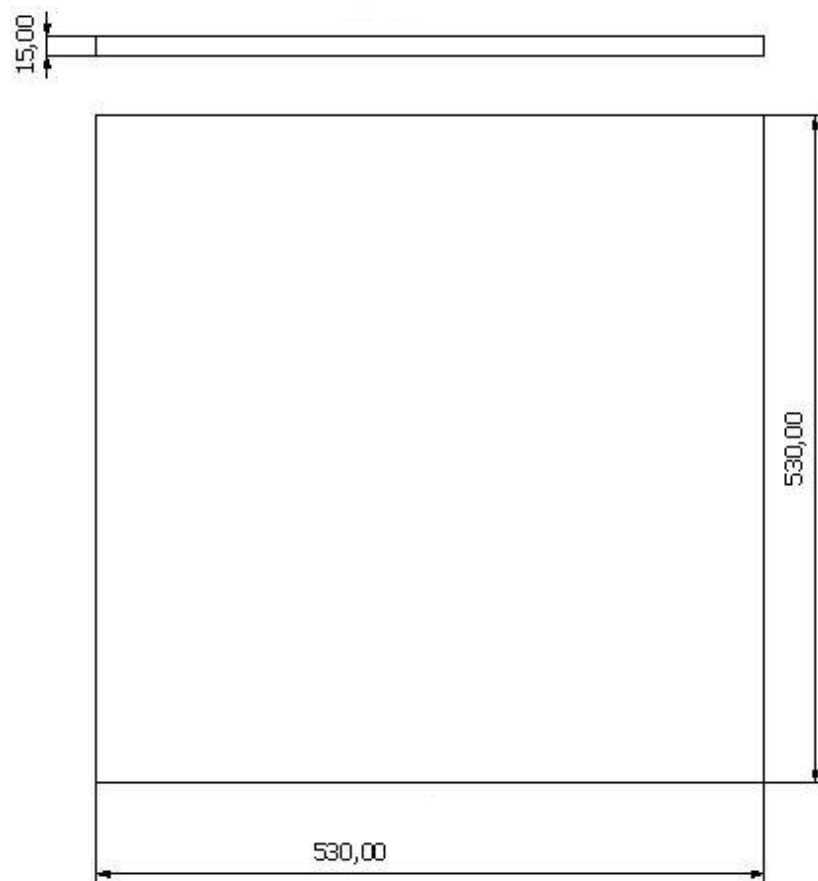
1. Je einen Spiegel mit Spiegelkleber auf eine Rückwand kleben und trocknen lassen.
2. Mit den spiegelnden Oberflächen aneinander legen und mit dem Klavierband zusammenschrauben, sodass eine Art „Spiegelbuch“ entsteht.
3. An eine der Rückwände die L-Profile schrauben, dann das Spiegelbuch mit den L-Profilen an der Grundplatte befestigen. Der Winkel zwischen der Kante der Grundplatte und der festgeschraubten Rückwand sollte ca. 45° betragen. Darauf achten, dass das Buch auf- und zugeklappt werden kann, ohne über die Grundplatte herauszuragen.

Skizzen der Einzelteile:

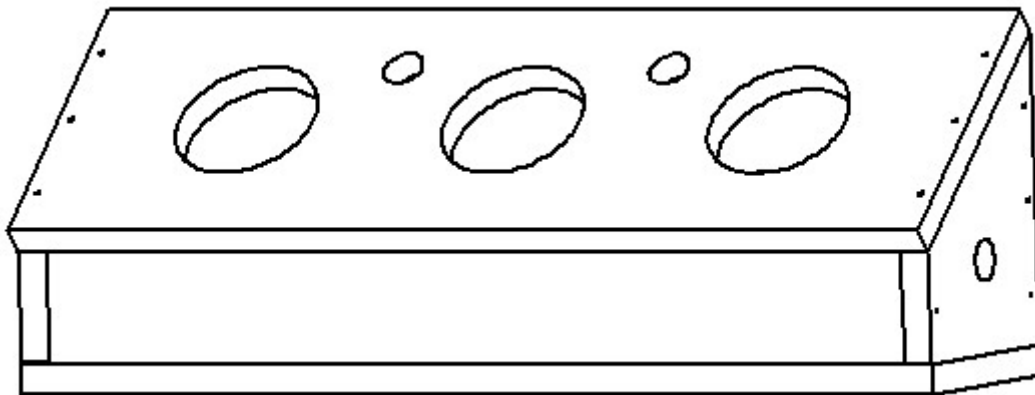
Rückwand:



Grundplatte:



Bauplan für die Station „Licht mischen“



Hinweis:

Diese Station bitte nur nachbauen, wenn Grundkenntnisse im Umgang mit Elektrizität vorhanden sind!

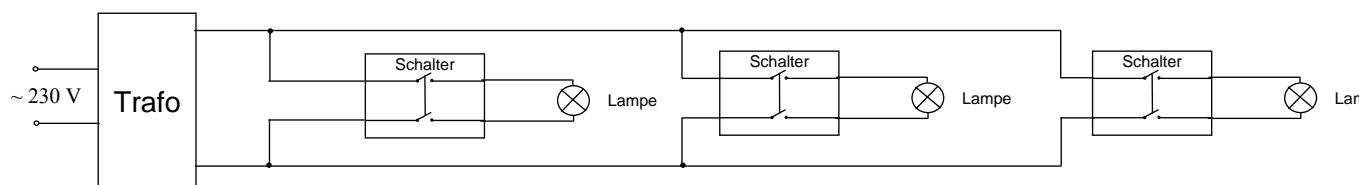
Material:

- Lampenplatte (siehe Skizze)
- Bodenplatte (siehe Skizze)
- Vorderwand (siehe Skizze)
- Rückwand (siehe Skizze)
- 2x Seitenwand (siehe Skizze)
- 3 Halogenstrahler mit Interferenzfilter (in rot, grün, blau, z.B. bei Conrad: Artikel-Nr.: 570830 – 62, 570831 – 62 und 570832 – 62)
- 3 schwenkbare Deckeneinbauringe für die Halogenstrahler → evtl. Maße der Löcher anpassen!
- Trafo 12V, 60W (z.B. bei Conrad: Artikel-Nr.: 570872 – 62)
- 3 Wippschalter (z.B. bei Reichelt: Artikel-Nr.: WIPPE 1802.1108) → evtl. Maße der Löcher anpassen!
- Zweiadriges Kabel (Querschnitt je min. 1,5mm², benötigte Gesamtlänge ca. 1m)
- Eurostecker mit Kabel
- Gitter (z.B. engmaschiger Kaninchendraht)
- Schrauben:
 - 16 Stück ca. 3mm x 16mm für die Gitterstücke
 - 24 Stück ca. 4mm x 35mm zum Zusammenbau des Kastens
 - ca. 2 Stück zum Befestigen des Trafos (je nach Bauart des Trafos)

Bauanleitung:

1. Für Stromanschluss auf gewünschter Seite ein Loch in Vorder-, Rück- oder Seitenwand bohren (Durchmesser je nach Kabel ca. 6mm).

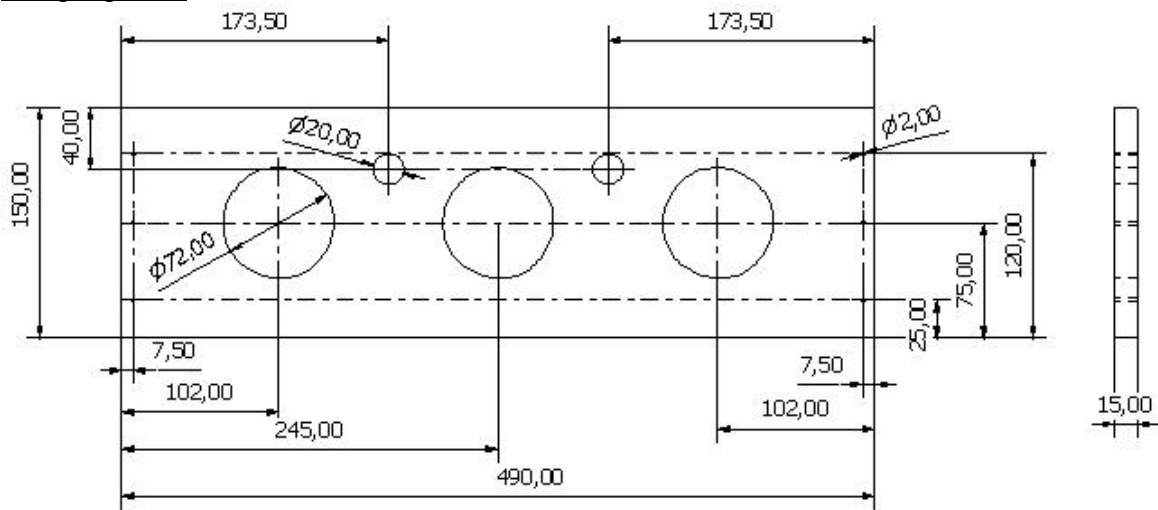
2. Aus dem Gitter kleine Stücke (ca. 25mm x 25mm) ausschneiden und mit Schrauben auf den Innenseiten der Lampenplatte und Seitenwände vor den kleinen Löchern befestigen.
3. Bodenplatte, Vorderseite, Rückseite und Seitenwände zusammenschrauben.
4. Schalter in die Rückwand stecken.
5. Trafo mittig auf die Bodenplatte schrauben.
6. Deckeneinbauringe in die Lampenplatte einbauen, Strahler einsetzen.
7. Kabel des Eurosteckers durch das bei 1. gebohrte Loch stecken und zur Zugentlastung hinter dem Loch entweder einen Knoten ins Kabel machen oder einen Kabelbinder befestigen.
8. Kabel an den Trafo anschließen.
9. Schalter, Trafo und Lampen verbinden (Anweisungen für jeweiligen Trafo und Schalter beachten; Lampenplatte nah an zusammengebaute Kiste legen):



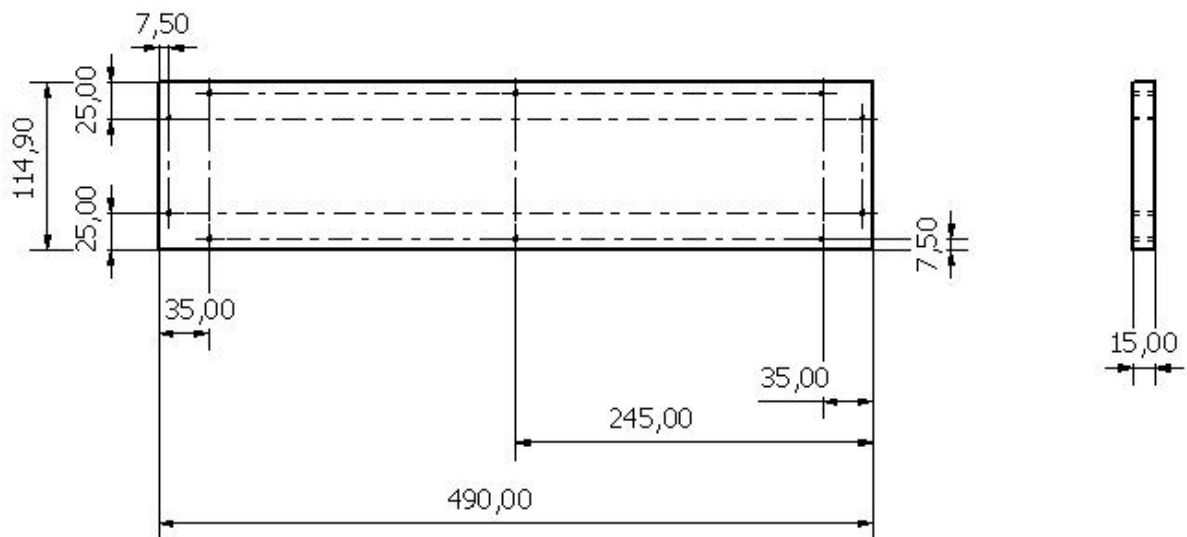
10. Lampenplatte anschrauben.
11. Vor einer Wand platzieren, Lampen einschalten und so justieren, dass alle drei auf die gleiche Stelle an der Wand leuchten.

Skizzen der Einzelteile:

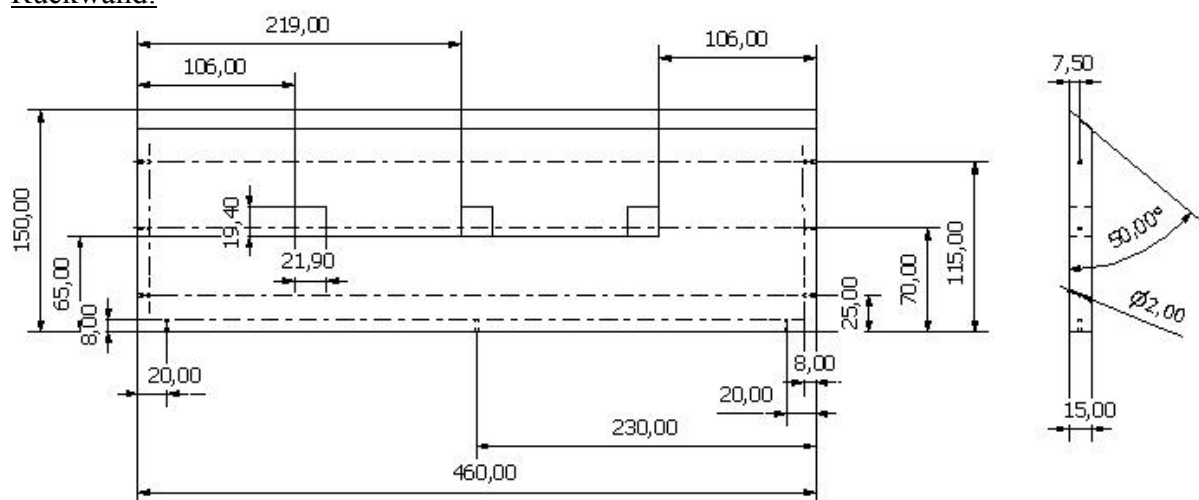
Lampenplatte:



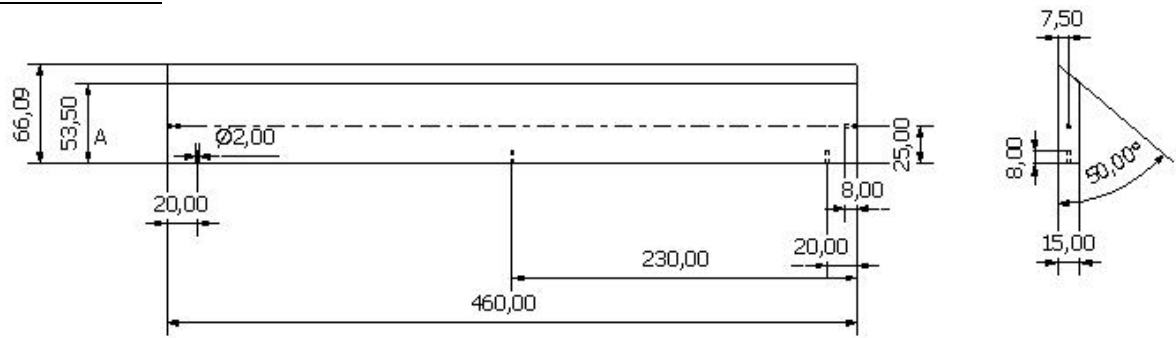
Bodenplatte:



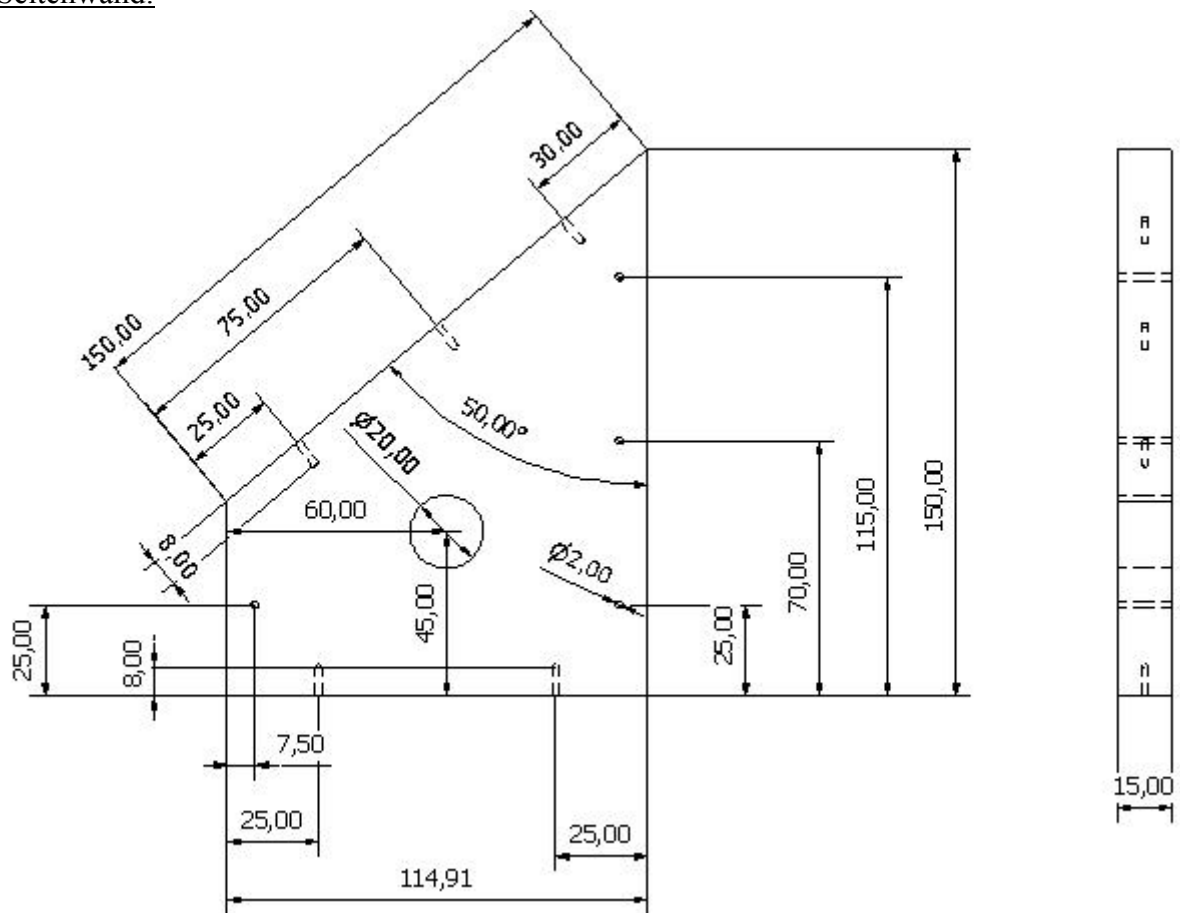
Rückwand:



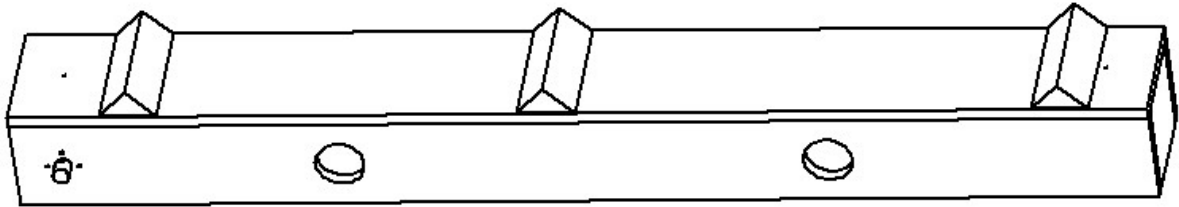
Vorderwand:



Seitenwand:



Bauplan für die Station „Monochord“

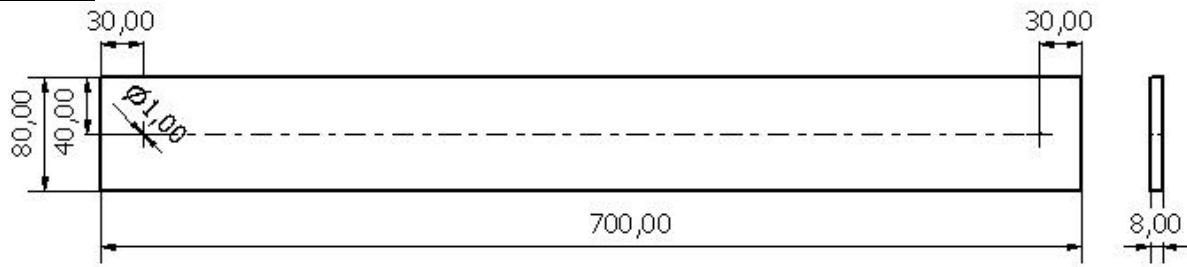


Material:

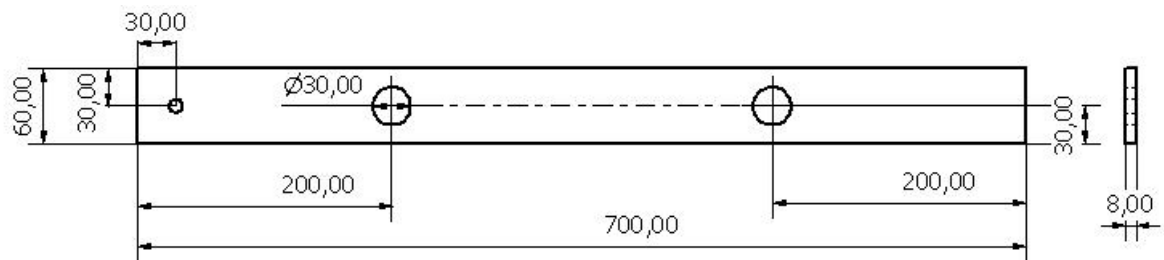
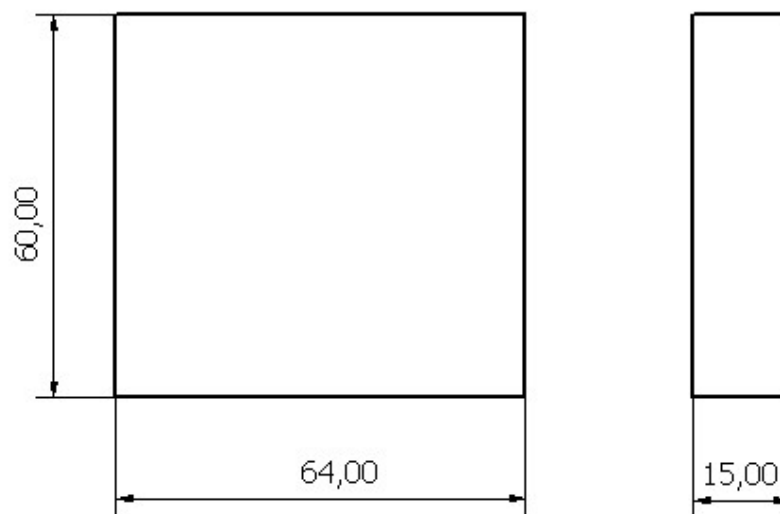
- Deckel (siehe Skizze)
- 2 Seitenwände (siehe Skizze)
- 2 Kopfseiten (siehe Skizze)
- 3 Keile (siehe Skizze)
- Spanner (siehe Skizze)
- Saite (z.B. Nylonschnur)
- 2 Splinte oder Nägel mit abgerundeter Spitze (Durchmesser ca. 2mm, Länge ca. 20mm)
- Holzleim

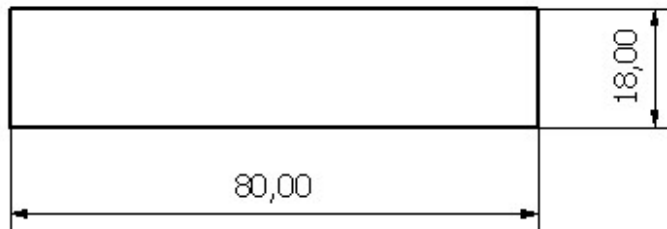
Bauanleitung:

1. Deckel, Seitenwände und Kopfseiten aneinander leimen. Dabei darauf achten, dass die kleinen Löcher in den Seitenwänden auf einer Seite sind, sodass man den Spanner hindurch stecken kann.
2. Zwei der Keile ca. 5cm vom Rand entfernt auf den Deckel leimen.
3. Den Spanner durch die kleinen Löcher der Seitenwände stecken.
4. Durch das Loch im Spanner einen Splint stecken und evtl. festkleben.
5. Durch die beiden kleinen Löcher im Deckel je ein Ende der Saite stecken.
6. Ein Ende der Saite (innerhalb des „Kastens“) um den Spanner wickeln und festknoten. Das andere Ende z.B. an einen Nagel knoten, sodass es nicht mehr durch das Loch im Deckel heraus rutschen kann.
7. Den Spanner am Splint drehen, bis die Saite gespannt ist. Dann den zweiten Splint in eines der vier kleinen Löcher neben dem Spanner stecken, sodass dieser sich nicht mehr zurück drehen kann.
8. Den dritten Keil zwischen die festgeleimten Keile legen.

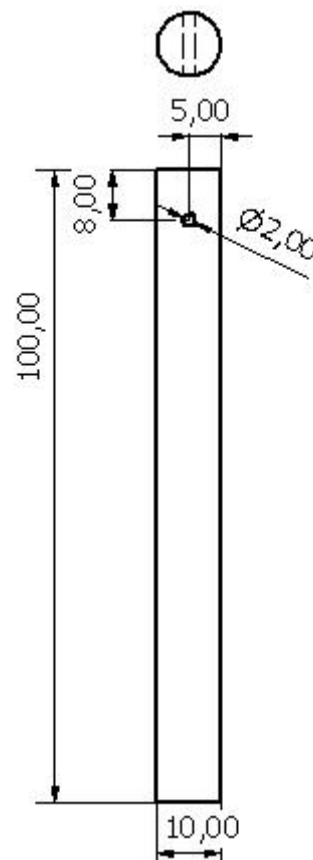
Skizzen der Einzelteile:Deckel:Seitenwand:

(Um die bemaßten kleinen Löcher herum in eine der beiden Seitenwände vier kleine Löcher (Durchmesser ca. 2mm) bohren, in die einer der beiden Splinte gesteckt werden kann.)

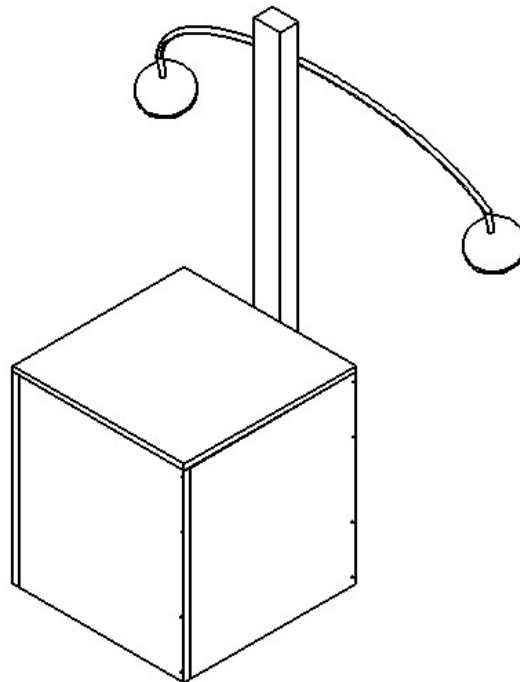
Kopfseite:

Keil:

(Winkel und Höhe können ruhig auch etwas abweichen, wenn sich das besser machen lässt)

Spanner:

Bauplan für die Station „Richtungshören“

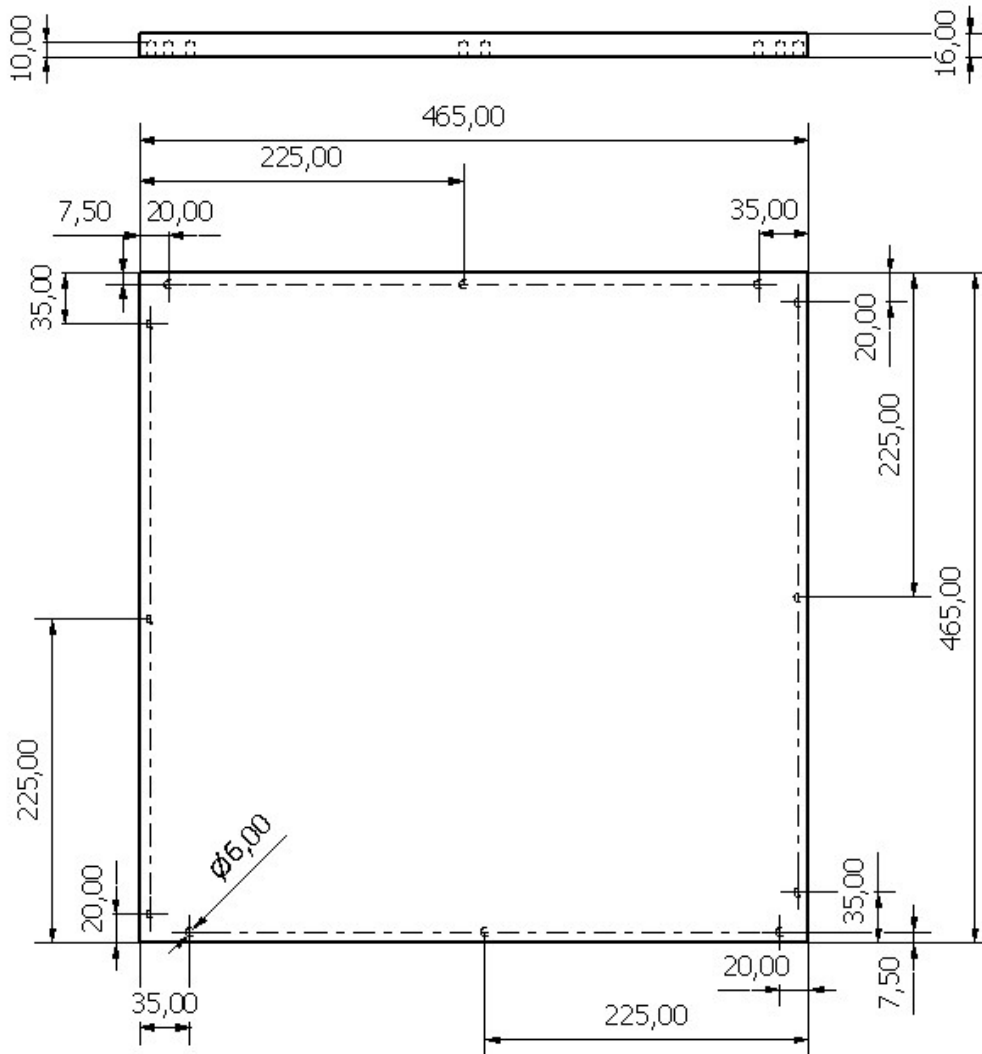


Material:

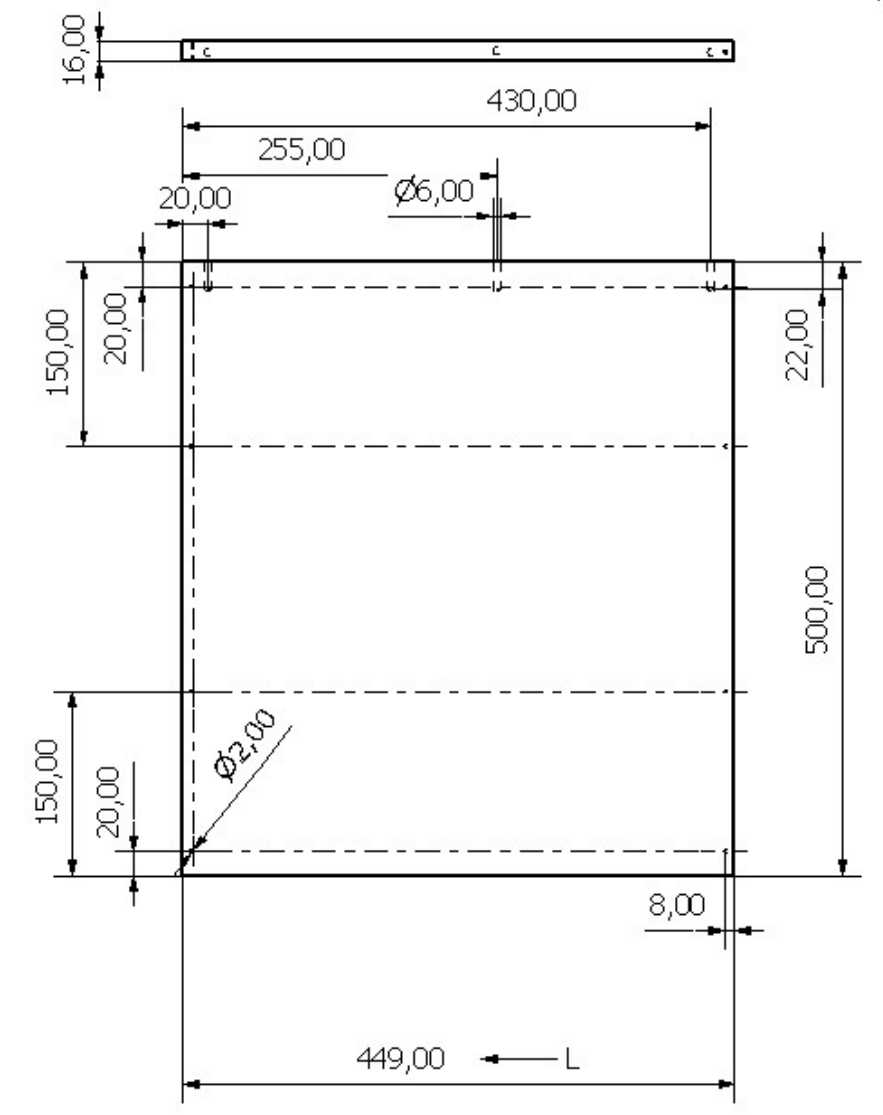
- Sitzplatte (siehe Skizze)
- 3 Seitenwände (siehe Skizze)
- Rückwand (siehe Skizze)
- Balken (siehe Skizze)
- 2 Trichter
- Schlauch (1,2m lang, Durchmesser so wählen, dass Schlauch über Enden der Trichter passt)
- Schelle zum Anschrauben des Schlauches (siehe Bild)
- Schrauben (28 Stück ca. 3,5mm x 35mm; 4 Stück ca. 4mm x 60mm; passende Schrauben für die Schelle)
- Kleber

Bauanleitung:

1. Seitenwände, Rückwand und Sitzplatte zusammen schrauben.
2. Balken an die Rückwand schrauben.
3. Die Trichter auf die Enden des Schlauches stecken und dort festkleben.
4. Die Mitte des Schlauches markieren (wasserfester Stift oder farbiges Klebeband).
5. Den Schlauch mit der Schelle am oberen Ende des Balkens festschrauben.

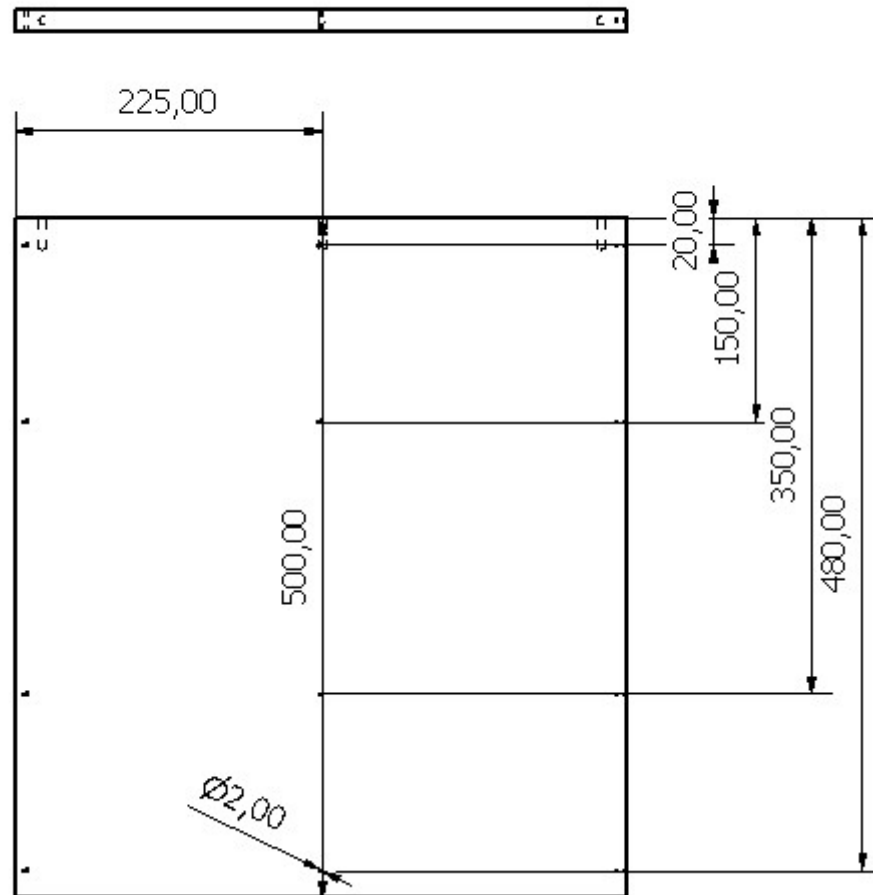
Skizzen und Bild der Einzelteile:Sitzplatte:

Seitenwand:

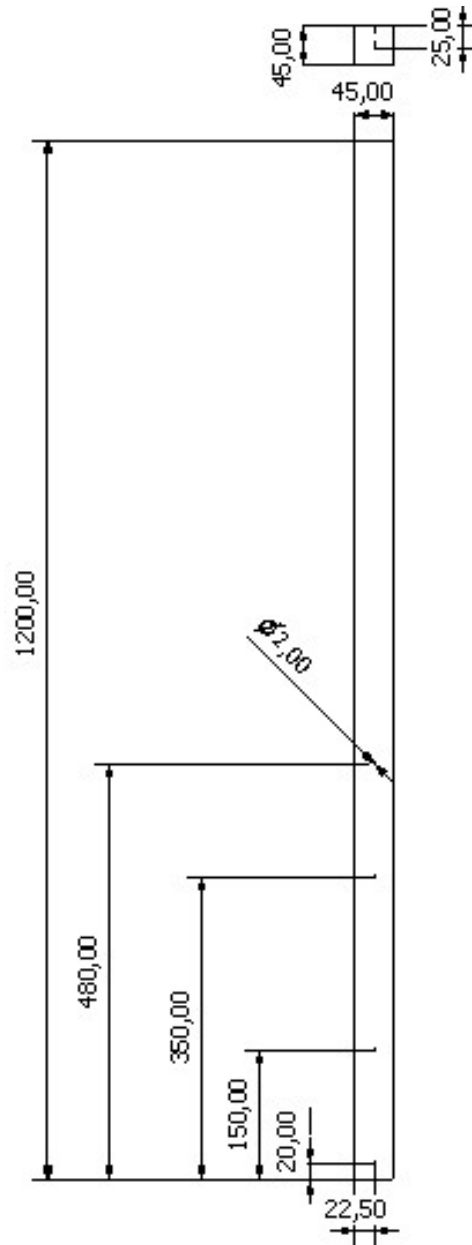


Rückwand:

(wie Seitenwand, aber mit durchgehenden Bohrungen in der Mitte wie eingezeichnet)



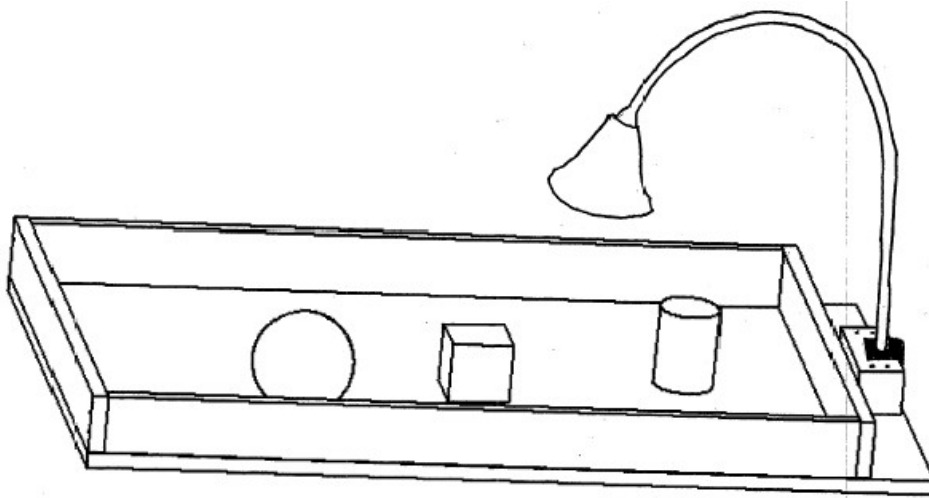
Balken:



Schelle:



Bauplan für die Station „Schatten“



Material:

- Grundplatte (siehe Skizze)
- 2 lange Seitenwände (siehe Skizze)
- 2 kurze Seitenwände (siehe Skizze)
- Lampenhalter (siehe Skizze)
- Lampe mit Schwanenhals (z.B. KNIVSTA von Ikea)
- Kugeln, Würfel, Zylinder etc. (z.B. Bauklötze)
- Schrauben (18 Stück ca. 3,5mm x 25mm; 1 Stück ca. 5mm x 40mm zum Befestigen der Lampe)

Bauanleitung:

1. Die langen und kurzen Seitenwände sowie den Lampenhalter auf die Grundplatte schrauben.
2. Die Lampe am Lampenhalter sorgfältig befestigen.
3. Die Würfel, Kugeln, etc. auf die Grundplatte legen.

Bauplan für die Station „Scheibe oder Tunnel?“



Material:

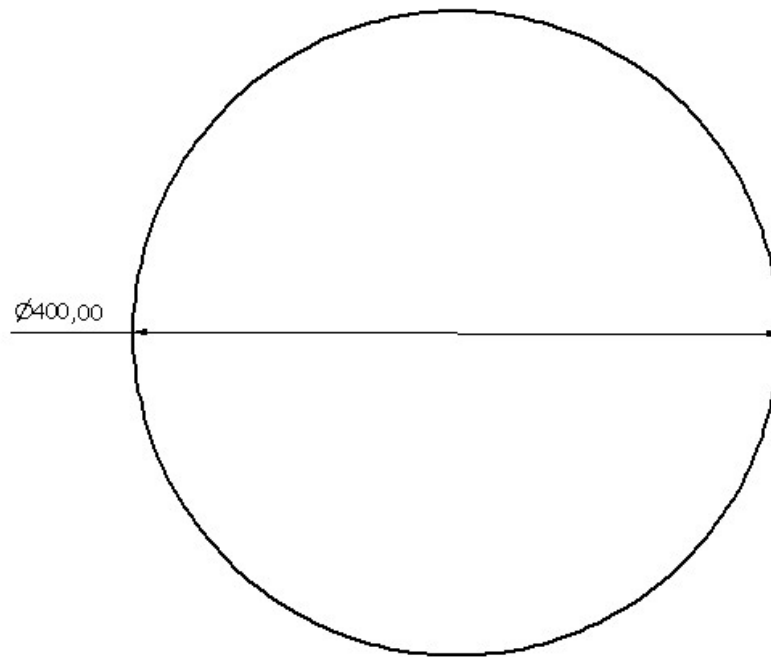
- Scheibe (siehe Skizze)
- Halterung (siehe Skizze)
- Drehlager (zwei drehbar übereinander gelagerte Metallplatten, z.B. für Möbelbau)
- 8 Schrauben ca. 3,5mm x 16mm
- Farbe (zwei gut unterscheidbare Farben wählen, z.B. gelb und blau)
- Zur Befestigung an der Wand: 2 Dübel mit passenden Schrauben

Bauanleitung:

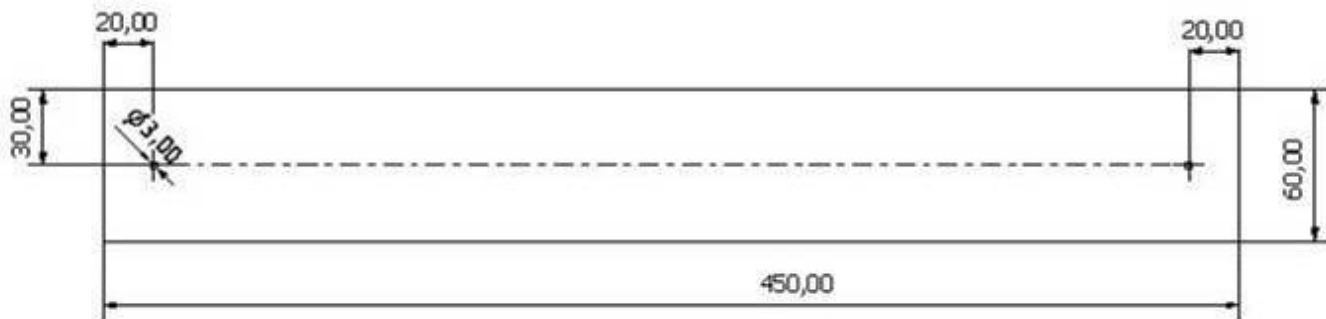
1. Die Scheibe anmalen: Mit Bleistift eine Linie zeichnen, die die Scheibe halbiert. Auf dieser Linie die Zirkelnadel ansetzen und einen Kreis zeichnen, dessen Durchmesser ca. 3cm kleiner ist als der der Scheibe und der am Rand der Scheibe „anstößt“. Dann den Durchmesser abermals um ca. 3cm kleiner wählen, auf der Linie ansetzen und noch einen Kreis zeichnen, der an der gleichen Stelle am Rand „anstößt“. Diese Prozedur insgesamt 4 mal wiederholen. Dann wieder einen kleineren Kreis auf der Linie ansetzen, diesmal jedoch am anderen Rand des nächst größeren Kreises anstoßen lassen. So insgesamt drei weitere Kreise zeichnen. Den kleinen Kreis in der Mitte und die „Sicheln“ der anderen Kreise abwechselnd in den beiden gewählten Farben anmalen.
2. Das Drehlager mittig auf die Halterung schrauben.
3. Halterung mit Drehlager mittig auf der Rückseite der Scheibe befestigen.
4. Bohrungen am Rand der Halterung nutzen, um die Drehscheibe an der Wand zu befestigen.

Skizzen der Einzelteile:

Scheibe:



Halterung:



9.5. Fragebogen

Lehrerfragebogen zu den Experimentierstationen

In meiner Zulassungsarbeit möchte ich angeben, ob und wie die Stationen voraussichtlich im Unterricht genutzt werden, etc. Dazu benötige ich Ihre Hilfe und Ihre Einschätzungen!

Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Antworten an (Mehrfachnennungen möglich).

1. Haben Sie die Experimentierstationen bereits genutzt?

- Ja.
- Nein.

2. Werden Sie die Experimentierstationen für Ihren Unterricht nutzen?

- Ja.
- Nein.
- Weiß ich noch nicht.
- Vielleicht mit einer anderen Klasse.

3. Dass die Experimentierstationen frei zugänglich im Schulgebäude stehen, ist...

- eher lästig.
- für die Schüler sehr interessant.
- praktisch.
- mir egal.
- _____

4. Wie möchten Sie ggf. die Experimentierstationen in Ihrem Unterricht nutzen?

- In Freiarbeit oder Wochenplanarbeit.
- Als Stationentraining.
- Ich werde einzelne Stationen in den Klassenraum mitbringen.
- Als „Hausaufgabe“.
- Sonstiges:

- Weiß ich noch nicht.
- Ich werde sie nicht nutzen.

5. Wie werden die Experimentierstationen bisher von den Schülern genutzt?

- Intensiv.
- Oft.
- Selten.
- Gar nicht.
- Weiß ich nicht

9.6. Beobachtungsbogen

Beobachtungsbogen Schüler

Datum:
Station:

	ja	nein	
Schüler kommt allein			
Schüler kommt in Gruppe			
Schüler liest			zögernd, zurückhaltend, zielstrebig
Schüler versteht			unsicher, staunend, zweifelnd, überzeugt
Schüler fragt			zielsicher, unsicher, zweifelnd
Schüler nimmt in Betrieb			zögernd, unsicher, zielgerichtet
Schüler begreift			überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler experimentiert			überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt
Schüler funktioniert zum Spielobjekt um			begeistert, aufmerksam, beteiligt, abwesend
Schüler geht		/	staunend, begeistert, gelangweilt, enttäuscht
Verweildauer / min.	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 0-1 bis 2 bis 3 über 3 </div>		

9.7. Einzelergebnisse der Besucherbeobachtung beim Tag der Physik

Station "Kinorad"

Anzahl Kinder	Anzahl Erw.	Gesamtanzahl
4	3	7

	ja in %	nein in %		
Besucher kommt allein	14,3	85,7		
Besucher kommt in Gruppe	85,7	14,3		
Besucher liest	57,1	42,9	zögernd (2), zurückhaltend, zielstrebig (2)	
Besucher versteht	75,0	25,0	unsicher, staunend, zweifelnd, überzeugt (3)	
Besucher fragt	42,9	57,1	zielsicher (1), unsicher (2), zweifelnd	
Besucher nimmt in Betrieb	100,0	0,0	zögernd (2), unsicher, zielgerichtet (5)	
Besucher begreift	100,0	0,0	überrascht (4), begeistert (2), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt (1)	
Besucher experimentiert	42,9	57,1	überrascht, begeistert (3), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher funktioniert zum Spielobjekt um	0,0	100,0	begeistert, aufmerksam, beteiligt, abwesend	
Besucher geht			staunend (1), begeistert (4), gelangweilt (1), enttäuscht	
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	7	0	0	0

Station "Klappspiegel"

Anzahl Kinder	Anzahl Erw.	Gesamtanzahl
1	4	5

	ja in %	nein in %		
Besucher kommt allein	0	100		
Besucher kommt in Gruppe	100	0		
Besucher liest	80	20	zögernd (3), zurückhaltend, zielstrebig (1)	
Besucher versteht	100	0	unsicher (1), staunend, zweifelnd, überzeugt (2)	
Besucher fragt	20	80	zielsicher (1), unsicher, zweifelnd	
Besucher nimmt in Betrieb	80	20	zögernd, unsicher, zielgerichtet (4)	
Besucher begreift	80	20	überrascht, begeistert (4), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher experimentiert	60	40	überrascht, begeistert (2), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher funktioniert zum Spielobjekt um	0	100	begeistert, aufmerksam, beteiligt, abwesend	
Besucher geht			staunend (1), begeistert (3), gelangweilt, enttäuscht	
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	4	1	0	0

Station "Klingende Saite"

Anzahl Kinder	Anzahl Erwachsene	Gesamtanzahl
1	1	2

	ja in %	nein in %		
Besucher kommt allein	0	100		
Besucher kommt in Gruppe	100	0		
Besucher liest	50	50	zögernd, zurückhaltend, zielstrebig (1)	
Besucher versteht	100	0	unsicher, staunend, zweifelnd (1), überzeugt (1)	
Besucher fragt	100	0	zielsicher (1), unsicher, zweifelnd (1)	
Besucher nimmt in Betrieb	100	0	zögernd, unsicher, zielgerichtet (2)	
Besucher begreift	100	0	überrascht, begeistert (1), enttäuscht, zweifelnd (1), gelangweilt	
Besucher experimentiert	50	50	überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd (1), gelangweilt	
Besucher funktioniert zum Spielobjekt um	0	100	begeistert, aufmerksam, beteiligt, abwesend	
Besucher geht			staunend, begeistert (1), gelangweilt, enttäuscht	
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	2	0	0	0

Station "Licht mischen"

Anzahl Kinder	Anzahl Erwachsene	Gesamtanzahl
0	5	5

	ja in %	nein in %		
Besucher kommt allein	20	80		
Besucher kommt in Gruppe	80	20		
Besucher liest	20	80	zögernd, zurückhaltend (1), zielstrebig	
Besucher versteht	100	0	unsicher (1), staunend, zweifelnd, überzeugt	
Besucher fragt	40	60	zielsicher (2), unsicher, zweifelnd	
Besucher nimmt in Betrieb	100	0	zögernd, unsicher, zielgerichtet	
Besucher begreift	80	20	überrascht, begeistert (2), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher experimentiert	0	100	überrascht, begeistert, enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher funktioniert zum Spielobjekt um	0	100	begeistert, aufmerksam, beteiligt, abwesend	
Besucher geht			staunend, begeistert (2), gelangweilt (1), enttäuscht (1)	
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	4	1	0	0

Station "Schatten"

Anzahl Kinder	Anzahl Erwachsene	Gesamtanzahl
2	0	2

	ja in %	nein in %		
Besucher kommt allein	50	50		
Besucher kommt in Gruppe	50	50		
Besucher liest	100	0	zögernd, zurückhaltend, zielstrebig (2)	
Besucher versteht	100	0	unsicher, staunend, zweifelnd, überzeugt (2)	
Besucher fragt	0	100	zielsicher, unsicher, zweifelnd	
Besucher nimmt in Betrieb	100	0	zögernd, unsicher, zielgerichtet (2)	
Besucher begreift	100	0	überrascht, begeistert (2), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher experimentiert	100	0	überrascht, begeistert (1), enttäuscht, zweifelnd, gelangweilt	
Besucher funktioniert zum Spielobjekt um	50	50	begeistert, aufmerksam, beteiligt (1), abwesend	
Besucher geht			staunend (1), begeistert, gelangweilt, enttäuscht	
Verweildauer / min.	0-1	bis 2	bis 3	über 3
Anzahl	1	1	0	0