

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Die Vision Tube

Eine empirische Evaluation einer Weiterentwicklung des
phänomenologischen Unterrichts nach Martin Wagenschein

verfasst von / submitted by

Mag. phil. Benjamin Wallner, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2022 / Vienna 2022

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

UA 199 523 525 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) UF Physik
UF Psychologie und Philosophie

Betreut von / Supervisor:

Dr. Franz Embacher

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Marianne Korner

*„All depends upon the activity
which the mind itself undergoes
in responding to what
is presented from without.“*

John Dewey.

Stefan Thomas Hopmann und Britta Kalmar gewidmet.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, welche zur Entstehung dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Allen voran möchte ich mich bei Marianne Korner für die Betreuung dieser Arbeit bedanken. Ihr umfassendes und gründliches Feedback hat mir geholfen, die Arbeit klarer zu strukturieren und die eigene Position deutlicher zum Ausdruck zu bringen. Darüber hinaus hat ihre zusätzliche Codierung der transkribierten sokratischen Gespräche das Erzielen eines wichtigen Standrads im Rahmen der empirischen Analyse ermöglicht.

Stefan Hopmann und Britta Kalmar, welchen diese Arbeit gewidmet ist, haben vor vielen Jahren den Grundstein für die Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein gelegt. Den Dank für das Lektorat sowie interessante Diskussionen rund um die behandelte Thematik möchte ich Patricia Nekuda aussprechen. Auch möchte ich die Neugier und den Forschungsdrang der jungen Teilnehmer*innen der Studie honorieren, denn ohne ihre freiwillige Beteiligung hätte die geplante Unterrichtseinheit nicht evaluiert werden können.

Bei meinen Eltern möchte ich mich abschließend für die Unterstützung während des intensiven Schreibprozesses bedanken. Ihre Herberge und Verpflegung während dieser Zeit haben einen wichtigen Beitrag für die Umsetzung dieses Vorhabens geleistet.

Inhaltverzeichnis

Abstract	7
1. Vorwort.....	9
2. Einleitung	11
2.1. Physikdidaktik als Disziplin - oder der Rahmen, in welchem die Aussagen dieser Arbeit Anspruch erheben.....	11
2.2. Struktur dieser Arbeit.....	16
2.3. Modell der Didaktik Martin Wagenscheins	18
Teil A.....	22
3. Phänomenologischer Unterricht nach Martin Wagenschein – eine Problemanalyse	22
3.1. Theoretische Forschungsfrage	23
3.2. Erste Herausforderung: Pathetische reformpädagogische Wurzeln.....	24
3.3. Zweite Herausforderung: Mangel an empirisch gestützter Unterrichtsforschung.....	28
3.4. Dritte Herausforderung: unscharfe Begriffsdefinition	33
4. Planungsschema eines phänomenologisch orientierten Unterrichtskonzept	41
4.1. Inhalt & Phänomen - Der exemplarische Aspekt.....	42
4.2. Alltagskonzepte der Schüler*innen - Ausgangslage des genetischen Prozesses.....	44
4.3. Die Sachstruktur - Das Rückgrat des genetischen Prozesses	49
4.4. Das Experiment - Der Wendepunkt im genetischen Prozess	52
4.5. Die sokratischen Fragen - Das Steuerungselement im genetischen Prozess	61
4.6. Kompetenzen der Schüler*innen - Das Genetische Element.....	68
4.7. Beantwortung der theoretischen Forschungsfrage.....	70
Teil B.....	71
5. Die Vision Tube – Eine Einführung in ein elementares Konzept der Optik.....	71
5.1. Die Entstehungsgeschichte der Vision Tube	71
5.2. Phänomenologische Unterrichtsplanung am Beispiel der Vision Tube	76
6. Empirische Forschungsfragen	85
7. Empirische Untersuchung.....	88
7.1. Methodik.....	88
7.2. Setting und Sample.....	92
7.3. Ergebnisse der persönlichen Daten und des Feedbacks	93
7.4. Ergebnisse der Akzeptanzbefragung	96

8. Diskussion	100
8.1. Der Objektivitätsgehalt dieser Arbeit.....	100
8.2. Limitierung der Aussagen dieser Arbeit.....	101
8.3. Verbesserungsvorschläge für den Einsatz der Vision Tube	102
Literaturverzeichnis.....	106
Abbildungsverzeichnis	110
Anhang	110

Abstract

Die vorliegende Masterarbeit greift auf eine langjährige Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein zurück, welche sich durch zwei besondere Merkmale auszeichnet: a) Eine bildungswissenschaftliche Analyse der Grundpositionen Wagenscheins berücksichtigte im Rahmen einer kritisch-konstruktiven Auseinandersetzung den polarisierenden Diskurs genauso wie die Faszinationskraft eines viel zitierten Unterrichtskonzepts. b) Darüber hinaus führte die vorangehende Diplomarbeit des Autors zu einer engen Verzahnung von Theorie, Praxis und empirisch gestützter Forschung. Die Experimentierreihe eines Mechanik-Lehrgangs wurde mithilfe eines Pre-Post Standardinstruments (FCI) sowie einer qualitativen Analyse der sokratischen Gespräche evaluiert.

Das Fazit der vorangehenden Auseinandersetzung betonte die Notwendigkeit der Weiterentwicklung der sokratischen Methode innerhalb des phänomenologischen Physikunterrichts. Daran möchte die aktuelle Abschlussarbeit anknüpfen und die theoretische sowie empirische Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein fortführen.

In einem ersten Teil wird im Rahmen eines lösungsorientierten Ansatzes ein phänomenologisches Unterrichtskonzept entwickelt. Dieses zeigt auf, inwiefern sich identifizierte Herausforderungen überwinden lassen, indem die Grundpositionen Wagenscheins in aktuelle physikdidaktische Ansätze eingebettet werden. Dabei wird empirische Forschung zu Alltagskonzepten genauso aufgegriffen wie konstruktivistische Lerntheorien, Sachstrukturen etablierter Unterrichtskonzeptionen und festgestellte Mängel in den Experimentierphasen klassischen Physikunterrichts. Daraus resultiert ein praxisorientiertes Planungsschema, welches die sokratische Methode in Form von vorab formulierten Fragen realisiert, entwickelt aus den eben genannten physikdidaktischen Forschungsfeldern.

Der zweite Teil der Arbeit widmet sich der Anwendung des Planungsschemas im Rahmen einer Unterrichtseinheit, welche die Einführung der Sender-Empfänger-Vorstellung zum Ziel hat. Die empirische Evaluation dieser Unterrichtseinheit im Bereich der Optik bedient sich der Akzeptanzbefragung und weist nach, dass der gewählte Zugang Alltagskonzepte durch die Beobachtung spezifischer Phänomene in der Vision Tube in eine physikalische Erklärung überführen kann und einen nachhaltigen Konzeptwechsel hervorruft.

This master's thesis is based on a long-standing research of Martin Wagenschein's work characterized by two special features: a) An educational analysis of Wagenschein's basic positions within a critical-constructive framework, considering both the polarizing discourse as well as the fascination of a much-cited teaching concept. b) In addition, the author's previous diploma thesis led to a close integration of theory, practice, and empirically supported research. The experimental set of a course in mechanics was evaluated using a pre-post standard instrument (FCI) and a qualitative analysis of the Socratic conversations.

The conclusion of the preceding discussion emphasized the need for further development of the Socratic method within phenomenological orientated physics lessons. The current thesis builds on this and continues the theoretical and empirical analysis of Martin Wagenschein.

In a first part, a phenomenological teaching concept is developed within the framework of a solution-oriented approach. This shows to what extent identified challenges can be overcome by embedding Wagenschein's basic positions in current physics-didactic approaches. Empirical research on misconceptions is taken up as well as constructivist learning theories, logical content structure of established teaching concepts, and deficiencies found in the experimental phases of traditional physics lessons. This results in a practice-oriented planning scheme that implements the Socratic method by using previously formulated questions developed from the physics-didactic research fields just mentioned.

The second part of the thesis is dedicated to the application of the planning scheme within the framework of a teaching unit, which aims to introduce the sender-receiver-concept. The empirical evaluation of this teaching unit in the field of optics uses the acceptance survey and proves that the selected approach can convert everyday concepts into a physical explanation by having children observe specific phenomena in the Vision Tube and therefore causes a sustainable change in concept.

1. Vorwort

Diese Arbeit ist zwei Personen gewidmet, welche meine langjährige Auseinandersetzung mit der Didaktik Wagenscheins maßgeblich geprägt haben. Ihr Hintergrund sowie ihre Einflussnahme könnten unterschiedlicher nicht sein. Auf der einen Seite wurde mir von Britta Kalmar nach einer Projektwoche in der Schweiz ein Buch von Martin Wagenschein beiläufig in die Hand gedrückt. Ich sammelte meine erste Unterrichtserfahrung an einem innovativen Schulversuch namens w@lz¹, einem Spin-Off einer Rudolf-Steiner-Schule und sollte demnächst Jugendliche für eine externe Physikprüfung an einer öffentlichen Schule vorbereiten. Im darauffolgenden Jahr habe ich zusätzlich zu dieser eher klassischen Unterrichtstätigkeit ein Physik-Projekt implementiert, eine geblockte zweiwöchige Einführung in die Grundlagen und Methoden der Naturwissenschaft auf Basis einer Experimentierreihe. Vorbild hierfür waren Martin Wagenschein und seine Ansicht des „Verstehen Lehrens“.

Der daraus entstandene Mechanik-Lehrgang wurde über sieben Jahre durchgeführt und weiterentwickelt. Zeitgleich dazu besuchte ich in meinem ersten Semester des Studiums der Bildungswissenschaft mit Schwerpunkt Physikdidaktik eine Vorlesung bei Stefan Hopmann zu „Theorie(n) der Schule“. Die Beurteilung meiner ersten schriftlichen Arbeit fiel mit „genügend“ für mich etwas überraschend aus. Ich war erstaunt, wollte wissen, wie es zu der Note kam und habe um ein Gespräch gebeten. Nach der nächsten Vorlesung wurde mir erklärt: „Herr Wallner, eigentlich ist diese Arbeit negativ zu beurteilen. Die Note ist eine Anerkennung dessen, was es hätte werden können!“ Diese Aussage sollte mich nachhaltig prägen. Der Kommentar von Stefan Hopmann hatte Potenzial, jemanden vor den Kopf zu stoßen und zu demotivieren. Die Wortwahl war scharf, das Feedback direkt und unverblümt. Bei dem Autor dieser Arbeit hat diese Situation jedoch einen enormen Motivationsschub ausgelöst. Gefolgt sind viele weitere Semester und Gespräche dieser Art gab es mehrere. Ich wollte meist wissen, wie es zu meinen Beurteilungen kam. Die Lehrveranstaltungen bei Stefan Hopmann hatten jedoch einen besonderen Stellenwert für mich und der in dem erwähnten Gespräch erzeugte Ehrgeiz sorgte in weiterer Folge für Bestnoten in seinen Seminaren.

¹ Nähere Informationen finden sich unter <https://www.walz.at/> [10. 05. 2022]

Diese beiden Anekdoten legen dar, wie sehr der Bildungsweg von individuellen Gegebenheiten und spezifischen Kontexten abhängen kann. Welche Situationen für jemanden Erkenntnis und Motivation hervorbringt, hängt von vielfältigen Einflüssen ab, welche sich nicht immer bewusst steuern lassen. Nicht jede Person hätte so auf das Feedback von Stefan Hopmann reagiert, kein anderes mir so zufällig und beiläufig überreichtes Buchgeschenk hatte einen so nachhaltigen Effekt auf mich wie jenes über Martin Wagenschein, mit dessen Theorien ich mich über 15 Jahre lang intensiv beschäftigen sollte.

Darüber hinaus lassen sich weitere Faktoren identifizieren, welche die vorliegende Auseinandersetzung prägen. Die Möglichkeit, Martin Wagenscheins Werk sowie die Frage nach gutem Unterricht über den Zeitraum eines ganzen Studiums gleichzeitig wissenschaftlich sowie praktisch bearbeiten zu dürfen, ist kein klassisches Szenario. Selten ist ein Studentenjob so sehr mit den Themen der Seminare verknüpft oder hat ein Student der Bildungswissenschaft gar die Chance, über einige Jahre hinweg in einer Oberstufe einen Lehrgang zur Einführung in die Mechanik zu entwickeln. Nicht häufig wird eine physikdidaktische Schwerpunktsetzung in ein Studium der Bildungswissenschaft integriert. Nach dem Abschluss des Diplomstudiums folgte eine intensivere Praxisphase, in welcher unter anderem gemeinsam mit einem Team eine Montessori-Oberstufe aufgebaut wurde. Berufsbegleitend dazu wurde das Lehramtsstudium begonnen, dessen Abschluss diese Arbeit darstellt.

Diese Masterarbeit ist demnach ein Versuch, die eigene langjährige Unterrichtspraxis, die Herausforderungen in der Umsetzung genauso wie die dadurch entstandenen spannenden Unterrichtsgespräche zu reflektieren. Darüber hinaus soll der phänomenologisch orientierte Unterricht durch eine kritisch-konstruktive Reflexion sowie Anbindung an aktuelle Ansätze der Physikdidaktik und empirisch gestützte Forschung weiterentwickelt werden.

2. Einleitung

Der eben geschilderte Kontext dieser Arbeit ist nicht nur relevant, weil er den Werdegang der vorliegenden Arbeit beleuchtet. Er ist darüber hinaus insofern bedeutsam, als dass er die Vielschichtigkeit, individuellen Nuancen und Komplexität von Bildungswegen skizziert. Ein Aspekt, welcher in naturwissenschaftlich geprägter Physikdidaktik oft nicht ausreichend beachtet wird. Dieses Kapitel greift zuerst diesen Umstand auf und klärt vor diesem Hintergrund den Rahmen, in welchem die Aussagen dieser Arbeit Anspruch erheben. Im Anschluss dessen wird die Struktur der Arbeit in groben Zügen dargelegt und die Zweiteilung der Arbeit in einen theoretischen sowie empirischen Teil begründet. Des Weiteren wird die Didaktik Wagenscheins mithilfe eines didaktischen Dreiecks analysiert. Zum einen wird dadurch ein Einblick über das Zusammenspiel der zentralen Begriffe gewährleistet. Zum anderen einem Wagenschein-Laien eine knappe Einführung geboten, auch wenn sich der theoretische Teil der Arbeit primär an Personen richtet, welche mit dem Unterrichtskonzept von Martin Wagenschein vertraut sind.

2.1. Physikdidaktik als Disziplin - oder der Rahmen, in welchem die Aussagen dieser Arbeit Anspruch erheben

Die Physikdidaktik ist eine höchstinteressante Disziplin, da sie mit Konzepten wie Bildung und Schwerkraft gleichzeitig hantiert, eine Orientierung an sehr unterschiedlichen Referenzpunkten der Wissenschaft. Beides lässt sich an den jeweils gegenüberliegenden Enden einer Skala verorten, welche zwischen den Polen soft science und hard science aufgespannt werden kann. Einem kulturabhängigen, normativen sowie historisch variablen Konstrukt steht ein universelles, subjektunabhängiges sowie zeitloses Naturphänomen gegenüber.

„The distinctions between hard and soft sciences are part of our culture. Physics, chemistry, geology, and so on are often contrasted with the social sciences in general and education in particular.“ (Berliner 2002, p. 18)

David C. Berliner lädt in seinem Artikel „Educational Research: The Hardest Science of All“ jedoch zu einem Umdenken ein. Der Härtegrad einer Disziplin sollte seiner Position gemäß nicht an der Möglichkeit seiner Objektivierung gemessen werden, sondern an der Herausforderung, die damit einhergeht.

„We do our science under conditions that physical scientists find intolerable.“ (Berliner 2002, p. 19)

In dem Artikel führt Berliner (2002, p. 19f) die vielfältigen Herausforderungen an, mit welcher die Bildungsforschung konfrontiert ist. Die „Macht des Kontexts hebt hervor, dass Lehrkraft, Bildungsziel, Lehrende und der gesamtgesellschaftliche Kontext variable und mannigfaltige Faktoren sind. Was guter Unterricht ist, hängt von normativen Faktoren, persönlichen Kompetenzen, individuellen Zielen und unkontrollierbaren Faktoren ab. Schon eine Schularbeit, welche in der Stunde zuvor stattgefunden hat, oder ein heißer Sommertag können das beste Unterrichtskonzept auf den Kopf stellen. Dabei ist noch lange nicht die Diskussion eröffnet, welchem Ziel sich das pädagogische Vorhaben widmet und was generell unter gutem Unterricht oder gar Bildung verstanden wird. Die Faktoren, welche die Schwerkraft determinieren, sind keinem normativen und kulturellen Prozess ausgesetzt. Darüber hinaus lassen sie sich durch Variablenkontrollstrategien problemlos für experimentelle Zwecke gezielt variieren. Die Reduktion und Kontrolle von Freiheitsgraden stellen eine wichtige Grundlage für naturwissenschaftliche Forschung dar. Die Bildungsforschung hingegen ist mit der unumgänglichen „Allgegenwart von Wechselwirkung“ zwischen den zu untersuchenden Variablen konfrontiert, womit ein zweites Problemfeld des Artikels benannt ist. Das dritte bezieht sich auf die „kurze Halbwertszeit des pädagogischen Wissens“. Aufgrund gesellschaftlicher Umbrüche oder technologischer Entwicklungen kann in dieser Wissenschaftsdisziplin anerkanntes Wissen rasch sein Fundament verlieren.

Die eben genannte Problematik betrifft den Gegenstand, den ontologischen Referenzpunkt der jeweiligen Disziplin. Werden Entitäten wie Bildung oder Kultur in den Blick genommen, muss eingestanden werden, dass diese im engeren Sinn von Natur aus keinen objektiven und universellen ontologischen Gehalt besitzen, da es sich um Entitäten handelt, die in einem gesellschaftlichen Konstruktionsprozess entstanden sind. Auch wenn dieser zwar durch einzelne herausragende Individuen geprägt ist, ist Bildung keine Frage der rein subjektiven Auslegung. Letztendlich wird durch eine Vielzahl von Faktoren und soziologischen Mechanismen bestimmt, inwiefern gewisse Impulse einzelner Personen auch ihre Wirkung entfalten. Der ontologische Gehalt von Bildung und Kultur ist nicht vollkommen beliebig oder willkürlich bestimmbar, sondern entsteht in einem hochkomplexen und historisch gewachsenen Interaktionsprozess. Naturgesetze hingegen sind universell, zeitlos und kulturunabhängig. Der wesentliche Aspekt, welcher an dieser Stelle diskutiert wurde lautet: Aufgrund der geschilderten Tatsache sind Entitäten, auf welche sich Bildungs-

und Unterrichtsforschung beziehen, nicht im selben Ausmaß objektivierbar wie die Grundsätze der Natur. Diese Problematik betrifft nicht die Möglichkeiten und Grenzen einer wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Realität, sondern die Realität selbst.

Diese Differenz ist insofern von zentraler Bedeutung, weil sie einen Einfluss darauf hat, welche Strukturen noch vor jeglicher wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Forschungsgegenstand in der Realität anzutreffen sind. Die eben dargelegten Aspekte legen nahe, dass in der Realität nicht nur universelle, zeitlose und kulturunabhängige Naturgesetze anzutreffen sind. Soll dem Bildungswesen, seinen Zielen und Bemühungen nicht reine Willkür unterstellt werden, muss eingestanden werden, dass unsere Realität auch ontologische Strukturen umfasst, welche sozial konstruierte, einem zeitlichen Wandel unterworfenen sowie kulturabhängige Entitäten beinhalten. Diese ontologische Differenz betrifft die Realität selbst und nicht unmittelbar die Möglichkeiten und Grenzen wissenschaftlicher Bemühungen. Sie hat aber in weiterer Folge einen gravierenden Einfluss auf diese. Physikalisches Wissen besitzt demnach nicht einen Objektivitätsgehalt, weil die wissenschaftliche Expertise in diesem Bereich von überdurchschnittlich hoher Qualität ist. Vielmehr, weil der Gegenstand, auf den sich die Wissenschaft bezieht, von Natur aus einen hohen Objektivitätsgehalt besitzt.

Die Frage nach Wissenschaftlichkeit von Unterrichtsforschung sollte deshalb weniger im Bereich der Methoden und Theoriegewinnung verortet sein, da die Problematik von ontologischer Natur ist und demnach eine viel grundlegendere Herausforderung darstellt. Objektivität innerhalb physikalischer Forschung zu gewährleisten bedeutet bestimmte methodologische Gütekriterien zu erfüllen, sich auf einen eindeutigen Begriffskanon zu beziehen und Theorien mit universellem Gültigkeitsanspruch zu generieren. Dies ist möglich, da der Gegenstand, auf den sich das Wissen bezieht, diese Objektivierung von Natur aus besitzt. Sie liegt demnach nicht darin begründet, dass in diesem Bereich härtere bzw. bessere Forschung betrieben wird.

Der Bezugspunkt von bildungswissenschaftlicher Forschung ist jedoch von anderer ontologischer Struktur. Forschung über ein kulturabhängiges, normatives sowie historisch variables Konstrukt wie das der Bildung kann von Natur aus gar nicht den gleichen Objektivitätsgehalt erzeugen. Somit sind die Möglichkeiten und Grenzen der Objektivierung im Bereich der Bildungsforschung vorab jeglicher wissenschaftlicher

Anstrengung grundsätzlich limitiert. Es soll keinesfalls der herausragenden naturwissenschaftlichen Forschung ihre Leistung abgesprochen werden. Vielmehr soll auf eine oft übersehene Problematik aufmerksam gemacht werden, welche den *Anspruch an Unterrichtsforschung* zur Diskussion stellt!

In der Physikdidaktik kommen nun diese beiden Disziplinen zusammen. Nach der Auffassung des Autors wird dabei jedoch nicht ausreichend berücksichtigt, dass der Anspruch an Unterrichtsforschung nicht der gleiche sein kann wie jener im Bereich der Physik. Die meisten Physikdidaktiker*innen im deutschsprachigen Raum sind im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Paradigmas sozialisiert, ein Umstand der eng mit dem Ausbildungsweg von Physikdidaktiker*innen verbunden ist. Der Rahmen, in welchem die Aussagen dieser Arbeit Anspruch erheben, weicht aufgrund des bildungswissenschaftlichen sowie erkenntnistheoretischen Zugangs des Autors vom vorherrschenden Paradigma in einigen Punkten ab.

Darüber hinaus kam es innerhalb der Unterrichtsforschung in den letzten Jahrzehnten zu einer Trendwende, welche nicht unerwähnt bleiben sollte. Die empirische Wende (Roth 1962) markiert den Übergang von einer geisteswissenschaftlich orientierten Pädagogik zu einer sozialwissenschaftlich sowie empirisch fundierteren Bildungswissenschaft. Dieser Umbruch ging mit dem Wunsch nach Objektivierung einher. Rankings suggerieren durch die Macht der Zahlen eine bemerkenswerte Klarheit. Auch in Wissenschaftsdisziplinen, in welchen der ontologische Referenzpunkt mannigfaltig, hochkomplex, situationsabhängig sowie von individuellen und kulturellen Gegebenheiten geprägt ist.

Es ist eine interessante Fragestellung, warum Länder wie Deutschland ständig im (in Bezug auf die öffentlichkeitswirksame Diskussion) nicht zufriedenstellenden Mittelfeld von internationalen Vergleichsstudien wie PISA landen (OECD 2018) und gleichzeitig als Wirtschaftsmotor Europas angesehen werden. Der Anspruch, der an Wissenschaft und Bildung gestellt wird, entsteht in einem komplexen kulturellen und sozialen Ausverhandlungsprozess. Die ontologische Struktur von Bildung und Fragen des guten Unterrichts führen dazu, dass das, was diesbezüglich im Rahmen einer wissenschaftlichen Auseinandersetzung berechtigterweise Geltung beanspruchen kann, a priori nicht festgelegt sein kann. Es bedarf einer normativen Definition und lokalen Kontextualisierung.

Die breit angelegten, empirisch gestützten internationalen Vergleichsstudien beachten diese essenziellen und erkenntnistheoretische relevanten Nuancen jedoch nicht. Wenn das Objekt der Begierde in seiner ontologischen Struktur von kulturellen Faktoren unabhängig ist, kann leicht von einer Wiederholbarkeit von Experimenten ausgegangen werden. In bildungswissenschaftlichen Vergleichen zwischen einer Kontrollgruppe und einer Experimentalgruppe fließen jedoch so viele andere Faktoren mit hinein, dass die Variation einer einzelnen Variable unter spezifischen Bedingungen (Kontrolle aller anderen Variablen) nicht möglich ist. Die Herausforderungen, wie eingangs dargestellt, sind vielfältig und unumgänglich. Schon allein der normative Charakter von Bildung macht einen Vergleich von Unterrichtskonzepten über den eigenen Kulturraum hinaus sehr schwer. Die Kritik Berliners bezieht sich in erster Linie auf den Anspruch an Bildungsforschung, welcher sich in den letzten 20 bis 30 Jahren im Rahmen von internationalen Vergleichsstudien massiv verändert hat. Die Qualität eines Bildungssystems lässt sich leider nicht gleich scharf bemessen wie die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons in der Atomhülle.

„The remarkable findings, concepts, principles, technology, and theories we have come up with in educational research are a triumph of doing our damndest [sic] with our minds. We have conquered enormous complexity. But if we accept that we have unique complexities to deal with, then the orthodox view of science now being put forward by the government is a limited and faulty one. Our science forces us to deal with particular problems, where local knowledge is needed.“ (Berliner 2002, p. 20)

Darüber hinaus sollte nicht vergessen werden, dass Wissenschaft per se nur als Annäherung an Wahrheit verstanden werden kann. Gerade die Physik hat einige historische Beispiele zu bieten, welche Theorien eher als bestmögliche Erklärung bezeichnen lassen, denn als uneingeschränkt und allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten. Thomas Kuhn (1976) hat vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Revolutionen den Begriff des Paradigmas geprägt. Dass die naturwissenschaftliche Forschung in der Auseinandersetzung mit Wahrheit, dem subjektunabhängigen ontologischen Referenzpunkt, dabei exakter und objektiver als die Bildungsforschung vorgeht, liegt jedoch nicht darin begründet, dass ihre Anstrengung von höherer Qualität ist. Vielmehr ist ihr Gegenstand a priori von mehr Objektivität geprägt und ermöglicht dadurch ein anderes Ausmaß an Objektivierung.

Gerade in der physikdidaktischen Forschung ist dies von hoher Relevanz. Forschende in diesem Feld sind meist naturwissenschaftlich sozialisiert und wünschen sich klare und eindeutige Ergebnisse. Darüber hinaus wird in der Bildungsforschung aktuell und

ganz allgemein nicht selten mit einem methodologischen Anspruch geforscht, welcher der ontologischen Komplexität der Sache nicht gerecht wird. Um eine Metapher von Stefan Hopmann aufzugreifen, kann dies als „Blumenpflücken mit Mähdreschern“ bezeichnet werden.

Der eigene Standpunkt, im Rahmen dessen die Aussagen dieser Arbeit nun Geltung beanspruchen umfasst deshalb folgende Aspekte:

- In der empirischen Forschung wird ein Mehrwert gesehen, welcher eine Reflexion von Unterrichtsgeschehen anreichern kann. Es besteht dadurch die Möglichkeit, didaktisch relevante Vorannahmen und postulierte Ziele zu überprüfen. In dem Sinn kann die Analyse von transkribierten Unterrichtsgesprächen zentrale didaktische Prinzipien erweitern und innerhalb des beanspruchten Kontexts schärfen.
- Daraus können jedoch keine eindeutigen und universellen Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Inwiefern der Einsatz von Schüler*innen-zentrierten Experimenten grundsätzlich wertvoll oder phänomenologischer Unterricht der einzig wahre Ansatz ist, kann aufgrund der in diesem Kapitel dargelegten Herausforderungen nicht geklärt werden. Die Beantwortung der Forschungsfrage sowie alle Schlussfolgerungen daraus beanspruchen innerhalb eines eng gefassten Kontexts ihre Gültigkeit.
- Das Ziel dieser Arbeit ist es, Einblick in einen langjährigen Werdegang zu gewährleisten, welcher im Rahmen einer kritisch-konstruktiven Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein sowie moderner Unterrichtsforschung verortet ist. Es geht um das Schleifen eines Werkzeuges, dessen konkreter Einsatz für die Allgemeinheit offengehalten wird. Es wird dargelegt, wie es verwendet wurde, um so die *Möglichkeiten* zukünftiger Lehrkräfte, welche in dem dargelegten Zugang einen Mehrwert sehen, zu erweitern. Es soll dabei nicht nur die Qualität des eigenen Werkzeuges gehoben, sondern auch der physikdidaktische Werkzeugkasten im Allgemeinen mit einer spezifischen Interpretation des phänomenologischen Unterrichts angereichert werden.

2.2. Struktur dieser Arbeit

Wie aus dem vorhergehenden Kapitel zu entnehmen ist, liegt der Arbeit ein bildungswissenschaftlich geprägter Zugang zur Physikdidaktik zugrunde: Ein Umstand, der mit dem wissenschaftlichen Werdegang des Autors verknüpft ist. Auch die

Struktur dieser Arbeit ist von seiner bisherigen Biografie geprägt. Diese umfasst eine intensive theoretische Auseinandersetzung mit der Didaktik Wagenscheins ebenso wie eine empirisch gestützte Reflexion der eigenen Unterrichtspraxis. Auch wenn durch diesen doppelten Zugang der Umfang dieser Arbeit umfassender ausfällt, wäre eine empirische Evaluation einer Unterrichtseinheit nicht sinnvoll durchführbar, wenn sich diese nicht auf einen widerspruchsfreien Begriffskanon eines Unterrichtskonzepts bezieht. Andererseits: Die theoretische Auseinandersetzung mit der Didaktik Martin Wagenscheins würde den Kritikern nicht den Wind aus den Segeln nehmen, wenn nicht empirisch nachgewiesen wird, dass Unterricht nach Wagenschein grundsätzlich seine Versprechen einhalten kann. Die vorliegende Arbeit wird deshalb in zwei Teile gegliedert und verfolgt dabei zwei Ziele.

In einer ersten theoretischen Analyse (Kapitel 3 & 4) soll an den Ergebnissen einer vorhergehenden Diplomarbeit (Wallner 2011a) sowie an die dadurch beeinflusste Unterrichtspraxis der letzten zehn Jahre angeknüpft werden. Die Diplomarbeit vollzog aus dem Blickwinkel der historischen Bildungsforschung eine Analyse der Didaktik Wagenscheins. Zusätzlich wurde auf Basis dessen ein Mechanik-Lehrgang entwickelt und qualitativ sowie quantitativ empirisch untersucht. Das Fazit der Diplomarbeit lautet: Der Einsatz von *sokratischen Fragen* kann den unausgereiften Aufgriff der sokratischen Methode durch Wagenschein und seine vagen Regeln der Gesprächsführung bis zu einem gewissen Grad kompensieren. Eine detaillierte Strukturierung und Weiterentwicklung ihres Einsatzes ist jedoch notwendig. Um dies zu gewährleisten, werden im theoretischen Teil zunächst drei zentrale Herausforderungen dargelegt, welche sich in der bisherigen Auseinandersetzung mit der Didaktik Martin Wagenscheins ergeben haben. Auf Basis dessen wird ein Planungsschema entwickelt und die festgestellten Mängel werden behoben, indem der phänomenologische Begriffskanon Wagenscheins durch den Aufgriff aktueller fachdidaktischer Forschung geschärft wird. Ziel ist somit, die gewählte Unterrichtsmethode weiter zu präzisieren, indem die Möglichkeiten und Grenzen eines durch Martin Wagenschein inspirierten Unterrichtskonzepts weiter expliziert werden. Dies bedeutet, dass sich die vorliegende Arbeit nicht auf *den Unterricht nach Wagenschein* beruft, vielmehr auf eine Weiterentwicklung, welche im Rahmen der bisherigen kritisch-konstruktiven Auseinandersetzung und empirisch fundierten Reflexion mit dem Ursprungskonzept entstand.

Inwiefern dieses Planungsschema geeignet ist, auch im Rahmen einer Unterrichtseinheit seine Ziele zu erreichen, wird im zweiten Teil empirisch untersucht (Kapitel 5

bis 7). Dabei wird zunächst ein schon mehrfach in der Praxis eingesetztes Experiment im Bereich der Optik aufgegriffen und die Unterrichtseinheit auf Basis des Planungsschemas weiterentwickelt. Die Zielsetzung der Unterrichtseinheit umfasst den aktiven Zugriff von Alltagskonzepten und die Einbettung einer etablierten Sachstruktur vor dem Hintergrund der Einführung eines exemplarisch relevanten Konzepts der Optik, der Sender-Empfänger-Vorstellung. Das Experiment erhebt dabei den Anspruch, spezifische Erfahrungen zur Verfügung zu stellen, welche einen Konzeptwechsel einleiten, um den Schüler*innen mithilfe von sokratischen Fragen ein möglichst eigenständiges Erschließen theoretischer Gesetzmäßigkeiten zu ermöglichen.

In dem abschließenden Kapitel 8 werden im Rahmen einer Diskussion die Ergebnisse der beiden Teile zusammengetragen, offene Punkte geklärt und die Möglichkeiten einer weiteren Auseinandersetzung dargelegt.

2.3. Modell der Didaktik Martin Wagenscheins

In diesem Kapitel werden nun die Grundzüge der Didaktik Martin Wagenscheins mithilfe des didaktischen Dreiecks analysiert. Es orientiert sich dabei in erster Linie an einer Publikation Wagenscheins (1968), welches die Trias des Methodenkanons sogar im Titel trägt: „Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch.“ Ziel ist es, einen Überblick über das Zusammenspiel der zentralen Begriffe zu gewährleisten sowie Wagenschein-Laien eine knappe Einführung zu bieten. Gleichzeitig werden Bezüge zu Bereichen hergestellt, welche sich im theoretischen Teil der Arbeit als problematisch herausstellen werden. Das heißt: Die hier angeführte Darstellung der Didaktik Wagenscheins entspricht zum einen für den Zweck des Überblicks einer starken Vereinfachung und zum anderen einer ersten Interpretation durch den Autor, ergo nicht einer möglichst umfangreichen und originalgetreuen Darstellung dieser. Auf eine Anknüpfung an Fachliteratur wird an einigen Stellen zunächst bewusst verzichtet, da dies vor dem Hintergrund der theoretischen Forschungsfrage im Kapitel 4 ausführlich umgesetzt wird.

Die wohl einfachste Art, Unterricht zu definieren, lautet: Es handelt sich um einen Prozess, welcher die Elemente Inhalt, Lehrperson und Schüler*in umfasst. Setzt sich ein*e Schüler*in innerhalb ihrer Freizeit mit physikalischen Inhalten auseinander, handelt es sich nicht um Unterricht, sondern um ein Selbststudium. Bespricht eine Lehrperson mit eine*r Schüler*in die mangelnde Teilhabe am Unterricht, so hat dies bestimmt einen erzieherischen Wert, es handelt sich jedoch nicht um Unterricht. Findet

jedoch auf einer Wintersportwoche ein vertiefendes Gespräch zwischen Schüler*in und Lehrperson über die Aggregatzustände von Wasser statt, so wäre dies zwar keine klassische Unterrichtssituation, kann aber im weitesten Sinn als Unterricht bezeichnet werden.

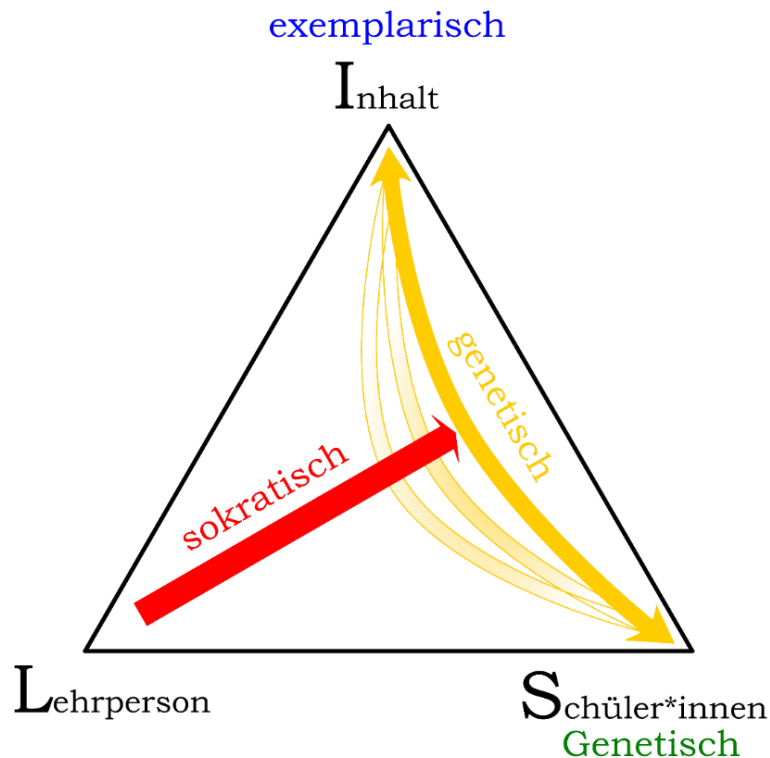


Abb. 1: Die zentralen Elemente der Didaktik Wagenscheins

Diese drei für Unterricht essenziellen Elemente können in Zusammenhang gebracht und im Rahmen eines Didaktischen Dreiecks (Abb. 1) dargestellt werden. Natürlich ist die Frage nach der Gestaltung von Unterricht bzw. die Qualität dessen weitaus komplexer. Um jedoch eine Übersicht zu gewähren, kann es hilfreich sein, auf diese Modellierung zurückzugreifen und die einzelnen Elemente in ihrem Kontext und ihrer Wechselwirkung darzustellen.

Das exemplarische Element in der Didaktik Wagenscheins scheint am wenigsten strittig. Es stellt einen direkten Bezug zu den Inhalten des Physikunterrichts dar, welche vor dem Hintergrund einer möglichst vielversprechenden Auswahl einiger Inhalte beispielhaft in Basiskonzepte der Physik einführen sollen. Zu klären sind unter diesem Aspekt die Auswahlkriterien der Inhalte bzw. der Phänomene. Welche Phänomene eignen sich besonders? Welche Basiskonzepte werden als so essenziell angesehen, dass eine vertiefende Betrachtung gerechtfertigt ist?

Das genetische Element bezieht sich laut Wagenschein auf den inhaltlichen Werdegang im Sinne einer Sachgenese. Es ist in der Ebene zwischen Schüler*in und Inhalt verortet. Die Pfeile in Abb. 1 betonen jedoch einen vielschichtigen und wechselseitig wirkenden Prozess. Gerade die Vorstellung einer geradlinigen und einsträngigen Sachgenese wird in Kapitel 3.4 als problematisch identifiziert. Um diesem Aspekt, welcher von einigen Kritikern der Didaktik Wagenscheins öfters angeführt wird, entgegenzutreten, könnte sich der Aufgriff aktueller physikdidaktischer Forschung lohnen. Im Planungsschema (Kapitel 4) werden drei Bereiche berücksichtigt, welche die Prinzipien des phänologischen Unterrichts weiter explizieren. Erstens die Alltagskonzepte der Schüler*innen, welche die Ausgangslage des genetischen Elements darstellen. Zweitens Fragen in Bezug auf eine vielversprechende Sachstruktur, welche den inhaltlichen Fahrplan für das genetischen Element festlegen können. Drittens ist in diesem Prozess der inhaltlichen Genese auch das Experiment, genau genommen die Erfahrung bei der Beobachtung spezifischer Phänomene wichtig. Diese Erfahrungen sollen eine Grundlage für das Infragestellen von Alltagskonzepten bieten, in sich schlüssige Konklusion herbeiführen und zu ersten Verallgemeinerungen anregen. Das Experiment soll in diesem Sinne einen Wendepunkt innerhalb des genetischen Elements initiieren, welcher zwischen Alltagskonzepten und physikalischem Inhalt steht, also zwischen Ausgangslage und Ziel.

Das sokratische Element scheint das umstrittenste in Wagenscheins Didaktik zu sein. Die Lehrkustdidaktik (Berg & Schulze 1995) hat es sogar durch ein anderes Prinzip ersetzt. Die Begründung für den Einsatz von konkreteren Impulsen in Form von sokratischen Fragen wird in Kapitel 3.3 dargelegt. Die Fragen sollen die Aufmerksamkeit auf wesentliche Aspekte der Phänomene lenken, eine Reflexion der Alltagskonzepte anregen, Vergleiche ermöglichen und Anlass für relevante Schlussfolgerungen bieten. Sie stellen ein zentrales Steuerungselement für die Lehrperson dar. Vorab definierte Fragen können dabei hilfreich sein, müssen jedoch nicht die einzigen Impulse sein, welche im Rahmen des Unterrichtsgeschehens zum Einsatz kommen. Auch wenn vielfältige und situationsabhängige Dialoge zu erwarten sind, können die Fragen ein hilfreiches Mittel darstellen, um einen spezifischen Weg einzuschlagen, falls von ihm abgekommen wurde.

Die Betrachtung des ganzen Prozesses auf einer Metaebene nimmt schlussendlich ein wesentliches Bildungsziel in den Blick. Das Genetische Prinzip fasst laut Wagenschein alle drei Begriffe seines Unterrichtskonzepts zusammen. Im Sinne

Wagenscheins betrifft es das „Werden des Menschen“ im Kontrast zu dem „Werden des Wissens“ (genetisch kleingeschrieben). Dass diese Differenzierung einerseits nicht näher ausgeführt und deshalb die beiden Begriffe nur auf mangelnde Weise aufgegriffen werden, wird in Kapitel 3.4 dargelegt. Auch, dass das Genetische Element andererseits die Möglichkeit liefert, Prinzipien eines kompetenzorientierten Unterrichts in einen phänomenologischen Zugang zur Physik zu integrieren.

Nachdem geklärt wurde, in welchem Rahmen die Aussagen dieser Arbeit Geltung beanspruchen, die Struktur der Arbeit dargelegt und ein Einblick in die Grundzüge der Didaktik Martin Wagenscheins gewährt wurde, wird der erste Teil der Arbeit angeführt. Nach einer knappen Einleitung in den Problemhorizont wird eine Forschungsfrage angeführt und bearbeitet.

3. Phänomenologischer Unterricht nach Martin Wagenschein - eine Problemanalyse

Martin Wagenschein ist ein Physikdidaktiker von besonderem Format. Dies lässt sich an mehreren Faktoren festmachen: Zum einen war er einer der ersten Physikdidaktiker im deutschsprachigen Raum und das von ihm entwickelte Unterrichtskonzept wird auch viele Jahre nach seinen Publikationen (u.a. 1965, 1968, 1983, 1986) immer wieder zitiert. Vielleicht lässt er sich sogar in die Riege der meistzitierten deutschsprachigen Physikdidaktiker einreihen, oder führt sie gar an? Eine Vermutung, welche an dieser Stelle nicht näher verfolgt werden kann. Des Weiteren besitzt er eine treue Anhängerschaft, welche nicht nur ein nach ihm benanntes Archiv pflegt, sondern auch bereit ist, sein Konzept vor kritischen Anmerkungen zu verteidigen. Dies spiegelt gerade die Diskussion rund um die Arbeit von Alexander Engelbrecht wider. Die in der Zeitschrift MNU geführte Diskussion hat den Ursprung in einer Publikation Alexander Engelbrechts (2003a), in welcher er die Ergebnisse seiner Dissertation (2003b) darstellt. Die emotional aufgeladene Debatte entstand in weiterer Folge (Appenzeller-Combe et al. 2004, Engelbrecht 2004). Die Veröffentlichungen in der MNU zeugen von einer emotional aufgeladenen Debatte, deren Standpunkte sich zunehmend verhärteten. Am Ende dieser standen sich zwei Lager gegenüber, die Beantwortung essenzieller Problemstellungen blieb jedoch offen. Dabei ist anzumerken, dass die Kritik an der Didaktik Martin Wagenscheins nicht neu ist. Dass Missverständnisse im Raum stehen bleiben oder Argumente nicht immer gut nachzuvollziehen sind, ist jedoch auch kein Novum.

Als Beispiel für ein solches Missverständnis kann die sokratische Methode angeführt werden, welche in den Schriften Wagenscheins sehr vage umschrieben wird und ohne nähere Ausführung der Philosophie entlehnt ist. Kein seriöser Wissenschaftler würde sich einer Methode aus einer anderen Disziplin bedienen, ohne diese explizit auf den neuen Gegenstandsbereich anzupassen. Die Anhängerschaft Wagenscheins hat dieser Problematik bis dato kaum Beachtung geschenkt. Hans Christoph Berg (1995) hat im Rahmen der Lehrkustdidaktik das sokratische Element sogar durch ein anderes, das dramaturgische, ersetzt. Die Kritik Engelbrechts an Wagenschein ist bis

zu einem gewissen Grad berechtigt, wenn er in seiner Dissertation die Widersprüchlichkeit zwischen dem genetischen und dem sokratischen Prinzip anführt – ein Aspekt, der später noch genauer analysiert wird. Andererseits handelt es sich bei der Schlussfolgerung Engelbrechts um einen gravierenden erkenntnistheoretischen Fehlschluss, wenn nach dem Unterricht in *einer* Klasse auf Basis *eines* Experiments behauptet wird, „genuiner Unterricht nach WAGENSCHHEIN ist nicht möglich“ (Engelbrecht 2003a, S. 464).

Das Besondere an der Didaktik Wagenscheins spiegelt sich nicht nur in seiner umfassenden Rezeption wider. Der Diskurs um sein pädagogisches Konzept ist auch durch eine Polarisierung² sowie kontinuierliche Versuche, es zu spezifizieren³, geprägt. Berechtigterweise stellt sich dadurch die Frage, inwiefern eine Auseinandersetzung mit der Didaktik Wagenscheins überhaupt lohnend zu sein scheint? Die Antwort darauf ist einfach: Es muss einen spezifischen Grund geben, warum Martin Wagenschein 50 Jahre nach dem Erscheinen seines Hauptwerks „Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch“ (1968) noch immer eine treue Anhängerschaft besitzt und heiß diskutiert wird. Um Missverständnissen vorzubeugen: Nach langjähriger und sehr kritischer Auseinandersetzung mit dem phänomenologischen Unterricht nach Wagenschein möchte der Autor eine Lanze für diese Art des Unterrichts brechen! Dabei wird jedoch versucht, die Kritik an Wagenschein nicht unerwähnt zu lassen. Denn möchte der Mehrwert phänomenologischen Unterrichts erschlossen werden, so ist eine konstruktiv-kritische Reflexion der Didaktik Wagenscheins unumgänglich.

3.1. Theoretische Forschungsfrage

Die beiden Forschungsfragen, mit welcher sich nun der erste Teil dieser Arbeit auseinandersetzt, lauten:

*Welche zentralen Herausforderungen lassen sich in der Didaktik
Martin Wagenscheins identifizieren?*

² Eine sehr ausführliche Analyse zu dem polarisierenden Diskurs findet sich in Wallner (2011a, S. 32-43).

³ Exemplarisch kann die Tatsache angeführt werden, dass von Walter Köhnlein schon 1973 eine umfassende Dissertation mit dem Ziel einer Systematisierung der Didaktik Wagenscheins verfasst wurde. Auch diese Arbeit versucht Klarheit in den verwendeten Begriffskanon zu bringen.

*Welche Ansätze der aktuellen Physikdidaktik können in das
Unterrichtskonzept integriert werden, um den festgestellten
Herausforderungen zu entgegenen?*

Die gewählte Vorgehensweise, um diese Forschungsfragen zu beantworten, umfasst eine theoretische Analyse, welche durch das Heranziehen wissenschaftlich relevanter Quellen und logischer Argumentation versucht, einen möglich objektiven Standpunkt herauszuarbeiten.

3.2. Erste Herausforderung: Pathetische reformpädagogische Wurzeln

Eine erste wesentliche Herausforderung in der Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein liegt in den reformpädagogischen Wurzeln seines didaktischen Konzepts. Nun sind reformpädagogische Konzepte per se nichts Schlechtes. Problematisiert wird in diesem Kapitel das Pathos, welches auch den Schriften Wagenscheins inhärent ist. Eine kritische Auseinandersetzung mit der Sprache der Reformpädagogik findet sich Schirlbauer (2005, S. 11-19) wieder.

Dieser Aspekt lässt sich gut mit folgendem Beispiel erläutern: In mathematikdidaktischen Fortbildungen sind oft Angebote zu finden, welche sich unter dem Motto „Mathematik endlich be-greifen“ zusammenfassen lassen. Der Kopflastigkeit des Faches soll entgegengewirkt werden, niederschwellige Angebote sollen die Angst nehmen. Dabei wird jedoch meist vernachlässigt, dass Mathematik immer mit einer abstrakten und theoretischen Analyse quantifizierbarer Objekte einhergeht. Auch wenn die Dimensionen eines Kreises mit unseren Sinnen erfahrbar sind und es hilfreich sein dürfte, die Kreiszahl π experimentell zu bestimmen, in dem eben diese Dimensionen an einer Vielzahl von Kreisen gemessen werden, um die Konstanz einer elementaren Größe zu erschließen, so handelt es sich bei Umfang und Durchmesser eines Kreises um die physikalische Dimension der Länge. Die Zahl π wird erst durch das Zueinander-in-Verhältnis-setzen dieser Dimensionen erschlossen. Es bedarf eines kognitiven Abstraktionsprozesses, das Bilden eines Quotienten, die Reduktion von Materie auf den quantifizierbaren Aspekt seiner Ausdehnung. Der mathematische Gehalt umfasst in diesem Beispiel einen Akt *des Denkens* und nicht des Erfühlens. Bestimmt können haptische Erlebnisse im Sinne der Anschaulichkeit förderlich für eine kognitive Auseinandersetzung mit einem komplexen Sachverhalt sein. Pathetisch ist ein solcher Ansatz, wenn ein Hands-On-Erlebnis so sehr in den Vordergrund rückt,

dass Mathematik *begreifen* im Sinne eines kognitiven Nachvollziehens nicht gegeben ist: Dadurch bleiben der mathematische Gehalt und damit auch der angestrebte Erkenntnisgewinn auf der Strecke. Hands-On-Zugänge, welche primär Faszination und Begeisterung erzeugen möchten, weil die Angst vor Mathematik oder Physik so umfassend ist, lehren nicht verstehen, sondern verharren in einer emotionalen Auseinandersetzung. Vielmehr sollte der Frage nachgegangen werden, inwiefern ein mögliches Motivationspotential von Experimenten, Naturerfahrungen, Projektarbeiten und ähnlichem genutzt werden können, um abstrakte Überlegungen und theoretische Schlüsse zu fördern bzw. inwiefern nicht auch das Nachdenken über komplexe Sachverhalte durchaus Spaß machen kann. Werden diese Aspekte verstanden und nicht bloß in den Hintergrund gerückt, dann fällt auch die Angst.

Als weiteres Beispiel kann das viel zitierte „Learning by Doing“ angeführt werden, welches oft als Plädoyer für fächerübergreifenden Projektunterricht herhalten muss. Dieser Aufgriff vernachlässigt jedoch die Tatsache, dass Instrumente der Auseinandersetzung mit der Welt (doing) in der Erkenntnistheorie der Pragmatisten auch rein abstrakte und kognitive Prozesse umfassen. In der vorhergehenden Diplomarbeit wurde im Rahmen der Auseinandersetzung mit John Dewey detaillierter auf diese Problematik eingegangen. (Wallner 2011a, S. 27-32)

Martin Wagenscheins Texte berühren emotional. In Wallner (2011a, S. 35f) wird etwas ausführlicher auf diesen Aspekt eingegangen. Ein Blick auf einen Ausschnitt des Wagenschein-Texts „Das große Spüreisen“ reicht jedoch aus, um die ergreifende und faszinierende Sprache Wagenscheins zu belegen:

„Ob es wohl magnetisiert, aufgehängt oder auf eine Spitze gesetzt, dem Ruf des magnetischen Erdfeldes folgen würde? [...] Es hängt unbeweglich, passiv, und mit seinem ergebenen niedergebeugten Enden wie horchend da. Ob der ferne kanadische Pol es erreicht, und sein noch ferner antarktischer Bruder? Ob es empfindlich genug ist, das Gefälle zu spüren, das, zwischen ihnen ausgespannt uns alle durchdringt, auch uns magnetisch Unbegabte, daß wir uns ein Bild machen müssen und uns feine graue Fäden ausdenken, die wie parallele Telegraphendrähte zwischen Nord und Süd gespannt [...]“ (Wagenschein 1965, S. 175)

Grundsätzlich ist an dieser Ausdrucksweise auch nichts auszusetzen, auch wenn sie auf den ersten Blick die physikalische Perspektive stark kontrastiert. Eine Problematik ist lediglich gegeben, wenn ein Folgeschritt ausbleibt oder die Orientierung an dem Faszinierenden eine zu dominante Rolle einnimmt. Das Anliegen, welches hier

kommuniziert werden soll, lässt sich wie folgt darlegen und stellte die persönliche pädagogische Leitlinie des Autors dar:

Die wahrscheinlich größte Herausforderung guten Physikunterrichts besteht darin, den natürlichen Erkenntnisdrang von jungen Menschen aufrecht zu erhalten und gleichzeitig ein spielerisch-freudvolles Interesse in eine abstrakte wissenschaftliche Betrachtung des Phänomens zu integrieren!

Damit wird eine Gegenposition zu den folgenden und etwas zugespitzten Annahmen eingenommen:

- a) Nur weil ein Phänomen emotional berührt, lernen Schüler*innen noch nicht automatisch etwas.
- b) Nur weil Schüler*innen etwas selbst mit den Händen machen, werden sie die gegebenen Inhalte nicht zwangsläufig leichter verstehen.

Emotionen und Begeisterung bei den Lernenden auszulösen oder kognitive Aspekte mit physischer Interaktion zu verknüpfen ist andererseits auch nicht pauschal abzulehnen. Es soll vielmehr die Frage gestellt werden, wie die damit einhergehenden positiven Aspekte auch im Rahmen einer kognitiven Auseinandersetzung genützt werden können. Es scheint sehr gute Gründe zu geben, warum Experimente begeistern, Hands-On-Aktivitäten populär sind und Martin Wagenschein bis heute fasziniert. Wie können diese Aspekte sinnvoll in das Lernen eingebettet werden? Was sind die Vorteile eines solchen Zugangs? Wo liegen die Herausforderungen?

Eine zentrale These des in dieser Arbeit vorgestellten Zugangs liegt darin, dass die genannten Aspekte eine große motivationale Wirkung entfalten. Experimente machen einfach Spaß! Im Rahmen der vorhergehenden Diplomarbeit wurden im Anschluss an den durchgeführten Mechanik-Lehrgang offene Fragen gestellt. Auf die Frage, was die Teilnehmer*innen (N = 10) am „interessantesten/besten“ fanden, wurden zu 63,63 % Nennungen in Bezug auf das Experimentieren, gefolgt von 18,18 % das Nachdenken betreffend angeführt. Am „langweiligsten/schlechtesten“ wurde zu 50 % Nichts bzw. zu 30 % Schreiben angegeben.

Hinzukommt ein weiterer Aspekt, welcher phänomenologischem Unterricht inhärent ist: der Aufgriff der Lebenswelt. Durch diesen ist die Anschlussfähigkeit an die Konzepte und Perspektiven der Schüler*innen gegeben. Martin Wagenschein hat diesbezüglich von dem Bauen einer Brücke gesprochen. Eine neuere Publikation von

Marc Müller (2016) bedient sich mit dem Begriff Naturspiele jedoch einer anderen Metapher: Das Zuschütten eines Grabens durch diese betont vielmehr die Überschneidungen der lebensweltlichen Konzepte mit der wissenschaftlichen Perspektive. Naturspiele werden in diesem Sinn als vorwissenschaftliche Auseinandersetzung mit Welt betrachtet, welche zwar nicht dem Anspruch elaborierter Wissenschaft Rechnung trägt, dennoch grundlegende Elemente dieser umfassen kann. Spielende Kinder sind oft auch forschende Kinder. Das *Warum?* ist zentraler Bestandteil ihrer Auseinandersetzung, das Bilden von Kausalitäten ein vielleicht unbewusster, jedoch inhärenter Prozess. Wenn Kleinkinder Objekte beständig zu Boden fallen lassen, so machen sie eine wichtige entwicklungspsychologische Erfahrung: Die Welt fußt auf bestimmten Gesetzmäßigkeiten. Immer wenn ich etwas loslasse, fällt es zu Boden. Darauf kann ich mich verlassen.

Auch wenn die Faszinationskraft von phänomenologischen Experimenten gelegentlich in einem verklärten reformpädagogischen Gewand steckt, so ist sie nicht grundsätzlich abzulehnen. Das kritisierte Pathos kann abgelegt werden, die Begeisterungsfähigkeit dennoch bestehen bleiben. Der Wunsch, ein Phänomen begreifen zu wollen und die kindliche Neugier stellen in diesem Sinn wertvolle Ressourcen dar. Welche Chancen und Herausforderungen dadurch entstehen, wird im Kapitel 4.2 Alltagskonzepte der Schüler*innen - Ausgangslage des genetischen Prozesses näher spezifiziert.

Durch diese kritisch-konstruktive Perspektive kann auch eine weitere zentrale Frage beantwortet werden: Welche Phänomene eignen sich besonders gut für eine nachhaltige Genetische Bildung im Sinne Wagenscheins? Das Phänomen stellt das Bindeglied zwischen der vorwissenschaftlichen und der physikalischen Perspektive dar, es lässt sich von beiden Seiten erschließen. Wieso nicht Phänomene wählen, welche etwaige Diskrepanzen und Unterschiede zwischen diesen besonders gut veranschaulichen? Die diesbezügliche Verortung des Phänomens wird im Kapitel „Das Experiment - Der Wendepunkt im genetischen Prozess“ näher ausgeführt.

Jedoch ist diese lediglich eine von mehreren sinnvollen Orientierungen. Betont werden soll an dieser Stelle jedoch: Das bloße Staunen reicht nicht aus, um einen Lernprozess zu initiieren und die Impulse für eine gewisse kognitive sowie abstrakte Auseinandersetzung darf in einer akademischen Beschäftigung mit einem Sachverhalt nicht fehlen.

3.3. Zweite Herausforderung: Mangel an empirisch gestützter Unterrichtsforschung

In der Unterrichtsforschung des 20. Jahrhunderts gibt es einen maßgeblichen Einschnitt, welcher als empirische Wende (Roth 1962) bezeichnet wird. Damit ist der schrittweise Übergang einer philosophisch orientierten Pädagogik zu einer empirisch fundierten und sozialwissenschaftlich geprägten Bildungswissenschaft gekennzeichnet. Letztere hat im Rahmen von internationalen Schulleistungsstudien sowie Kompetenzüberprüfungen, welche ab der Jahrhundertwende flächendeckend eingesetzt wurden, einen weiteren massiven Schub erhalten. Wird die Literatur zu Martin Wagenschein gesichtet, so scheint es, dass die empirische Wende in diesem Bereich noch nicht vollzogen wurde. In diesem Kapitel wird nun diesbezüglich exemplarisch auf aktuelle Publikationen eingegangen sowie die Notwendigkeit empirisch gestützter Unterrichtsforschung im Bereich des phänomenologisch orientierten Unterrichts herausgearbeitet. Dabei darf nicht vernachlässigt werden, was im Vorwort bezüglich des Aussagehorizonts bildungswissenschaftlicher Forschung eingeräumt wurde. Auch wenn diese Arbeit nicht den Anspruch erhebt, absolute Aussagen und eindeutige Gesetzmäßigkeiten herauszuarbeiten und es viel mehr um ein Aufzeigen von Optionen, Möglichkeiten, Grenzen sowie Herausforderungen geht, ist die Notwendigkeit empirisch gestützter Forschung dadurch nicht beeinträchtigt.

Als Beispiel kann nun an dieser Stelle die Lehrkustdidaktik angeführt werden, welche in der Tradition von Martin Wagenschein steht. Hans Christoph Berg (1995) hat die didaktische Konzeption weiterentwickelt und das sokratische Gespräch durch ein dramaturgisches Element ersetzt. Eine Vielzahl von engagierten Lehrer*innen haben im Rahmen dessen konkrete Unterrichtsreihen ausgearbeitet und für diesen Zweck ihre Durchführung detailliert dargestellt sowie didaktisch begründet. Angeführt werden kann zum Beispiel die Dissertation von Marc Eyer (2013), in welcher die Lehrkustdidaktik umfassend erläutert sowie drei Lehrkunststücke veröffentlicht wurden. Allerdings räumt Marc Eyer im Abstract ein:

„Im ersten Teil dieser Arbeit wird die Lehrkunst als Methodik und als Didaktik in der aktuellen Bildungslandschaft diskutiert. Dabei leite ich die der Arbeit zugrunde liegende These aus der Lehrkustdidaktik und der Wagenschein-Didaktik ab.

Im zweiten Teil wird anhand dreier konkreter Unterrichtseinheiten zu exemplarischen Themen aufgezeigt, wie der Einbezug der Kulturgeschichte in die Unterrichtsgestaltung gelingt. Dies geschieht an den Themen Luftdruck (Raum und Materie), Fallgesetz (Bewegung) und der Optik (Licht). Diese Unterrichtseinheiten

wurden eigens hinsichtlich der These dieser Arbeit (weiter-)entwickelt. Die These wurde allerdings nicht im Rahmen einer empirischen Studie getestet.“ (2013, S. 8)

Dies bedeutet, dass mithilfe einer bildungstheoretischen Analyse didaktische Überlegungen für die Planung konkreter Unterrichtseinheiten herangezogen wurden, die empirische Überprüfung dieser jedoch ausblieb. Neben der Dissertation von Marc Eyer kann eine weitere aktuelle Dissertation angeführt werden, welche schon im vorhergehenden Kapitel erwähnt wurde. Marc Müller (2016) beschäftigte sich im Rahmen einer höchst interessanten sprachphilosophischen Analyse mit einer zentralen Grundlage des phänomenologischen Unterrichts, der „Grammatik der Natur“. Weiters wird in dem Sammelband „Martin Wagenschein - Faszination und Aktualität des Genetischen“ (Kruse, Messner & Wollring 2012) zwar eingangs die ungebrochenen Faszinationskraft konstatiert, aber auch dieses Werk kommt ohne zeitgemäße Methoden der Unterrichtsforschung aus.

Die angeführten theoretisch und schulpraktisch orientierten Beiträge sollen durch diese Feststellung keinesfalls in ihrem Mehrwert geschmälert werden. Jedoch führen die Tatsachen, dass der kritische Diskurs um Wagenschein an verhärteten Fronten geführt, der pathetische Zugang relativ unreflektiert tradiert wird und, wie sich im folgenden Kapitel zeigen wird, der zentrale Begriffskanon Wagenscheins alles andere als eindeutig ist, zu einigen offenen Fragen. Die Eigenheit, dass es so gut wie keine empirisch fundierten Studien über phänomenologisch orientierte Unterrichtseinheiten gibt, welche der Frage nachgehen, inwiefern die didaktischen Ansprüche Wagenscheins auch in der Praxis eingelöst werden können, ist gerade vor diesem Hintergrund problematisch. Zwar wurden im Kapitel 2.1 die Möglichkeiten und Grenzen der empirischen Forschung relativiert und die eingangs angeführte empirische Wende (Roth 1962) kritisch betrachtet, jedoch ist aus der Diplomarbeit (Wallner 2011a) ersichtlich, welchen Mehrwert eine empirisch gestützte Reflexion von Unterrichtsprozessen liefern kann. In dieser Arbeit kann nicht der Anspruch auf eine vollständige und lückenlose Literaturrecherche erhoben werden. Jedoch wurde im Rahmen einer mehrjährigen und intensiven Auseinandersetzung mit der Literatur zu Wagenschein dieses Fazit gewonnen. Eine Ausnahme stellt Susanne Brülls (2004) dar, welche Interviews und Kompetenztests einsetzt. Jedoch liegt die Zielsetzung ihrer Arbeit auf der Analyse der Schwierigkeiten, welche Lehramtsstudierende bei der Umsetzung der Didaktik Wagenscheins haben. Der Aspekt, inwiefern die Didaktik Martin Wagenscheins auch seinem Anspruch gerecht werden kann, wird nicht untersucht.

Ein detaillierterer Blick auf die bereits angeführte Diplomarbeit (Wallner 2011a) betont jedoch die Notwendigkeit einer empirischen Untersuchung. Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wurde eine Unterrichtseinheit in mehreren Gruppen durchgeführt, die vielfältigen sokratischen Dialoge wurden vollständig transkribiert und mithilfe von qualitativen Methoden sowie einem Pre-Post-Test ausgewertet. Zum Einsatz kam ein international eingesetztes Standardinstrument, das Force-Concept-Inventory⁴, welches die Konzepte der Schüler*innen im Bereich der Mechanik abfragt. Die Forschungsfrage wurde in der Arbeit wie folgt beantwortet.

„Die FCI-Daten zeigen, dass mit Ausnahme von drei SchülerInnen ein erfolgreicher Konzeptwechsel initiiert werden konnte, welcher von einem häufig erfolgreichen Einsatz der sokratischen Methode erzielt wurde.“ (Wallner 2011a, S. 183)

Teilgenommen haben 11 Schüler*innen, wobei ein Schüler nicht durchgängig am Lehrgang teilgenommen hat, jedoch aus der Auswertung nicht ausgeschlossen werden konnte, da er an den anwesenden Tagen einiges zu den sokratischen Gesprächen beigetragen hat. Von dieser Person abgesehen, konnten 80 % der Teilnehmer*innen einen deutlichen bis sehr hohen Lernzuwachs verzeichnen (Wallner 2011a, S. 94f), was als sehr zufriedenstellendes Ergebnis gewertet werden könnte. Die detaillierte Analyse der sokratischen Gespräche zeigt jedoch ein anderes Bild. Nicht immer wurde der Erwartungshorizont zufriedenstellend erfüllt, manche Gespräche haben sich als langatmig herausgestellt. Zusammenfassend wurde festgehalten:

„Auf den ersten Blick lässt sich feststellen, dass es nicht möglich ist, das Unterrichtskonzept Wagenscheins als Garantieverprechen aufzufassen. Die Kritik Engelbrechts (2003b) ist insofern berechtigt, da die teilweise stark idealisierten Darstellungen der Unterrichtsvorschläge Wagenscheins einige Fragen offen lassen [...]. So ist auch das sokratische Gespräch bestimmt keine universell einsetzbare Unterrichtsmethode, und die physikalischen Gesetzmäßigkeiten lassen sich nicht einfach mit der Formulierung von 3-5 Fragen unmittelbar und ohne Hürden erschließen.“⁵ (Wallner 2011a, S. 172)

⁴ Der FCI-Test geht auf eine Publikation von David Hestenes, Malcolm Wells und Gregg Swackhamer (1992) in der Zeitschrift The Physics Teacher zurück. Der Test liegt auch in einer deutschen Übersetzung und mehreren überarbeiteten Versionen vor. Auch wenn es eine kritische Auseinandersetzung in Bezug auf seine Aussagekraft gibt (u.a. Schecker & Gerdes 1999), handelt es sich wahrscheinlich aktuell um das beste Erhebungsinstrument um das Vorhandensein von Alltagskonzepten im Bereich der Mechanik zu überprüfen.

⁵ Die Kurzbelege innerhalb eines Zitates stimmen mit den Angaben des Literaturverzeichnisses dieser Arbeit überein. Falls dies nicht der Fall ist, werden die Angaben in eckiger Klammer ergänzt. Verweise auf Kapitelnummern der Diplomarbeit werden mittels [...] jedoch ausgelassen, da es sonst zu Missverständnissen kommen könnte.

Die Kritik Engelbrechts fußt auf im Wesentlichen auf dem Spannungsfeld, welches vom sokratischen sowie genetischen Element flankiert ist. Auf der einen Seite steht eine Methode, welche durch ihren offenen Verlauf geprägt ist. Auf der anderen ein sehr konkreter inhaltlicher Fahrplan. Die Intention des Lehrenden steht der Situationsabhängigkeit von unterschiedlichen Unterrichtsverläufen gegenüber. In der Diplomarbeit wurde im Rahmen einer theoretischen Analyse jedoch gezeigt, dass der von Engelbrecht angeführte Widerspruch nur ein vermeintlicher ist und sich aufheben lässt. (Wallner 2011a, S. 50f) Zudem konnte auf Basis empirischer Daten belegt werden, dass sich trotz vielfältiger Gesprächsverläufe eine bestimmte genetische Struktur sehr wohl durch die transkribierten Dialoge zieht. Damit kann der fundamentalen Ablehnung Engelbrechts durch empirische Belege die Grundlage entzogen werden. Die wichtigsten Ergebnisse der empirischen Arbeit (Wallner 2011a, S. 172-179 & 184-188) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die analysierten Unterrichtsverläufe sind nicht identisch und unterscheiden sich in Bezug auf Details und Gesprächsentwicklungen. Einige Inputs der Schüler*innen sorgen dafür, dass von der geplanten Sachgenese teilweise abgewichen wird. Dennoch lässt sich die genetische Struktur trotz aller Unterschiede in allen Gruppen wiederfinden. Zusätzlich bezeugt der Pre-Post Test einen erfolgreichen Konzeptwechsel.
- Für einen erfolgreichen Einsatz der sokratischen Fragen war es wesentlich, inwiefern die Schüler*innen nachvollziehen konnten, welcher Aspekt im Fokus der Beobachtung steht. War dies gegeben, konnten sie ihre Alltagskonzepte rasch überwinden und die Sachgenese im Rahmen des sokratischen Gesprächs verlief sehr zielstrebig. Die Herausforderungen sind viel umfassender, als dies nach der Lektüre der Arbeiten Wagenscheins zu vermuten ist und die dargestellte Sachgenese entspricht einem sehr idealisierten Fahrplan. Die vagen Regeln zu Gesprächseinstieg und Gesprächsführung sind alles andere als geeignet, um den gegebenen Herausforderungen zu entgegenen.

Wahrscheinlich bringt es das Wort *Kunst* in der Lehrkunsstdidaktik auf den Punkt. Lehrer*innen, welche sich über viele Jahre intensiv mit Wagenschein beschäftigt haben, dürften irgendwie wissen, wie es geht. Sie bergen einen immensen Erfahrungsschatz in sich, welcher ihnen hilft, an den kritischen Stellen der Gespräche phänomenologisch orientierten Unterrichts gegenzusteuern, um letztendlich einen produktiven Prozess entstehen zu lassen. Sie besitzen ein besonderes Geschick, eine

erworbene Fertigkeit, welche ihnen hilft, den Bogen von der Lebenswelt der Schüler*innen zu der abstrakten und differenzierten Perspektive der Wissenschaft zu spannen. Aber was zeichnet dieses Geschick aus? An welchen Stellen, auf Basis welcher Grundlage und in welcher Form greifen sie in den genetischen Prozess ein?

Der Bericht von Marc Eyer über die Durchführung des Lehrkunststückes „Pascals Barometer“ (Eyer & Aeschlimann 2013, S. 31ff) liefert diesbezüglich Einblick. In den ersten Minuten der Unterrichtseinheit ist die Lehrperson mit stichhaltigen und plausiblen Argumenten seitens der Schüler*innen konfrontiert. Fachbegriffe und schlüssige Konzepte werden eingebracht, welche aufgegriffen werden könnten, um so innerhalb kürzester Zeit eine richtige Erklärung für das zu beobachtende Phänomen zu finden. Die Lehrperson steuert jedoch aus guten Gründen und geschickt dagegen. Sie schöpft aus einem Erfahrungsschatz, findet die richtigen Fragen, um die Substanz der eingebrachten Argumente zu prüfen und gleichzeitig sicherzustellen, dass möglichst alle Beteiligten diese nachvollziehen können. Dennoch ist nach der Lektüre unklar, nach welchen Prinzipien dies erfolgt ist. Die Antwort darauf steckt zwischen den Zeilen.

Eine gründliche und empirische fundierte Evaluation könnte diesbezüglich einen wichtigen Aufschluss liefern. Wie sich in der angeführten Diplomarbeit gezeigt hat, ermöglicht die detaillierte Einsicht in die transkribierten Gesprächsverläufe der drei Gruppen eine bedeutende Reflexion des Prozesses. Welche Elemente und Impulse können eine produktive Unterrichtssituation hervorrufen, in welchen Situationen ist dies nicht der Fall? Welche sokratischen Fragen sind besonders wertvoll? Welcher Formulierungen bedienen sie sich, damit die Schüler*innen nicht zur Gänze im Dunklen tappen, jedoch nicht schon in der Frage die richtige Antwort erkennen? All dies zielt auf eine umfassende Auseinandersetzung mit dem wohl schwächsten Glied der Wagenschein Didaktik, dem sokratischen Gespräch ab. Eine solche Auseinandersetzung kann die wesentlichen Prinzipien der Gesprächsführung sichtbar machen, um so zukünftigen Lehrer*innen die Didaktik Wagenscheins zielgerichteter nahelegen zu können.

Das wesentliche Fazit der bisherigen empirischen Untersuchung mündet in der Empfehlung, die Auseinandersetzung mit dem Phänomen noch feiner als bisher zu strukturieren. Die sokratischen Fragen haben sich im Rahmen des Mechanik-Lehrgangs als recht hilfreich erwiesen. Immer wieder war es dadurch möglich, den

Gesprächsverlauf auf die wesentlichen Aspekte zu lenken. Den recht offenen und vagen Regeln für das Führen eines sokratischen Gesprächs konnte damit entgegengewirkt werden. Jedoch stellte sich heraus, dass die Analyse der Experimentierphase deutlicher gegliedert werden sollte. Zuerst sollte ein genaues Beobachten mittels sokratischer Fragen angestrebt werden, ehe diese in eine erste Interpretation und Auseinandersetzung mit Alltagskonzepten mündet. Erst danach ist es sinnvoll, weitere Verallgemeinerung zu treffen, zentrale Begriffe zu definieren und Gesetzmäßigkeiten zu formulieren. Da phänomenologischer Unterricht die Lebenswelt der Schüler*innen aufgreift und diese in eine wissenschaftliche Perspektive überleitet, kann des Weiteren empirisch fundierte Forschung in diesem Bereich Aufschluss über den Umgang mit Alltagskonzepten der Schüler*innen liefern oder Beiträge in Bezug auf Conceptual Change-Ansätze liefern. Darüber hinaus war es sehr aufschlussreich, die eignen Unterrichtsgespräche Wort für Wort zu analysieren und sich selbst in Unterrichtssituationen kritisch-konstruktiv zu betrachten.

Neben empirisch fundierter Forschung gibt es noch eine weitere Möglichkeit, die Vorzüge von phänomenologisch orientiertem Unterricht sichtbar zu machen und die eine oder andere Herausforderung in diesem Bereich besser zu meistern. Das folgende Kapitel setzt sich mit dem Begriffskanon Martin Wagenscheins auseinander.

3.4. Dritte Herausforderung: unscharfe Begriffsdefinition

Es wurde bereits an einigen Stellen dieser Arbeit auf den unscharfen Begriffskanon verwiesen, welcher in der Didaktik Martin Wagenscheins eine zentrale Rolle einnimmt. Diese Aussage bezieht sich auf die Trias, welche auch im Titel einer seiner Hauptwerke vorkommt: „Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch“ (Wagenschein 1968). In diesem Kapitel soll nun diese Unschärfe näher beleuchtet und ausführlicher belegt werden. Zugleich wird jedoch, so wie in den vorhergehenden Kapiteln, ein Ausweg aus dieser Problemstellung aufgezeigt.

Eine detaillierte Auseinandersetzung mit der sokratischen Methode findet sich in der Diplomarbeit (Wallner 2011a, S. 43-51) wieder. In dieser wird auf die historische Entwicklung und auf den epistemologischen sowie lerntheoretischen Hintergrund eingegangen. Die Kernaussagen dessen wurden in der vorliegenden Arbeit bereits großteils erwähnt. An dieser Stelle sollen sie zusammenfassend angeführt sowie teilweise um zentrale Argumente ergänzt werden.

Martin Wagenschein hat die Hebammenkunst bzw. die auf Leonard Nelson (1929) zurückgehende neosokratische Methode der Philosophie entlehnt und diese dabei nicht explizit auf den neuen Gegenstandsbereich angepasst. Dabei unterscheiden sich die Methoden und Inhalte dieser beiden Disziplinen wesentlich. Den normativen und kulturspezifischen Standpunkten einer ethischen Diskussion um die Frage zur Sterbehilfe steht das zeitlose und universelle Fallgesetz gegenüber. Es darf angenommen werden, dass die Auseinandersetzung mit ontologisch so unterschiedlich strukturierten Gegenständen auch Divergenzen didaktischer Natur hervorruft.

Eine weitere Herausforderung wird unter anderem im Rahmen der Lehrkustdidaktik thematisiert, welche das sokratische Element durch ein dramaturgisches ersetzt hat.

„[...] das sokratische Lehren erfordert, wenn es nicht zu einem suggestiven oder gängelnden Herausfragen missraten soll, ein großes Geschick. Wir meinen, daß dies nur eine Möglichkeit der Regieführung durch den Lehrer ist, und daß es sehr viel wichtiger und zugleich auch einfacher ist, die Schülerinnen und Schüler in irgendeine Art von Handlung zu verwickeln und sie auf diese Weise zur Äußerung anzureizen und damit eine Möglichkeit der Überprüfung und der Selbstkorrektur zu eröffnen. In diesem Sinne ist die Lehrweise der Lehrkunst eher eine dramatische als eine sokratische.“ (Berg & Schulze 1995, S. 381)

Allerdings wird dadurch, wie schon im vorhergehenden Kapitel angeführt, eine wesentliche Herausforderung nicht gelöst: Auf welche Art und Weise sowie ab welchem Punkt greift die Lehrperson in den Prozess ein, wenn Schüler*innen von der geplanten Dramaturgie abweichen? Nach welchen Prinzipien richtet sich Dramaturgie, damit wirklich alle verstehen? Ist die historische Genese eines theoretischen Aspekts tatsächlich deckungsgleich mit der individuellen Genese eines Gedankengangs? Natürlich hat die Lehrkustdidaktik die Regieführung im Bereich des phänomenologischen Unterrichts weiterentwickelt und Lücken in Wagenscheins Didaktik geschlossen. Mit einem Blick auf die Publikation von Marc Eyer und Ueli Aeschlimann (2013) kann festgestellt werden: Der Lehrgang sowie die Darstellung des Unterrichtsgeschehens zeugen von langjähriger Erfahrung und gut einstudierten Abläufen, Methoden und Redewendungen, die den Prozess gut steuern. Jedoch bleiben die eben angeführten Fragen unbeantwortet oder sind lediglich implizit im Erfahrungswissen der Beteiligten eingebettet. Es würde nicht nur die Qualität phänomenologischen Unterrichts steigern, wenn dieses Prozesswissen expliziert wird. Es könnte sich auch als hilfreich erweisen, um die Grundzüge und Methoden des phänomenologischen Unterrichts Novizen und Studierenden des Lehramts näherzu-

bringen. Susanne Brülls (2004) hat in Ihrer Dissertation vielfältige Herausforderungen diesbezüglich festgestellt.

Hinzu kommt: Die wesentliche Stärke der Didaktik Wagenscheins scheint der Zugriff der individuellen Lebenswelt zu sein sowie das gleichzeitige Angebot, diese mittels Methoden der Physik zu hinterfragen und zu überprüfen. Dadurch können die Alltagskonzepte der Schüler*innen aufgegriffen und konstruktivistisches Lernen ermöglicht werden. Dies bedeutet, dass die Handlung im Individuum entsteht und sich nicht an einem von außen vorgegeben Regieplan orientieren sollte! Die Herausforderungen, welche sich durch das sokratische Element ergeben, werden nicht zur Gänze gelöst, indem man dieses durch ein dramaturgisches ersetzt. Das dramaturgische Element kann keine zufriedenstellenden Antworten auf den eben aufgeworfenen Problemhorizont liefern.

Eine erste theoretische Analyse der Diplomarbeit hat gezeigt, dass die Einführung von sokratischen Fragen sinnvoll zu sein scheint, um den unausgereiften Zugriff und die vagen Regeln der Gesprächsführung zu kompensieren. Auf Basis der empirischen Untersuchung wurde jedoch eine feinere Strukturierung des Gesprächsverlauf vorgeschlagen. Zunächst sollte eine möglichst exakte Beschreibung des relevanten Aspekts erfolgen, ehe diese Beobachtung vor dem Hintergrund von Alltagskonzepten interpretiert wird. Erst in einem weiteren Schritt der Verallgemeinerung führt dies zur Definition von Fachbegriffen und dem Formulieren von Gesetzmäßigkeiten. In der vorliegenden Unterrichtseinheit wurde dieser Aspekt umgesetzt.

Neben der Problematik in Bezug auf den Zugriff der sokratischen Methode selbst gibt es eine weitere Herausforderung, welche im Begriffskanon identifiziert werden kann und von Alexander Engelbrecht (2003b) thematisiert wurde. Diese stellt sogar das Fundament für seine kritische Auseinandersetzung dar: Die Unvereinbarkeit einer offenen Methode der Gesprächsführung (sokratisches Element) mit dem in Wagenscheins Texten recht idealisierten und konkreten inhaltlichen Fahrplan (genetisches Element).

„Die Grundlage der Zweifel Engelbrechts (2003b, S. 150-164) stellt eine unumgängliche Diskrepanz zwischen der Intention der LehrerInnen, welche das didaktisch-pädagogische Arrangement einer Unterrichtsstunde bestimmt, und der dadurch tatsächlich erzielten Wirkung dar. Seine Schlussfolgerung sieht er belegt, in dem er nur *eine* Klasse mit ‚einem Phänomen nach Wagenschein‘ konfrontiert und die videografierten empirischen Daten des Unterrichtsverlaufs analysiert.“ (Wallner 2011a, S. 38)

Bei der darauf aufbauenden Schlussfolgerung Engelbrechts handelt es sich um eine erkenntnistheoretisch unzulässige: Auf Basis der Untersuchung einer Klasse mit einem Lehrgang kann aus logischen Gründen nicht ein allgemeines Fazit „Genuiner Unterricht nach WAGENSCHNITZ ist nicht möglich“ (Engelbrecht 2003a, S. 464) gezogen werden. Die Arbeit Engelbrechts könnte maximal einen hypothesengenerierenden Beitrag leisten. Es gibt darüber hinaus noch einen weiteren Aspekt, welcher Engelbrechts Kritik das Fundament entzieht. Zwar erscheinen die Darstellungen der genetischen Struktur in Wagenschnitzs Texten sehr idealisiert und werden in keiner Unterrichtssituation so rasch und reibungslos umzusetzen sein. Jedoch handelt es sich bei dem genetischen Element, wie auch bei anderen Unterrichtsplanungen, um eine *Idee*, die verfolgt wird, welche in der konkreten Umsetzung vom tatsächlichen Unterrichtsgeschehen abweichen dürfte und im Prozess der Umsetzung näher spezifiziert wird.

„[...] es ist ungewiss, welche Intentionen der Lehrer mit welchen Tätigkeiten verbindet und zu welchen Intentionen und Tätigkeiten die Lernenden schließlich gelangen. Hinzu kommt, dass eine einmal abgelaufene Unterrichtsstunde nie in derselben Form herstellbar ist. Vielmehr sind pädagogische Situationen durch ihre Einmaligkeit, d.h. Nicht-Wiederholbarkeit gekennzeichnet.“ (Engelbrecht 2003b, S. 163)

Diese Kritik sollte dennoch nicht ungeachtet bleiben und der von Engelbrecht unterstellten Retusche des Konfliktpotenzials (vgl. Engelbrecht 2003b, S. 54-57) entgegengetreten werden. Die Intention der Lehrperson, welche in einer konkreten inhaltlichen Struktur im Rahmen des genetischen Elements zum Ausdruck gebracht wird, sollte deutlicher mit den im Unterrichtsgeschehen gesetzten Impulsen im Rahmen des sokratischen Gesprächs in Zusammenhang gebracht werden. Dass sokratische Fragen das Potential haben, in unterschiedlichen Gruppen sehr ähnliche Unterrichtsverläufe zu initiieren, wurde im Rahmen der empirischen Evaluation der Diplomarbeit belegt. Die tatsächlichen Unterrichtsgespräche sind dabei durchaus umfangreicher und nicht ganz so geradlinig wie geplant verlaufen. Jedoch fand sich die genetische Struktur im Unterrichtsgeschehen aller Gruppen wieder. Die Kritik Engelbrechts kann auf theoretischer Ebene aufgehoben werden, in dem das genetische Element als grober Fahrplan erachtet wird und die sokratischen Fragen als Werkzeug, diesen bestmöglich einzuhalten. Ähnlich wie eine Expedition in nicht ganz unbekanntes Gebiet, dessen Ziel von verschiedenen Expeditionsgruppen auf leicht unterschiedliche Weise erreicht wird. Die vermeintliche Unvereinbarkeit des sokratischen mit dem genetischen Prinzip wird durch eine genauere Definition der

Begriffe Ziel und Weg in ein überbrückbares Spannungsfeld umgewandelt, welches phänomenologischen Unterricht flankiert.

Diese beiden Elemente der Didaktik Wagenscheins lassen sich jedoch noch weiter in ihrer Qualität steigern. Alltagskonzepte stellen ein wichtiges Forschungsgebiet in der Physikdidaktik dar und können für die Planung herangezogen werden. Konkrete Unterrichtsverläufe werden nie deckungsgleich sein. Dennoch lassen sich durch das Heranziehen aktueller sowie empirisch fundierter Forschung bestimmte zentrale Herausforderungen identifizieren, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit anzutreffen sind und wesentliche Hürden im Lernprozess darstellen. Auch kann fachdidaktische Forschung zu Sachstruktur ein vielversprechendes Hilfsmittel sein, um eine spezifische inhaltliche Konzeption für ein Unterrichtsvorhaben zu bestimmen. Das genetische Element definiert nun diesen vielversprechenden Fahrplan. Die sokratischen Fragen werden unter Berücksichtigung der Alltagskonzepte aus diesem generiert und im Unterrichtsgeschehen den Schüler*innen zur Verfügung gestellt. So wird ihnen die Möglichkeit geboten, die wesentlichen Inhalte schrittweise für sich zu erschließen. Die sokratischen Fragen stellen somit einen Impulsgeber dar, welcher eine dahinterliegende inhaltliche Struktur anvisiert. Das genetische Element entspricht demnach dem Rückgrat des Unterrichtsgeschehens. Die sehr allgemeinen Regeln der Gesprächsführung werden durch ein solides Fundament ersetzt. Es stehen konkrete Werkzeuge zur Verfügung, welche nicht ad hoc generiert werden müssen, sondern die Basis einer wissenschaftlich fundierten Intervention darstellen. Sie können herangezogen werden, um ein sokratisches Gespräch zu initiieren oder um den Unterrichtsverlauf in seine Bahn zurückzulenken, wenn dieser von seinem geplanten Weg abweicht. Werden sokratischen Fragen im Rahmen einer fachdidaktisch fundierten Planung erarbeitet, so können auch vorab definierte Erwartungshorizonte bestimmt werden. Dadurch entsteht eine gründlich geplante, transparente und evaluierbare Intentionen des Lehrenden. Auch wenn in der vorhergehenden Diplomarbeit der Kritik Engelbrechts empirische Belege entgegengebracht wurden, hat sich dennoch das Erfordernis gezeigt, die sokratischen Fragen auf ein noch solideres Fundament zu stellen. An dieser Stelle wird lediglich auf die Notwendigkeit verwiesen, die zentralen Elemente der Didaktik Wagenscheins klarer herauszuarbeiten. Im folgenden Kapitel werden diese deshalb mit aktuellen Ansätzen der Physikdidaktik in Verbindung gesetzt, um dem hier festgestellten Defizit entgegenzuwirken.

Eine weitere zentrale Herausforderung im Begriffskanon Wagenscheins kann identifiziert werden, welche in der bisherigen Auseinandersetzung kaum aufgegriffen wurde. Es handelt sich um den Begriff des Genetischen, welcher in den Schriften Wagenscheins meist klein, jedoch an einigen Stellen großgeschrieben ist. Dabei wird dieser Begriff der Trias nicht nur in Wagenscheins Originalschriften besonders hervorgehoben, sondern auch in seiner Rezeption. Dies zeigt sich z. B. am Titel des jüngsten Sammelbandes „Martin Wagenschein – Faszination und Aktualität des Genetischen“ (Kruse, Messner & Wollring 2012). Allerdings wird an keiner Stelle herausgearbeitet, inwiefern es einen Unterschied zwischen „genetisch“ und „Genetisch“ gibt, bzw. welche Schlussfolgerungen impliziert werden, wenn auf einer Metaebene die Trias mit einem seiner Begriffe zusammengefasst wird. Eine zentrale Passage in Wagenscheins Schriften stellt diesbezüglich folgende dar:

„Wenn man nach einer einzigen Bezeichnung sucht, ist es mit dem Wort *Genetisch* am ehesten getroffen. Es ist in dieser Dreiheit führend [...] Es gehört zur Grundstimmung des Pädagogischen überhaupt. Pädagogik hat mit dem werdenden zu tun: mit dem werdenden Menschen und – im Unterricht, als Didaktik – mit dem Werden des Wissens in ihm.“ (Wagenschein 1986, S. 75)

Dabei stellt sich die Frage inwiefern „das Werden des Wissens“ sich vom „Werden des Menschen“ unterscheidet und was die grundlegende Differenz ausmacht. Eine weitere Notwendigkeit, den Begriff des Genetischen schärfer zu fassen, stellt folgende Tatsache dar: In einem Tagungsband der GDCP Jahrestagung zum Thema „Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen“ (Richter, Schließmann & Clausen 2012) ist gar von einem genetischen Gespräch die Rede und die Frage eröffnet sich, wie aus der sokratischen Methode und dem genetischen Prinzip ein genetisches Gespräch wurde. Die Befürworter der Didaktik Wagenscheins sollten jedoch sorgfältiger bei der Rezeption dieses didaktischen Ansatzes vorgehen, wenn sie sein Potential auch wirklich ausschöpfen wollen.

In der Diplomarbeit des Autors wurde diesbezüglich detailliert herausgearbeitet, inwiefern sich der epistemologische Ansatz John Deweys mit dem Konzept Wagenscheins verbinden lässt. (Wallner 2011a, S. 20-43) Durch diesen Aufgriff werden zweierlei Probleme gelöst: Zum einen wird deutlich gemacht, worin der Unterschied zwischen „genetisch“ und „Genetisch“ liegt, zum anderen wird die Didaktik Wagenscheins auf ein solides erkenntnistheoretisches Fundament gestellt. Abgesehen von der problematischen Rezeption des nordamerikanischen Philosophen im deutschsprachigen Raum ist John Dewey international einer der einflussreichsten

Pädagogen (vgl. Oelkers 2009, S. 9-12). Sein Ansatz zeichnet sich im Wesentlichen durch folgende Perspektive aus:

„Es ist die Perspektive, welche aus epistemologischer Sicht hervorhebt, dass die Welt nicht einfach unabhängig vom Menschen existiert und das Wesen des Menschen sich nicht unabhängig von seiner Umwelt bestimmen lässt. Beide nehmen Form in einer wechselseitigen Auseinandersetzung an. Der Mensch kann sich nur in Abgleich mit seiner Umwelt bestimmen, die Gegenstände der Welt lassen sich nicht ohne Einfluss durch den Menschen beschreiben. Der zentrale Fokus der Epistemologie Deweys ist auf die vielfältigen Modi, innerhalb derer ein Zugriff auf Welt möglich ist, gerichtet. Diese Modi haben insofern eine Berechtigung, da sie die Menschen unterstützen, die Herausforderungen ihres Lebens zu bewältigen. Es geht somit nicht um Wahrheit, sondern um Problemlösungsstrategien, die helfen, Aussagen auf ihre Wahrheit zu überprüfen.“ (Wallner 2011a, S. 20f)

In der Didaktik Wagenscheins ist dieser Ansatz implizit eingebettet, z. B. umfasst der Zugriff der sokratischen Methode den folgenden wesentlichen Ansatz:

„Die sokratische Methode ist nicht die Kunst, Philosophie, sondern Philosophieren zu lehren, nicht die Kunst, über Philosophen zu unterrichten, sondern Schüler zu Philosophen zu machen.“ (Nelson 1929, S. 21)

Dadurch ist eine Metaebene mitgedacht. Der konkrete Inhalt tritt in den Hintergrund – die erlernten Fähigkeiten und Fertigkeiten, kurz Kompetenzen bekommen einen eigenen Stellenwert. Genau aus dieser Perspektive lässt sich auch die Differenz vom „Werden des Wissens“ und vom „Werden des Menschen“ verorten, der Unterschied zwischen „genetisch“ und „Genetisch“ festmachen. Das genetische Prinzip ist auf einer inhaltlichen Ebene verortet. Es geht um eine Sachlogik, eine argumentative Abfolge, um zu einem inhaltlichen Schluss zu kommen. Es fokussiert auf das Werden des Wissens. Das Genetische Prinzip hingegen nimmt einen übergeordneten Aspekt in den Blick. Instrumente im Sinne Deweys stellen Fähigkeiten und Fertigkeiten dar, sich inhaltlichen Fragestellungen zu widmen. Es geht um die Frage, welche Kompetenzen Schüler*innen benötigen, um eine naturwissenschaftliche Fragestellung zu beantworten. Gesetzmäßigkeiten und Formeln treten in den Hintergrund. Verstehen lehren heißt in diesem Sinn Einblick in die Entstehungsmechanismen naturwissenschaftlicher Aussagen zu erlangen. Das bedeutet, Schüler*innen zu Physiker*innen zu machen und nicht sie bloß in Physik zu unterrichten. Der Inhalt soll dadurch nicht als irrelevant eingestuft werden. Fragen in Bezug auf eine vielversprechende Sachlogik sind für guten Unterricht genauso essenziell wie jene in Bezug auf die Natur der Wissenschaft.

Der eben dargelegte Sachverhalt zeigt, wie früh Martin Wagenschein aktuelle physikdidaktische Themenfelder mitgedacht hat. Damit sind Schlagwörter wie konstruktivistische Lerntheorien, kompetenzorientierter Unterricht sowie die Einbettung von Alltagskonzepten gemeint. Eine Auseinandersetzung mit seinem Unterrichtskonzept bringt zwar einige Herausforderungen mit sich und der unscharfe Begriffskanon überrascht in Bezug auf seinen Stellenwert in der Geschichte der Physikdidaktik. Diese Herausforderungen zu überwinden in dem das Pathos abgelegt, Zielsetzungen empirisch untersucht werden und der Begriffskanon durch die Einbettung aktueller Forschung geschärft wird, bringt ein nicht zu unterschätzendes Potenzial mit sich. Martin Wagenschein, so eine zentrale These dieser Arbeit, hat zwar ein nicht zur Gänze ausgereiftes Konzept vorgelegt, jedoch einen umfassenden Ansatz, in welchem die wichtigsten Forschungsfelder der Physikdidaktik in Verbindung gesetzt wurden. Auch wenn dies in einem nicht zur Gänze zufriedenstellenden Umfang geschehen ist und so manche Kritik nicht ungehört bleiben sollte, so lassen sich möglicherweise die implizit mitgedachten Themenfelder weiter explizieren. Zu prüfen, inwiefern die Didaktik Wagenscheins sich mit diesen aktuellen Forschungsgebieten der Physikdidaktik verbinden lässt, ist das zentrale Anliegen des theoretischen Teils dieser Arbeit.

4. Planungsschema eines phänomenologisch orientierten Unterrichtskonzept

Um die in Kapitel 3.1 dargelegte Forschungsfrage zu beantworten wird wie folgt vorgegangen: Die zentralen Elemente der Didaktik Wagenscheins werden vor dem Hintergrund der in Kapitel 3.2 - 3.4 dargelegten Herausforderungen systematisch analysiert. Das exemplarische Prinzip sowie das Genetische Element können für sich in Verbindung mit aktuellen physikdidaktischen Ansätzen gebracht werden, da die Fragen nach den bedeutsamen Inhalten und zentralen Kompetenzen von den weiteren Aspekten eher unabhängig gedacht werden können. Das erste Element legt den Grundstein für den ganzen Prozess, das andere stellt ein übergeordnetes Ziel dar. Die inhaltliche Genese wird jedoch von drei unterschiedlichen zentralen Aspekten beeinflusst: den Alltagskonzepten, Fragen in Bezug auf eine vielversprechende Sachstruktur sowie die Rolle des Experiments. Des Weiteren wird gezeigt, nach welchen Prinzipien die sokratische Methode in das Werden des Wissens, das genetische Element eingreift. Ein indirektes Ziel wird im folgenden Kapitel dabei mitverfolgt: Es soll dadurch ein phänomenologisch orientiertes Planungsschema entstehen, welches nicht nur für die Planung einer Unterrichtseinheit im Bereich der Optik herangezogen wird, sondern durch das Explizieren der Prinzipien im Idealfall auch weitere Unterrichtsplanungen anderer Lehrkräfte erleichtert.

Der dabei erhobene Anspruch besteht darin, dass ein durch Martin Wagenschein inspirierter Unterricht eine Weiterentwicklung erfahren kann. Es kann allerdings dabei nicht oft genug erwähnt werden, dass keinerlei Anspruch erhoben wird, *die* Didaktik Wagenscheins dazulegen, noch wird die *einzig wahre Möglichkeit guten Unterrichts* proklamiert. Letzteres wäre schon allein aus wissenschaftstheoretischer Sicht, das heißt auf Basis der eingangs geschilderten Komplexität und Diversität des Unterrichtsgeschehens, nicht angemessen. Der Anspruch dieser Arbeit besteht vielmehr darin, eine von mehreren Möglichkeiten darzustellen, wie den im vorhergehenden Kapitel identifizierten offenen Fragen in der Didaktik Wagenscheins entgegengetreten werden kann.

In den nun folgenden Unterkapiteln wird einleitend knapp auf die bereits dargelegten Herausforderungen verwiesen, ehe der Grundgedanke dargestellt und mit aktuellen physikdidaktischen Konzepten in Zusammenhang gebracht wird. Abschließend wird

zusammenfassend eine Erwartungshaltung an das Element vor dem Hintergrund des Unterrichtskonzepts formuliert.

4.1. Inhalt & Phänomen - Der exemplarische Aspekt

Die bisher angesprochene Herausforderung bezieht sich auf die Auswahlkriterien der Inhalte phänomenologischen Unterrichts. Der Inhalt in Wagenscheins Didaktik ist stark mit Phänomenen verknüpft. Dies geschieht vor dem Hintergrund des Stauens und der Faszination, welches die Phänomene auslösen können, sowie der Anknüpfung an die Lebenswelt der Schüler*innen. Wesentlich dabei ist, dass der darauffolgend für das Lernen notwendige Schritt mitgedacht werden muss und das Staunen nicht ausschließlich Faszination auslösen sollte. Der natürliche Erkenntnisdrang von jungen Menschen kann dadurch aufgegriffen und in eine abstrakte und wissenschaftliche Betrachtung übergeführt werden. Das dies nicht von alleine geht und mit zahlreichen Herausforderungen verknüpft ist, wird in den kommenden Unterkapiteln thematisiert.

In Wagenscheins Konzeption ist neben dem Schließen einer Kluft zwischen Fach- und Lebenswelt vor allem der exemplarische Charakter von großer Bedeutung. Die Lebenswelt stellt in der philosophischen Strömung der Phänomenologie eine wesentliche Grundlage dar. Im physikdidaktischen Kontext wird phänomenologischer Unterricht oft mit der Betrachtung von Naturphänomenen in Verbindung gesetzt. Inwiefern es einen konkreten Zusammenhang, einen gemeinsamen Begriffskanon sowie eine geteilte Theorie der philosophischen Strömung und der phänomenologisch orientierten Physikdidaktik gibt, dürfte ähnlich unscharf ausgearbeitet sein, wie der Aufgriff der sokratischen Methode (s. Kapitel 3.4). Für die vorliegende Arbeit ist es jedoch ausreichend, die Lebenswelt als vorwissenschaftlichen Referenzpunkt heranzuziehen, welcher im Physikunterricht vor allem in Bezug auf Alltagskonzepte Relevanz erhält. In der Diplomarbeit bzw. dem dort dargelegten und evaluierten Mechanik-Lehrgang (Wallner 2011a) spielt anfangs die Betrachtung der Bewegung auf einer nahezu reibungsfreien und horizontalen Kugelbahn eine wichtige Rolle, um dem exemplarischen Aufgriff der Lebenswelt gerecht zu werden. Es wird nachgewiesen, dass eine Bewegung aufrecht bleibt, wenn sie keinen äußeren Einfluss durch eine Kraft erfährt. Dabei wird ein fruchtbares Spannungsfeld bearbeitet: Auf der einen Seite ist die Impetustheorie anzutreffen, auf der anderen Seite das abgeschlossene System als Grundlage des Trägheitssatzes. Wird den Schüler*innen ausreichend Zeit gegeben zu verstehen, dass ihr Alltagskonzept nicht grundsätzlich falsch ist, können sie

essenzielle naturwissenschaftliche Aspekte wie die Modellbildung oder die Notwendigkeit exakter Begriffsdefinitionen für sich erschließen. Unsere Alltagserfahrungen legen eindeutig nahe, dass ohne kontinuierliche Energiezufuhr die Bewegung von Objekten früher oder später endet. Diese Schlussfolgerung ist aus physikalischer Sicht auch nicht falsch. Sie ist lediglich eine undifferenzierte, in welcher Reibung nicht als Kraft identifiziert wird und die Konzeption sich auf nicht-reibungsfreie Systeme bezieht. Dies macht deutlich, dass für das Erschließen des Trägheitssatzes das Ablegen vielfältig bestätigter Erfahrungen sowie ein gewaltiger Abstraktionsschritt notwendig ist. Es soll aber nicht heißen, dass Schüler*innen keine Fähigkeit zur stringenten Analyse von Kausalität besitzen bzw. ihr Wissen auf grundsätzlich fehlerhafte Konzepte stützen, bevor sie in den Physikunterricht kommen.

Im Sinne Wagenscheins werden durch diese Herangehensweise exemplarisch Pfeiler eingeschlagen, welche beispielhaft für zentrale Konzepte der Naturwissenschaft stehen. Wird die Leseart von Marc Müller (2016) herangezogen, so wird den Schüler*innen die Erfahrung ermöglicht, dass ihre Fähigkeit zur Bildung von Kausalitäten von klein auf gegeben ist. Die Grundlage für ihre bisherigen Schlussfolgerungen entspricht lediglich nicht der wissenschaftlichen Präzision und das daraus gewonnene Fazit nicht jenen Ansprüchen, die an eine wissenschaftliche Theorie gestellt werden.

Es ist wichtig zu betonen, dass Wagenschein das Staunen auch immer im Sinne von „ich kann etwas verstehen“ und nicht bloß im verkürzten Sinn von „Physik ist, wenn es knallt“ aufgefasst hat. Seine Aussage „Verstehen des Verstehbaren ist ein Menschenrecht“ wirkt aus heutiger Sicht zu Recht etwas pathetisch. Jedoch sollte nicht übersehen werden, wie viel Staunen entfacht werden kann, wenn Schüler*innen auf dem Weg zu einem umfassenden Verständnis, welches auch theoretische Aspekte umfasst, ein Stück weitergekommen sind. Das exemplarische Verstehen grundlegender Basiskonzepte bringt somit einen nicht zu vernachlässigenden Motivationsaspekt mit sich.

Zwar werden an dieser Stelle keine expliziten Verknüpfungen mit aktuellen physikdidaktischen Ansätzen angeführt, jedoch sind der eben geschilderte Aufgriff der Lebenswelt und der Transfer vorwissenschaftlicher Kompetenz mit einigen Themenfeldern verknüpft, welche noch behandelt werden. Die Alltagskonzepte, welche in der Lebenswelt der Schüler*innen verortet sind, die als Ausgangslage für den genetische Prozess betrachtet werden und damit eine zentrale Rolle in der Physikdidaktik

einnehmen, sind im Folgekapitel thematisiert. Dass das Staunen auch Irritation auslösen kann und in diesem Sinn die Grundlage für konstruktivistisches Lernen erfüllt, wird in Kapitel 4.4 begründet.

4.2. Alltagskonzepte der Schüler*innen - Ausgangslage des genetischen Prozesses

Wie eben ausgeführt werden durch den Aufgriff der Lebenswelt der Schüler*innen Alltagskonzepte aktiv in das Unterrichtsgeschehen eingebettet. Die bisherige Recherche hat jedoch noch keine explizite Einbettung dieser in phänomenologischem Unterricht feststellen können. Möchte die Didaktik Wagenscheins mit moderner physikdidaktischer Forschung angereichert werden, so darf dieser Aspekt nicht ausgelassen werden. Allerdings ist auch eine andere Leseart zulässig: Martin Wagenschein kann als einer der Vorreiter in diesem Forschungsgebiet bezeichnet werden, da er diesen Aspekt des Lernens durch den Aufgriff der Lebenswelt implizit mitgedacht hat. Auch wenn der Autor die letzte Perspektive teilt und den Standpunkt vertritt, dass Martin Wagenschein viele der aktuellen Themen vorweggenommen hat, besteht dennoch die Notwendigkeit, diese Themen deutlicher in den Zusammenhang mit aktuellen Forschungsergebnisse zu bringen.

Der Begriff Alltagskonzept ist in der vorliegenden Arbeit schon öfters angeführt worden, ohne näher definiert worden zu sein. In der Fachliteratur sind Begriffe wie Schüler*innen(fehl)vorstellungen, vorunterrichtliche Vorstellungen oder Misconceptions anzutreffen. In dieser Arbeit wird bewusst von einer negativ konnotierten Bezeichnung abgesehen, da davon ausgegangen wird, dass diese Konzepte, wie am Beispiel der Impetusvorstellung im Kapitel 4.1 dargelegt wurde, nicht grundsätzlich falsch sind, sondern in erster Linie die Differenz zwischen Impuls, Kraft und Energie sowie ein elaboriertes Konzept dazu fehlen. Der Begriff Schüler*innenvorstellungen ist zwar am gebräuchlichsten und findet sich auch im Titel eines aktuellen Lehrbuchs zu diesem Thema (Schecker, Wilhelm, Hopf, & Duit 2018). Dieser Begriff ist nach Ansicht des Autors jedoch insofern problematisch, als dass die Differenz zwischen Lebenswelt und wissenschaftlicher Betrachtung dadurch nicht bedacht wird. Denn der allgemeine Begriff Vorstellungen umfasst strenggenommen auch Ansichten der Schüler*innen in Bezug auf wissenschaftlich schlüssige Konzepte. Vorunterrichtliche Vorstellungen wiederum gehen davon aus, dass nach dem Physikunterricht Alltagskonzepte nicht mehr anzutreffen sind oder ihr unwissenschaftlicher Zweck aufgehoben wurde.

Aufgrund dieser Überlegungen wird der Begriff Alltagskonzepte für diese Arbeit bevorzugt. Dieser umfasst nun folgende Aspekte, welche im Verlauf dieses Kapitels weiter belegt werden: (a) Alltagskonzepte sind nicht grundsätzlich falsch, sondern in einer vorwissenschaftlichen Ebene verortet und können als eine wertvolle Ressource aufgefasst werden. (b) Sie sind in alltäglichen Situationen durchaus funktional, erfüllen in diesem Sinn einen anderen Zweck und werden auch nach intensivem Studium der Physik zum Einsatz kommen. (c) Die physikalische Sichtweise ist eine hocheffiziente und sehr erfolgreiche Perspektive auf die Welt. Sie ist jedoch nicht die einzig sinnvolle Auseinandersetzung mit dieser, auf gewisse Weise auch limitiert und sollte als eine von mehreren Möglichkeiten, sich mit Fragen über die Welt auseinanderzusetzen, kennengelernt werden.

a) Im Lehrbuch „Schülervorstellungen und Physikunterricht“ wird einleitend festgehalten (Schecker & Duit 2018, S. 7), dass diese Vorstellungen bzw. Konzepte einfache sowie alltagstaugliche Erklärungen für eine Vielzahl an gesammelten Beobachtungen bieten. Schlussfolgerungen, welche auf dieser Basis getroffen werden, liefern häufig korrekte Vorhersagen und werden experimentell bestätigt. Objekte mit geringer Masse fallen in den uns gegebenen Situationen einfach langsamer als jene mit höherer Masse. Bei Abfahrtsrennen wird mehrfach betont, dass ein*e Skifahrer*in mit höherer Masse in flachen Passagen einen Vorteil hat. Von klein auf beobachten wir, dass Objekten beständig Energie zugeführt werden muss, damit sie ihre Bewegung aufrechterhalten können. Diese Aussagen sind aus physikalischer Sicht auch nicht falsch.

Problematisch werden sie, wenn die Erklärungsansätze im Detail betrachtet werden. Die verwendeten Begriffe sind nicht unter dem Anspruch der Allgemeingültigkeit auf andere Situationen übertragbar. Die Differenz zwischen Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung oder zwischen Impuls, Kraft und Bewegungsenergie ist nicht geben und bringt eine große Herausforderung in der Auseinandersetzung mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten mit sich. Beschleunigen heißt in diesen Alltagskonzepten bloß „schneller werden“. Reibung macht etwas langsamer, wird aber nicht notwendigerweise als Kraft aufgefasst. Helle Dinge sind in alltäglicher Dunkelheit einfach sichtbar, ohne dass eine entfernte Lichtquelle in dieser Situation als Ursache für die Sichtbarkeit identifiziert wird.

Das heißt: Schüler*innen besitzen die grundsätzliche Fähigkeit zur Beobachtung und Schlussfolgerung, bilden Kausalitäten und überprüfen Hypothesen. Auch wenn diese Vorgehensweise die Kriterien eines wissenschaftlichen Zugangs nicht erfüllt und in der Regel in einen unbewussten Prozess eingebettet ist, scheint es sehr lohnend zu sein, gewisse, schon vorab gegebene Kompetenzen und Konzepte aufzugreifen.

Ein Ansatz, welcher die Produktivität dieser Konzepte hervorhebt, ist das Resource Framework. Dieser Ansatz geht auf David Hammer (2000) zurück, welcher eine Ressource als eine einzelne, unabhängige und produktive Idee auffasst. Diesem Ansatz liegt zugrunde, dass Ansätze, welche die Konzepte der Schüler*innen als Fehlvorstellungen bezeichnen, in Bezug auf folgende Aspekte limitiert sind. Zum einen liefern sie keine Erklärungen für die Entstehungsgrundlage oder ihren kontextabhängigen Einsatz. Es wurde nachgewiesen, dass Schüler*innen auf dieselbe Problemstellung unterschiedlich antworten, je nachdem, wie die konkrete Fragestellung formuliert wurde. Zum anderen können diese Erklärungsstrukturen, welche in gewissen Situationen fehlerhaft erscheinen, in anderen durchaus produktive und aus physikalischer Sicht richtige Erklärungen hervorbringen. Fehlvorstellungen fokussieren lediglich auf die Diskrepanz eines vorwissenschaftlichen Erklärungsmusters im Vergleich zu einer konkreten physikalischen Problemstellung. Die potenzielle Produktivität des Erklärungsansatz geht dabei verloren.

b) Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Funktion, welche Alltagskonzepte erfüllen. Aus der Perspektive einer alltäglichen Situation erscheinen physikalische Erklärungen unnötig kompliziert (Schecker & Duit 2018, S. 7). Unsere Mitmenschen werden uns verstehen, wenn wir von einer Stromrechnung sprechen und nur wenige Physiker dürften sich weigern, sie zu begleichen, da sie problemlos nachweisen können, dass gar nichts verbraucht wurde. In unserer alltäglichen Lebenswelt ist der Begriff „Stromverbrauch“ nicht nur sehr weit verbreitet, sondern erfüllt auch einen Nutzen, welcher nicht an die notwendige Präzision wissenschaftlicher Fachbegriffe gebunden ist. Auch wenn diese Konzepte aus physikalischer Sicht nicht haltbar sind, ist der alltägliche Mehrwert durch Vorstellungen wie „Wolle macht warm“ (Schecker & Duit 2018, S. 12) durchaus gegeben.

Somit wird in dieser Arbeit von der parallelen Existenz vielfältiger Vorstellungen und Betrachtungsweisen ausgegangen, welche in unterschiedliche Kontexte und Funktionen eingebettet sind.

Auch darf nicht vernachlässigt werden, dass die Entstehung physikalischer Begriffe nicht selten einem langen Prozess unterworfen und eine Differenzierung zwischen ihnen in wohl etablierten Theorien oftmals nicht von Anfang an gegeben ist. Die Autoren Schecker & Duit (2018, S. 13) führen z. B. Newtons Hauptwerk „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ aus dem 17. Jahrhundert an, in welchem noch von einer „lebendigen Kraft“ anstelle von Energie die Rede ist. Erst weitere Arbeiten haben im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einer exakten Differenzierung zwischen der Kraft als Prozessgröße und der Energie als Erhaltungsgröße geführt.

c) Abgesehen von der Tatsache, dass sich das Ersetzen eines Alltagskonzepts durch eine wissenschaftliche Perspektive im Rahmen psychologischer und fachdidaktischer Forschung als nicht haltbar herausgestellt hat, stellt es ein nicht sinnvolles Unterfangen dar (Wilhelm & Schecker 2018, S. 40). Deshalb wird von den Autoren betont, dass es zu einem „bewussten Nebeneinander eines physikalischen Konzepts und der Alltagsvorstellung“ (ebd.) kommen sollte. Das Ziel von gutem Physikunterricht sollte darin liegen, dass Schüler*innen die Fähigkeit erwerben, zwischen unterschiedlichen Perspektiven und Konzepten bewusst wechseln zu können sowie die Vor- und Nachteile des jeweiligen Zugangs kennenlernen.

Alltagskonzepte bloß als fehlerhaft abzutun, würde nicht nur die Chance auf den Aufgriff wertvoller Ressourcen vertun, sondern Physik als höherwertigen Zugang zur Welt erscheinen lassen. Zwar ist die physikalische Perspektive eine hocheffiziente und sehr erfolgreiche, jedoch darf nicht vernachlässigt werden, dass diese auch Einschränkungen mit sich bringt. Um ein Beispiel Wagenscheins aufzugreifen: eine Schalldruckkurve wird nie die Eleganz und Faszination eines Musikstücks erklären können.

Martin Wagenschein hat diese zentralen Aspekte in seinem Unterrichtskonzept mitgedacht. Stichwörter wie „Kinder auf dem Wege zur Physik“, der Aufgriff der Lebenswelt und die schrittweise Entwicklung physikalischer Gesetzmäßigkeiten aus dieser sprechen dafür. Eine weitere Verbindung zu der Didaktik Wagenscheins lässt sich über die Sprache herstellen. Verstehen lehren ist bei Wagenschein eng mit einer behutsamen Entwicklung der Fachsprache aus der „Muttersprache“, das heißt aus den lebensweltlich orientierten Begrifflichkeiten verbunden. Dem Thema hat Wagenschein sogar ein eigenes Werk, „Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft“ (1986)

gewidmet. In dem Sammelbandbeitrag „Schülervorstellungen und Physiklernen“ wird hierzu erwähnt:

„Physik lernen bedeutet somit auch das Lernen einer neuen Sprache – nicht allein im Sinne eines neuen fachsprachlichen Vokabulars, sondern ebenso im Sinne eines Verständnisses der Vorteile begrifflicher Präzision im fachlichen Diskurs. Dies gehört zum Übergang von der lebensweltlichen zur wissenschaftlichen Weltsicht und ist ein wichtiger Schritt der Veränderung von Denkraumen.“ (Schecker & Duit 2018, S. 13)

Dieser Ansatz deckt sich mit Wagenscheins Didaktik. Ein wichtiger Aspekt, den es zu beachten gilt, bezieht sich auf das Fundament für Alltagskonzepte. Dabei gibt es mehrere Theorien zur Entstehung dieser und tatsächlich scheint es, dass die Einflussfaktoren vielfältig und kontextabhängig sind. Einen für das vorliegende Unterrichtskonzept wesentlichen Faktor stellt die von Schüler*innen vorab gesammelte Erfahrung dar, welche ihrer lebensweltlichen Perspektive entspringt.

„Im Kettenkarussell wird man bei der Fahrt nach außen getragen. Fragt man sich nach der Ursache, liegt das umgangssprachlich weit verbreitete Wort ‚Zentrifugalkraft‘ nahe, um die Erfahrung zu deuten. Das Kettenkarussell ist ja eine Art Zentrifuge. Damit wird eine Vorstellung gebildet (‚Eine Kraft zieht mich nach außen‘), die sich im Alltagsgespräch bewährt, die im Physikunterricht jedoch als Vorprägung des Denkens über Kreisbewegungen erhebliche Lernschwierigkeiten verursacht.“ (Schecker & Duit 2018, S. 14)

In diesem Sinn kann es zielführend sein, den Blickwinkel zu ändern, den Vorgang von der Vogelperspektive aus zu betrachten, zu analysieren, was die Ursache für das Geschehene ist und was passiert, wenn diese Ursache nicht mehr gegeben ist. Durch die Betrachtung von oben wird leichter klar, dass ein schlecht befestigter Koffer auf einem Autodach von der „Lenkkraft“ des Autos nicht mitgenommen wird und deshalb seine Bewegungsrichtung beibehält.

Die Strategien zum Umgang mit Alltagskonzepten sind jedoch genauso wie ihre Entstehung vielfältig. In der in dieser Arbeit vorgestellten Interpretation der Didaktik Wagenscheins nimmt das Experiment diesbezüglich eine zentrale Rolle ein. Die relevanten Phänomene, welche beobachtet werden, sollten nicht durch ihre Natürlichkeit oder maximale Faszinationskraft herausstechen, sondern durch ihr Potenzial, Alltagskonzepte in Frage zu stellen. Ihr Ziel ist es, eine spezifische Erfahrung zur Verfügung zu stellen, welche einen Konzeptwechsel anregt. Dieser Ansatz wird in Kapitel 4.4 näher ausgeführt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die Alltagskonzepte stellen die Ausgangslage des genetischen Elements dar. Ihr lebensweltlicher Ursprung wird in einer vorwissenschaftlichen Ebene verortet, welche durchaus wertvolle Ansätze liefert. Diese sollen als Ressourcen genützt und im Rahmen eines Differenzierungsprozesses in eine wissenschaftliche Beschreibung überführt werden. Die dabei zu berücksichtigende inhaltliche Strukturierung der Sachgenese bietet einen weiteren Anknüpfungspunkt des genetischen Elements an moderne physikdidaktische Forschung und wird im nächsten Kapitel dargelegt. Zwar ergeben sich durch so einen Ansatz große Chancen, jedoch gleichzeitig auch vielfältige Herausforderungen (Hopf & Wilhelm 2018, S. 35). Diesen wird im vorliegenden Planungsschema durch den Aufgriff sokratischer Fragen (Kapitel 4.5) entgegengetreten, welche einem Steuerungselement entsprechen, das Lehrpersonen im Rahmen der schüler*innenzentrierten Erarbeitung zur Verfügung steht.

4.3. Die Sachstruktur - Das Rückgrat des genetischen Prozesses

Die bereits angesprochene Problematik thematisierte die vermeintliche Diskrepanz zwischen dem genetischen und dem sokratischen Element in der Didaktik Wagenscheins. Die Kritik Alexander Engelbrechts umfasst folgendes Postulat: Eine sehr spezifische inhaltliche Abfolge im Unterrichtsverlauf steht in einem Konflikt mit einer offenen Methode der Gesprächsführung, deren Regeln sehr vage sind. Wie jedoch gezeigt wurde, lässt sich diese Diskrepanz durch eine exaktere Definition der Begriffe in ein nicht uninteressantes Spannungsfeld überführen. Des Weiteren können sehr ähnliche Gesprächsverläufe innerhalb unterschiedlicher Unterrichtssituationen empirisch nachgewiesen werden (Wallner 2011a), die fundamentale Ablehnung in der Kritik Engelbrechts lässt sich widerlegen. Beantwortet ist die Frage nach der inhaltlichen Orientierung des genetischen Elements dadurch dennoch nicht.

In Wagenscheins Texten sowie auch in der Lehrkustdidaktik wird nicht selten ein historischer Referenzpunkt herangezogen. Jedoch ist fraglich, inwiefern die Ontogenese auch deckungsgleich mit der Phylogenese ist. In anderen Worten: Inwiefern kann die historische Entwicklung des Wissens der Menschheit als verlässliche Blaupause für den individuellen Erwerb des Wissens durch Schüler*innen herangezogen werden? Bestimmt ist ein Blick in die Wissenschaftsgeschichte hilfreich: Gewisse historisch gegebene Vorstellungen wie die Impetustheorie oder jene in Bezug auf einen aktiven Sehstrahl des Auges sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in den Alltagskonzepten

der Schüler*innen anzutreffen. Jedoch stellt sich berechtigterweise die Frage, inwiefern die empirische Unterrichtsforschung nicht auch einen lohnenden Beitrag zu dieser Thematik liefern kann.

Das genetische Element umfasst die Sachstruktur des phänomenologischen Unterrichts Wagenscheins. Im Wesentlichen geht es um eine Sequenzierung der inhaltlichen Abfolge bzw. der einzelnen Erkenntnisse, die gemacht werden müssen, um ein inhaltliches Ziel nachvollziehen zu können. Somit strukturiert es den Wissenstransfer von Alltagsvorstellungen zu einem wissenschaftlichen Konzept und kann als grober inhaltlicher Fahrplan der Unterrichtssituation betrachtet werden. Die Forschung zur Sachstruktur unterschiedlicher Lehrgänge ist ein Teilgebiet der Physikdidaktik. Ein unlängst erschienenes Werk liefert einen umfassenden Einblick in aktuelle Unterrichtskonzeptionen sowie empirisch evaluierte Lehrgänge der aktuellen Physikdidaktik des deutschsprachigen Raums (Wilhelm, Schecker & Hopf 2021). In diesem Werk werden unterschiedliche Lehrgänge zu den klassischen Themengebieten der Physik in Bezug auf ihre Sachstruktur dargestellt. Es kann sich als sehr lohnend herausstellen, wenn phänomenologischer Unterricht sich daran orientiert.

Der bereits erwähnte Mechanik-Lehrgang der Diplomarbeit (Wallner 2011a) kann als Beispiel herangezogen werden. Bei diesem haben sich einige Parallelen zu einem dynamischen Zugang ergeben. In den ersten Experimenten des Lehrgangs wird der Einfluss der Kraft in Bezug auf die Bewegung in den Blick genommen, um die Differenz zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung im Sinne einer Geschwindigkeitsänderung zu erschließen. Auch die vektoriellen Eigenschaften dieser Größen werden thematisiert und es wird untersucht, inwiefern Bremsen nicht auch ein Vorgang der Beschleunigung ist, bei welchem die Größe der Bewegung entgegengerichtet ist. „Langsamer werden“ und „schneller werden“ stellen in diesem Sinn zwei Aspekte desselben Phänomens dar und sind auf dieselbe Ursache zurückzuführen. Das Experiment, welches diesbezüglich eine zentrale Rolle einnimmt, wird unter dem Titel „Miniexperiment zur Beschleunigung“ (Abb. 3, S. 66) in Bezug auf die Rolle der sokratischen Fragen noch näher dargestellt.

Den Aufgriff etablierter Sachstrukturen betreffend kann jedoch der zweidimensionale und dynamische Zugang aus dem Lehrbuch der aktuellen Unterrichtskonzeptionen (Wilhelm & Hopf 2021) angeführt werden. Die eben geschilderte Sachstruktur greift zwar den dynamischen Aspekt auf, jedoch nicht den zweidimensionalen. Der eigene

Mechanik-Lehrgang wurde deshalb erweitert und das Experiment „Schiefe Ebene“ (Abb. 2) eingeführt.



Abb. 2: Bewegung zweier Billardkugeln auf horizontaler Strecke sowie auf dazu rechtwinkelig geneigter Ebene

Neben der positiven sowie negativen Beschleunigung kann nun in weiterer Folge der Aspekt der Richtungsänderung durch eine Kraft erschlossen werden. Die beiden Kugeln rollen während des gesamten Experiments in Bezug auf die x-Richtung auf gleicher Höhe. Nach einer anfänglichen Beschleunigung beider Kugeln erfolgt der Krafteinfluss für eine Kugel unter rechtem Winkel. Dieser kann das Tempo der Kugel in x-Richtung nicht beeinflussen und ruft daher lediglich eine Richtungsänderung hervor. Dadurch wird die dritte Möglichkeit einer Geschwindigkeitsänderung erschlossen und der Fall vorbereitet, in dem in einem weiteren Experiment eine Kreisbewegung mit konstanter Drehgeschwindigkeit beobachtet und diese trotz konstantem Tempo als beschleunigte Bewegung identifiziert wird.

Des Weiteren kann die Bahn des waagrechten Wurfs problemlos nachvollzogen werden. Da die Bewegung um ein Vielfaches langsamer abläuft, ist dieses Experiment für die phänomenologische Beobachtung bestimmt geeigneter als die Wurfparabel eines Wasserschlauchs, welche von Wagenschein vorgeschlagen wurde. Auch kann das Unabhängigkeitsprinzip auf einfachem Weg erschlossen werden.

Neben dieser vielversprechenden Einbettung der Sachstruktur eines empirisch gut erforschten Unterrichtskonzepts in den phänomenologisch orientierten Unterricht finden sich in dem Lehrbuch „Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht“ (Wilhelm, Schecker & Hopf 2021) auch wichtige Hinweise in Bezug auf mögliche Elementarisierungen. Zum Beispiel die Differenz zwischen Tempo und Geschwindigkeit, welche den essenziellen Unterschied zwischen einer vektoriellen Größe und dem Betrag der Geschwindigkeit auf einfache Weise darlegt. In dem Lehrbuch ist auch die Sender-Empfänger-Vorstellung (kurz SEV-Konzept) angeführt, welche in der aktuell zu unter-

suchenden Unterrichtseinheit eine zentrale Rolle einnimmt. (Haagen-Schützenhöfer & Wilhelm 2021)

Das genetische Element legt somit einen Fahrplan dar, welcher die inhaltliche Abfolge spezifischer Schlüsse sowie vielversprechende Elementarisierungen umfasst, die dabei helfen, ein Phänomen adäquat zu beschreiben. Dabei wird die Ausgangslage (Alltagskonzepte) genauso wie das Ziel (wissenschaftliche Sicht) in den Blick genommen. Diese Darstellung der Sachgenese entspricht somit einer Auflistung von Key-Ideas, also zentralen Gedankengängen, welche das inhaltliche Rückgrat der Unterrichtsstruktur definieren. Der Aufgriff evaluierter Sachstrukturen und Elementarisierungen kann nicht nur die Qualität phänomenologischen Unterrichts heben, sondern auch die Konzeption desselben effizienter gestalten und sicherstellen, dass seine Zielsetzung auch bestmöglich erfüllt wird. Dass das Unterrichtsgeschehen in der Umsetzung immer wieder von der genetischen Struktur abweichen dürfte, ist der generellen Komplexität von Unterrichtssituationen geschuldet. Einen inhaltlichen Fahrplan zur Verfügung zu haben hat sich jedoch als sehr lohnend innerhalb sokratischer Gespräche herausgestellt. Vor allem in einem Fach wie Physik, in welchem konträr zu philosophischen Diskussionen das Ziel und der Inhalt sehr klar und scharf definiert sind.

4.4. Das Experiment - Der Wendepunkt im genetischen Prozess

Die zentrale bisherige Herausforderung in der Didaktik Wagenscheins, welche in diesem Themenfeld relevant ist, ist die Frage nach dem Auswahlkriterium der exemplarischen Inhalte. Welche Phänomene eignen sich besonders? Sind es jene, die besonders viel Faszination auslösen? Jene, die in der Wissenschaftsgeschichte eine besondere Rolle eingenommen haben? Wenn schon eine drastische Reduktion der Inhalte im Sinne der Überlegungen aus Kapitel 4.1 gefordert wird, sollte die Wahl wohl begründet sein. Des Weiteren stellt sich die Frage, was die Betrachtung eines Phänomens von einem Experiment unterscheidet und was Naturphänomen im Sinne Wagenscheins interessant macht bzw. wieviel Natur hierfür im Phänomen stecken muss? Die Möglichkeiten, diese Fragen sinnstiftend zu beantworten, sind bestimmt nicht auf eine einzige Option beschränkt. Die Lehrkunsstdidaktik hat z.B. eine Reihe von interessanten und vielversprechenden Lehrgängen entwickelt, welche einen starken historischen Blick der Wissensgenese aufgreifen. In dieser Arbeit wird jedoch eine andere und sehr spezifische Antwort vorgestellt sowie empirisch untersucht,

welche (a) das Pathos in Wagenscheins Texten überwindet, (b) eine Lösung für eine der zentralen Herausforderung im Physikunterricht (die Rolle des Experiments) formuliert und (c) zugleich eine Anschlussfähigkeit des phänomenologischen Unterrichts an eine moderne Lerntheorie ermöglicht. Dabei bildeten fachdidaktische Überlegungen die Grundlage in der praktischen Entwicklung des Planungsschemas bzw. im Umgang mit dem Experiment innerhalb des phänomenologischen Unterrichts in der Vergangenheit (Wallner 2011a, S. 53-57). Die wesentlichen Aspekte dessen werden folgend grob skizziert.

a) Der problematische Aspekt der Sprache in Wagenscheins Texten wurde im Kapitel 3.2 thematisiert. Dieser wird in Bezug auf das Naturphänomen am deutlichsten. Dem vorliegenden Planungsschema liegt folgende These zu Grunde: Wagenscheins Kritik an klassischen Experimenten im Physikunterricht fokussiert in erster Linie auf die Diskrepanz der Experimentiervorrichtungen zur Lebenswelt. Magnetismus hat nur selten zwei Farben. Elektrische Stromkreise entsprechen in unserem Alltag nicht gelben Bauklötzen, auf welchen die abstrakte Darstellung eines Stromkreises schon aufgemalt wurde. Solche Experimente nehmen den Schüler*innen die Chance, auf ihre bisherigen Ressourcen zurückzugreifen. Ein Konzeptwechsel ist in vielen Bereichen schon vollzogen, serviert auf einem Tablett, ohne die Notwendigkeit, diese Aspekte für sich selbst zu erschließen.

Wie sich in Punkt b) zeigen wird, gibt es allerlei Gründe dafür, die Rolle des Experiments im Physikunterricht generell zu überdenken und etablierte Zugänge zu hinterfragen. Dadurch ist jedoch die Differenz zwischen Naturphänomen und Experiment im Schulkontext noch nicht im Detail geklärt. Auch inwiefern die zu evaluierende Unterrichtseinheit dem Grundgedanken des phänomenologischen Unterrichts entspricht und diesbezüglich Unterricht inspiriert durch Wagenschein proklamieren darf, ist hier noch nicht ausverhandelt. Die Antwort ist allerdings leicht: Martin Wagenschein schildert eindrucksvoll, wie er eines Tages einen Felsbrocken an einer fünf Meter hohen Decke montiert, um so durch die Betrachtung eines Naturphänomens das Fadenpendel zu ergründen (1983, S. 149). Das Staunen dürfte jedoch nicht durch die Natürlichkeit des Vorgangs, sondern durch die Faszination der Inszenierung erzeugt worden sein. Ein massiver Felsbrocken, der an einem dicken Seil schwingend an der Decke einer Halle befestigt ist, ist genauso seiner natürlichen Umgebung beraubt wie das Licht, gefangen in einer Kunststoffröhre, der Vision Tube.

Für den Zweck einer spezifischen Betrachtung eines physikalischen Phänomens kommt es in beiden Fällen zu einer Inszenierung. Es kann sich diesbezüglich als lohnend herausstellen, zu dem Ursprung der natürlichen Erziehung zurückzukehren. Eine fundierte Analyse der Reformpädagogik findet sich in Oelkers (2005, S. 93-150) wieder, welche diese geprägt durch das Leitkonzept der „Pädagogik vom Kinde aus“ und der „natürlichen Entwicklung“ beschreibt. In Jean-Jacques Rousseau Werk „Émile oder über die Erziehung“ wurde dieser Aspekt zum ersten Mal beschrieben. Es schildert das Heranwachsen eines Zöglings in Form einer natürlichen Entwicklung, welche jedoch im Rahmen einer inszenierten und gesteuerten „Natur“ stattfindet. Diesem Eingriff liegt ein pädagogischer Gehalt zu Grunde, ein Konzept von Bildung und ein spezifisches Ziel, welches vom Erzieher verfolgt wird. Erziehung und Entwicklung sind immer in spezifische gesellschaftspolitische Strukturen eingebettet, welche sozial konstruiert sind und in diesem Sinne niemals natürlich sein können. Die wesentliche Frage ist lautet nicht: Wie viel Natürlichkeit steckt in dem dargebotenen Phänomen? Vielmehr sollte sie lauten: Welche Qualität hat diese Darbietung und welche Gedankengänge werde dadurch ermöglicht?

b) Im Rahmen der breit angelegten Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“ des IPN wurde unter anderem die Rolle des Experiments im Physikunterricht analysiert. In einem Artikel, welcher die Ergebnisse der Dissertation von Maike Tesch zusammenfasst, wird folgendes betont:

„Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass das Experimentieren trotz relativ kurzer Handlungsphasen (28 %) den Unterrichtsverlauf zu großen Teilen, durchschnittlich 64 %, beeinflusst. Typisch für eine Physikstunde im Anfangsunterricht sind Demonstrationen, die in ein Klassengespräch eingebettet sind, und instruktionsorientierte Schülerexperimente. Es zeigt sich, dass die Vor- und Nachbereitung von Experimenten, also die Einbettung in den Unterrichtsverlauf, eine wichtige Bedeutung für die Qualität des untersuchten Physikunterrichts hat.“
(Tesch & Duit 2004, S. 51)

In derselben Studie haben Ari Widodo und Reinders Duit weitere Mängel in der Experimentierphase in Bezug auf die Vorstellungen der Schüler*innen festgestellt. Nur selten wird ihnen die Möglichkeit gewährt, ihre Gedanken zu einem Sachverhalt zu erkunden, Alltagskonzepte gegebenenfalls zu hinterfragen und mit den Ergebnissen der Experimente abzugleichen (Widodo & Duit 2004, S. 242-245). Aber gerade jener Aspekt scheint für konstruktivistisch orientierte Unterrichtskonzepte essenziell zu sein.

Martin Hopf hat in seiner Dissertation problemorientierte Schüler*innenexperimente untersucht. Die Schlussfolgerung seiner Arbeit lautet:

„Selbst das Einbeziehen verschiedenster Forderungen an erfolgreiche Schülerexperimente wie Offenheit, Authentizität usw. führt immer noch nicht zu verbesserten Lernen oder positiveren Einstellungen der Schülerinnen und Schüler. Die alte didaktische Forderung nach dem vermehrten Einsatz von Schülerexperimenten ist nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung als Mythos zu bezeichnen.“ (Hopf 2007, S. 232)

Dabei stellt sich die Frage, inwiefern ein solch konkretes Fazit zielführend und vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.1 dargestellten Herausforderung physikdidaktischer Forschung haltbar ist. Auch wenn in dieser Arbeit der Standpunkt vertreten wird, dass ein bloßes physisches Interagieren im Rahmen von Experimenten nicht automatisch zu einem kognitiven Begreifen führt und der Einsatz von Experimenten generell diskutiert werden sollte, wird diese Schlussfolgerung in der formulierten Schärfe nicht geteilt. Es wird vielmehr der Standpunkt vertreten, dass es multiple Möglichkeiten gibt, guten Physikunterricht zu gestalten. Die Vorteile der jeweiligen Methode sind zum einen von einer normativen Frage nach dem Ziel von Bildung abhängig, die nicht eindeutig zu klären ist. Zum anderen ist die Qualität eines Unterrichtsgeschehens von mannigfachen und nicht zur Gänze kontrollierbaren Faktoren abhängig. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwiefern der pädagogische Mehrwert von schüler*innen-zentrierten Experimenten durch die gewählten Test-Items in jener Schärfe zu messen ist, welche eine solch eindeutige Schlussfolgerung zulässt.

Der reflexartigen Forderung nach Experimenten sollte vielmehr mit einer höheren Qualität derselben und einem sorgsamem Einsatz begegnet werden. Die Fragen, die in dieser Arbeit gestellt werden, lauten: Wo sind liegen die Stärken und Schwächen des gewählten phänomenologischen Zugangs? Was sind die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Experimenten in dem vorliegenden Unterrichtskonzept? Inwiefern können die identifizierten Herausforderungen in der Didaktik Wagenscheins überwunden werden?

c) Ziel dieser vorliegenden Arbeit kann keine Entwicklung einer fundierten Lerntheorie für phänomenologischen Unterricht sein. Dies würde den Rahmen einer Masterarbeit generell sprengen und auch dem Ziel der Arbeit nicht entsprechen. Vielmehr geht es um das Aufzeigen von Parallelen zwischen gut etablierten sowie aktuellen Forschungsansätzen und der Didaktik Martin Wagenscheins aus möglichst breiter Perspektive. Es könnte durchaus lohnend sein, die Fundierung einer umfassenden

phänomenologischen Lerntheorie im Fach Physik zu einem anderen Zeitpunkt genauer zu verfolgen. Für diese Arbeit kann dies jedoch nicht gewährleistet werden. Um dennoch die genannten Herausforderungen zu meistern und die Möglichkeit einer empirischen Evaluation einer phänomenologisch orientierten sowie auf Basis moderner Physikdidaktik etablierten Unterrichtseinheit zu ermöglichen, wird auf einen Vergleich zurückgegriffen, der nicht alle Fragen restlos beantworten kann und einige Details offenlässt.

Konstruktivistisch orientierte Lerntheorien haben um die letzte Jahrhundertwende Eingang in die Physikdidaktik genommen. Peter Labudde veröffentlichte im Jahr 2000 seine Habilitationsschrift „Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II“. Eine weitere wichtige Arbeit, „Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis“, wurde von Ari Widodo und Reinders Duit (2004) in der Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften publiziert. Diese liefert nicht nur einen Überblick über die Entwicklung der konstruktivistischen Lerntheorie, sondern auch einen Einblick in die Sichtweisen von Lehrkräften in Bezug auf konstruktivistisch orientiertes Lernen. Dabei wurde eine mangelnde Kenntnis der Lehrkräfte in Bezug auf konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen festgestellt. Als Begründer des Konstruktivismus werden meist Ernst von Glasersfeld und Heinz von Foerster angegeben, welche Ende der 1980er und 1990er Jahre wichtige Publikationen veröffentlichten. Jochen Gerstenmaier und Heinz Mandl haben 1995 eine moderate Variante des Konstruktivismus propagiert.

Der Aufgriff dieser Erkenntnistheorie spart meist eine wissenschaftstheoretische Diskussion im Rahmen von fachwissenschaftlichen Aspekten aus, gelegentlich sogar bewusst (Labudde 2000). Selten wird diskutiert, inwiefern das physikalische Wissen und die Forschung dazu im Rahmen einer konstruktivistischen Erkenntnistheorie fundiert werden können. Der Fokus liegt viel mehr auf der Aneignung bereits etablierten Wissens im Rahmen von klassischer Schulbildung. Interessant ist dieser Ansatz vor allem in Bezug auf die Konstruktion von Wissen im Rahmen eines Lernvorgangs (Hopf & Wilhelm 2018, S. 24). Dabei wird betont, dass Wissen nicht einfach übertragen werden kann, sondern durch das aktive Verarbeiten von Sinnesindrücken und Informationen von den Schüler*innen erschlossen werden muss. Eine wichtige Rolle bei diesem Ansatz sind somit die Vorstellungen und Konzepte, mit welchen die Schüler*innen in den Physikunterricht kommen (s. Kapitel 4.2).

Dadurch ist eine erste Verbindung zu Wagenscheins Didaktik gegeben, welcher eine Sachgenese vom Kinde aus unter Berücksichtigung ihrer Lebenswelt gefordert hat. Martin Wagenscheins Ableben überschneidet sich jedoch mit den Anfängen der erkenntnistheoretischen Strömung und hatte gar keine Möglichkeit, diese in sein Konzept zu integrieren. Dennoch lassen sich neben dem lebensweltlichen Ausgangspunkt phänomenologischer Physikdidaktik und einer schrittweisen Überführung dieser in eine wissenschaftliche Perspektive weitere Parallelen zwischen Wagenscheins Didaktik, der konstruktivistischen Lerntheorie sowie dem darauf aufbauenden Conceptual Change-Ansatz identifizieren. Die Literaturrecherche konnte keine Hinweise darauf liefern, dass eine konstruktivistische Lerntheorie für den phänomenologischen Unterricht bereits im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen aufgegriffen wurde. Um die genannten Parallelen aufzuzeigen und den angesprochenen Vergleich zu ermöglichen, wird auf ein einführendes Lehrbuch für das Lehramtsstudium sowie die Unterrichtspraxis zurückgegriffen.

Eine deutliche Verbindung zu dem Conceptual Change-Ansatz kann durch die Dissertation von Marc Müller (2017) gewonnen werden. In einer umfassenden Analyse setzte er sich mit den Grundlagen des phänomenologischen Unterrichts auseinander und identifizierte hierfür zwei schon öfters angesprochene Ebenen: die Lebenswelt der Novizen* und die wissenschaftliche Welt der Experten*innen. Wagenschein bemüht sich diesbezüglich der Metapher einer Brücke, welche eine Kluft zwischen diesen beiden Welten schließen soll. Marc Müller führt jedoch eine andere Sichtweise ein: Das Füllen dieser Kluft mit Praktiken, sogenannten Naturspielen von Kindern und Jugendlichen. Diese stellen eine Form von vorwissenschaftlichem Experimentieren dar. In Bezug auf den Umgang mit Alltagskonzepten und den damit verbundenen Herausforderungen für das Lernen von Physik wird in dem Lehrbuch zu „Schülervorstellungen und Physikunterricht“ folgendes festgehalten:

„Die gute Nachricht lautet in diesem Zusammenhang, dass das menschliche Gehirn sehr fähig darin ist, Sinnzusammenhänge zu erfassen. Es gelingt uns recht schnell, auch in zunächst scheinbar sinnlosen Daten Zusammenhänge aufzudecken bzw. zu konstruieren. Babys lernen sehr schnell, das Gesicht der Mutter von anderen Gesichtern zu unterscheiden und einen kausalen Zusammenhang zwischen angenehmen Dingen und dem Erscheinen der Mutter zu knüpfen. Es werden also relativ leicht erste Wissens- und Vorstellungselemente gebildet. Diese werden zunehmend ausgebaut und mit neu eintreffenden Eindrücken verbunden. Menschen versuchen, ein möglichst konsistentes System von Wissens- und Vorstellungselementen zu erschaffen.“ (Hopf & Wilhelm 2018, S. 25)

Dadurch wird hervorgehoben, dass Kinder von klein auf kausale Zusammenhänge bilden, welche grundlegend für ihre Entwicklung sind. Die Beobachtung „immer, wenn ich etwas loslasse, fällt es zu Boden“ kann nicht nur als ein ersteres Experimentieren und Schlussfolgern interpretiert werden, sondern erfüllt auch weitere Funktionen in der Entwicklung von Kleinkindern. Zum einen erzeugt die Erfahrung, dass die Welt nach Regeln und Gesetzmäßigkeiten abläuft, Sicherheit. Wenn diese spielerische Vorgehensweise noch um den Aspekt „... dann hebt mir jemand das Objekt auch wieder auf“ erweitert wird, erfüllt es eine wichtige Funktion in Bezug auf die Herstellung von einer Bindung zu den Bezugspersonen. Neben diesen grundlegenden psychologischen Faktoren stillt das Experimentieren auch das Bedürfnis nach Neugier und umfasst einen wichtigen spielerisch-lustvollen Aspekt. Kein Wunder, dass das eigenständige Experimentieren generell hoch im Kurs ist. Die wesentliche Unterscheidung dieses spielerischen Zugangs zu einer wissenschaftlichen Methode betrifft den Gehalt der Vorgehensweise. Um in Physik einen kausalen Zusammenhang beanspruchen zu können, müssen andere Kriterien erfüllt sein als jene, die im alltäglichen Kontext ausreichend erscheinen. Der eben dargelegte vorwissenschaftliche Gehalt der Auseinandersetzung mit Phänomenen wird von Marc Müller mit dem Begriff der Naturspiele beschrieben. Inwiefern diese auch Erklärungsversuche umfassen und dadurch eine hohe Ähnlichkeit zu dem Begriff *phenomenological primitives* (p-prims) sollte noch weiter geprüft werden. P-prims werden in dem Lehrbuch (Hopf & Wilhelm 2018, S. 33f) als vorwissenschaftliche Schlussfolgerungen im Rahmen von konstruktivistisch orientiertem Lernen angeführt.

Nach der Feststellung einer vielfältigen Überschneidung der impliziten Forderungen Wagenscheins mit aktuellen Ansätzen der Physikdidaktik ist es hilfreich, den phänomenologischen Physikunterricht, genau genommen die hier vorgeschlagene Variante davon, innerhalb unterschiedlicher Ansätze des Conceptual Change einzuordnen. In dem Lehrbuch werden zurückgehend auf Arbeiten um George J. Posner Bedingungen angeführt, welche für einen Konzeptwechsel wesentlich sind:

- „ - Die Schülerinnen und Schüler müssen mit ihrem vorhandenen Konzept unzufrieden sein.
- Das vorgestellte neue Konzept muss wenigstens bis zu einem gewissen Grad verstanden sein.
- Das neue Konzept muss intuitiv einleuchtend erscheinen.
- Das neue Konzept muss auf neue Situationen und Phänomene übertragbar und dort hilfreich sein.“ (Hopf & Wilhelm 2018, S. 28)

Der erste Punkt bezieht sich auf einen grundlegenden Aspekt des konstruktivistischen Ansatzes, welcher eine Neukonstruktion überhaupt erst initiiert. In der Literatur wird dieser Auslöser oft auch als kognitiver Konflikt bezeichnet. Dies sollte nicht zwangsläufig als negativ konnotierter Moment aufgefasst werden, da auch ein moderaterer Denkanstoß eine gewisse Unzufriedenheit auslösen kann. Das Experiment nimmt jedoch im Rahmen des vorliegenden Planungsschemas genau diese Funktion ein, die als Auslöser für eine Neukonzeption verstanden werden kann.

Das Auswahlkriterium für die zu analysierenden Phänomene sollte nicht vordergründig auf Basis einer maximalen Faszinationskraft oder ehestmöglichen Natürlichkeit getroffen werden. Das Experiment soll vielmehr einem Wendepunkt im genetischen Prozess entsprechen, im Sinne eines essenziellen Impulses im Übergang von Alltagskonzept zur wissenschaftlichen Perspektive. Wenn Schüler*innen durch eigenständige Messungen feststellen, dass eine Billardkugel auf einer horizontalen und nahezu reibungsfreien Bahn ihre Bewegung beibehält bzw. sie erfassen, dass die Erde auch keinen Antrieb besitzt, welcher ihre Bewegung aufrechterhält, kann ein solcher kognitiver Konflikt ausgelöst werden. Die Autoren merken jedoch in Bezug auf ein schlagartiges Austauschen eines Konzepts durch plötzliche Einsicht Folgendes an:

„Diese Auffassung des Conceptual Change hat sich als nicht tragfähig erwiesen [...]. Zum einen zeigt sich, dass es nicht möglich ist, fehlerhafte Vorstellungen auszumerzen und vollständig durch richtige zu ersetzen. Das gilt auch für uns als ausgebildete Physikerinnen und Physiker: Wir wissen, dass Strom und Energie nicht verbraucht werden, aber in Alltagsgesprächen reden auch wir (zumindest manchmal) vom „Strom-“ oder „Energieverbrauch“. Die Prozesse des Conceptual Change laufen zudem in der Regel nicht schlagartig ab, sondern langsam und schrittweise.“ (Hopf & Wilhelm 2018, S. 28f)

Mit der Bezeichnung „kognitiver Konflikt“ ist deshalb im vorliegenden Planungsschema kein schlagartiges Austauschen der Konzepte gemeint. Die herangezogene Definition von Alltagskonzepten betont vielmehr die Akzeptanz unterschiedlicher Zwecke wissenschaftlicher und alltäglicher Kommunikation, ein Aufzeigen der divergierenden Zweckmäßigkeit sowie ein Aufgreifen von Alltagskonzepten als Ressource. Dennoch müssen das Experiment bzw. die Betrachtung eines spezifischen Phänomens eine gewisse kognitive Unzufriedenheit auslösen, damit ein Konzeptwechsel überhaupt initiiert werden kann.

Das Verstehen des neuen Konzepts und das „intuitive Einleuchten“ werden dadurch gewährleistet, dass die Schüler*innen bei der Erarbeitung des neuen Konzepts im

Rahmen eines sokratischen Gesprächs eine zentrale Rolle einnehmen. Die Übertragbarkeit und Anwendung werden durch den genetischen Prozess sichergestellt, indem ein schrittweiser Aufbau von einer Erkenntnis zur nächsten führt und vorhergehende Schlussfolgerungen integriert. Dabei spielt der Einblick in die Entwicklungsmechanismen des wissenschaftlichen Konzepts eine wesentliche Rolle.

Im Lehrbuch werden zwei unterschiedliche Herangehensweisen des Conceptual Change dargestellt. Kontinuierliche bzw. synthetische Zugänge (Hopf & Wilhelm 2018, S. 29-33) betonen, dass die Konzepte der Schüler*innen nicht starr sind und von ihnen je nach Kontext unterschiedliche Erklärungsansätze herangezogen werden. Ziel ist es, vorhandene Strukturen aufzugreifen, zu differenzieren und in wissenschaftliche Konzepte zu integrieren. Die diskontinuierliche Konzeption bzw. der „Knowledge in Pieces“ Ansatz (Hopf & Wilhelm 2018, S. 33-34) sieht einen Conceptual Change als ein Umstrukturieren von Schlussregeln (p-prims), welche sich zwar im Alltag bewähren, in wissenschaftlichem Kontext jedoch fehlerhaft angewandt werden. Der Fokus auf einen inkonsistenten und widersprüchlichen Einsatz der Alltagskonzepte nimmt die Umdeutung jener bzw. den Bruch mit diesen in den Blick.

Der hier vorgestellte phänomenologisch orientierte Ansatz stellt eine Synthese beider Zugänge dar. Zum einen nimmt das Phänomen bzw. die Beobachtung dessen eine Funktion ein, welche durch eine gewisse kognitive Irritation, eine Form der Unzufriedenheit, ein Umdenken auslösen soll. Jedoch sollte dies nicht schlagartig geschehen. Die Sachgenese (Kapitel 4.3) berücksichtigt eine Vielzahl von kleineren Gedankengängen, welche schrittweise zu einem Konzeptwechsel führen.

Das Phänomen nimmt somit eine bedeutende Rolle ein, da in ihm viele Aspekte zusammenfließen. Seine Auswahl hat exemplarischen Charakter und es ist an der Schnittstelle zwischen Alltagskonzept und wissenschaftlicher Perspektive verortet. Es möchte ersteres aufgreifen und Schüler*innen anregen, ihre Ansichten zu reflektieren, um gemäß eines inhaltlichen Fahrplans, welcher im genetischen Element festgelegt ist, einen Konzeptwechsel herbeizuführen.

Die Interpretation der Didaktik Wagenscheins, welche in dieser Arbeit dargelegt wird, überwindet zwei der drei festgestellten Herausforderungen, bietet eine Lösung für empirisch nachgewiesene Mängel im Rahmen von Experimenten im Physikunterricht und stellt eine Verbindung von phänomenologischem Unterricht zu dem Conceptual Change-Ansatz her.

4.5. Die sokratischen Fragen - Das Steuerungselement im genetischen Prozess

Wie auch in den vorhergehenden Unterkapiteln wird hier zuerst auf die bisher dargestellten Herausforderungen eingegangen, ehe zur Lösung dieser ein Anschluss an aktuelle physikdidaktische Forschung dargelegt wird. Neben der Rolle des Experiments im Physikunterricht findet sich in diesem Unterkapitel ein zweiter essenzieller Aspekt des vorliegenden Unterrichtskonzepts, welcher in Rahmen eines Planungsschemas skizziert wird. Die festgestellten Mängel im sokratischen Element lieferten eine Bestätigung für die Notwendigkeit empirisch fundierter Forschung im Bereich des phänomenologischen Physikunterrichts. Durch die qualitative Analyse der Unterrichtsverläufe mehrerer Gruppen des in der Diplomarbeit evaluierten Mechanik-Lehrgangs (Wallner 2011a) konnte zum einen die fundamentale Kritik Engelbrechts entkräftet werden. Zum anderen wurde gezeigt, dass der Problematik einer unscharfen Begriffsdefinition in der Didaktik Wagenscheins durch empirische Forschung entgegengetreten werden kann. Die Analyse der sokratischen Gespräche zeigt zwar auf, dass es im Bereich des sokratischen Elements weitaus mehr Herausforderungen gibt, als dies vermutet wurde. Dennoch konnte die empirische Evaluation des Lehrgangs einen guten Beitrag leisten und Einsicht in die erfolgreichen bzw. weniger erfolgreichen Steuerungsmechanismen liefern.

Nicht nur das Experiment im Physikunterricht, sondern auch der phänomenologische Zugang im Allgemeinen steht vor einer sehr großen Herausforderung. Der aktive Aufgriff von Alltagskonzepten durch die Thematisierung der Lebenswelt kann leicht zu verwirrenden Betrachtungen führen. Denn die Analyse der sokratischen Gespräche (Wallner 2011a) hat auch gezeigt, an welchen Stellen der Gesprächsverlauf sich auf unproduktive Weise verzettelt. Dies geschieht meist an jenen Stellen, bei welchen Beispiele aus dem Alltag von Schüler*innen thematisiert werden, in welche sehr viele Faktoren einfließen. Die gewählten Beispiele können auf Grund des Komplexitätsgrades in jenen Phasen der Sachgenese noch nicht erschlossen werden, da sie umfassendere Konzepte voraussetzen würden. Die möglichst eigenständige Erarbeitung physikalischer Inhalte benötigt des Weiteren Zeit und wird von Kritikern durchaus zu Recht hinterfragt. Dennoch scheint die aktive Auseinandersetzung mit Alltagskonzepten, die schüler*innenzentrierte Auseinandersetzung mit Phänomenen sowie die Reflexion der dort gesammelten Erfahrungen ein sehr fruchtbarer Weg zu sein. Auch wenn es nicht sinnvoll sein dürfte, Physikunterricht ständig an dem

vorliegenden Unterrichtskonzept zu orientieren, kann der punktuellen Einsatz der Methode nicht grundsätzlich abgelehnt werden. Vielmehr besteht die Frage darin, worin die Vor- und Nachteile dessen liegen, mit welchen Herausforderungen zu rechnen ist und wie ihnen begegnet werden kann.

Eine Antwort auf den letzten Punkt stellen sokratische Fragen dar. Sie sind als Impulsgeber eines sokratischen Gesprächs zu verstehen, welcher vor dem Hintergrund von Alltagskonzepten und spezifischen Beobachtungen auf einen vorab definierten genetischen Prozess abzielt. In der hier vorgestellten Unterrichtskonzeption sind sie als Werkzeug zu verstehen, welches einer Lehrperson zu Verfügung gestellt wird. Sie können empirisch evaluiert und weiterentwickelt werden. Auch wenn im konkreten Unterrichtsgeschehen das Gespräch von einem Idealszenario abweicht, es bestimmt nicht das *eine* goldene Set an Fragen mit *Garantieversprechen* gibt und die vorab formulierten Fragen ad hoc durch weitere Impulse ergänzt werden müssen, stellen sie dennoch ein wertvolles Werkzeug dar. Ein Werkzeug, welches durch die vorliegende Arbeit geschliffen wird und dessen Einsatz absehbar und vielversprechend, aber nicht zu 100 % vorab determinierbar ist. Die individuelle Komponente der Konstruktion von Wissen wurde im vorhergehenden Kapitel im Rahmen von konstruktivistischen Lerntheorien thematisiert. An dieser Stelle wird eine Unterrichtsmethode näher ausgeführt, welche der Lehrkraft als Steuerungselement in einem herausfordernden Prozess zur Verfügung gestellt wird.

Das schüler*innenzentrierte Erschließen einer genetischen Sachstruktur ist durch viele herausfordernde Einflussfaktoren sowie situationsspezifische Impulse geprägt. Ein Bindeglied zwischen dem Experiment, welches einen Wendepunkt im genetischen Prozess initiieren soll und den sokratischen Fragen bieten Erkenntnisse des America's Lab Report (Singer, Hilton & Schweingruber 2006). In diesem Bericht wird die Laborpraxis in den USA dargestellt und eine wichtige Differenz zwischen zwei Unterrichtsformen herausgearbeitet. Der integrative Laborunterricht im Vergleich zum klassischen, ermöglicht den Schüler*innen den Aufgriff von Alltagskonzepten sowie eine aktive Auseinandersetzung unter Berücksichtigung der experimentellen Ergebnisse. Brigitte Koliander hebt in einer Rezension des Reports hervor, dass der integrative Laborunterricht zu „deutlich besseren Ergebnissen in den Bereichen ‚fachliches Wissen‘, ‚naturwissenschaftliches Begründen‘ und ‚Interesse an den

Naturwissenschaften““ (Koliander 2009, S. 6) führt. Zusätzlich werden Empfehlungen für diese Art des Experimentierens angeführt:

- „1. Die Lernziele der Aktivitäten im Labor sind klar und werden den Schüler/innen auch klar kommuniziert.
2. Die Laborpraxis ist in den übrigen naturwissenschaftlichen Unterricht eingebunden.
3. Es werden naturwissenschaftliche Konzepte vermittelt, aber den Schüler/innen wird auch der Prozess der Entwicklung von naturwissenschaftlichem Wissen näher gebracht.
4. Die Schüler/innen werden immer wieder zur Diskussion und Reflexion der Laboraktivitäten aufgefordert. Es sollten nicht vorwiegend Experimente gewählt werden, die der ‚Bestätigung‘ einer Aussage dienen. Die Lernenden sollten ihre Hypothesen vor dem Experimentieren darlegen und ihre Konzepte nach dem Experiment reflektieren.“ (Koliander 2009, S. 6)

Die wichtigsten beiden Punkte, welche durch die sokratischen Fragen im Rahmen des vorliegenden Planungsschemas gewährleistet werden, sind mit Punkt 1 und 4 gegeben. Zwar müssen zusätzlich zu den Fragen Instruktionen in Bezug auf die bloße Durchführung der Experimente gegeben werden. Die erste Phase der sokratischen Fragen richtet sich jedoch in einem weiteren Schritt auf den zu beobachtenden Aspekt mit dem Ziel, einen Folgeschritt bestmöglich zu gewährleisten.⁶ In weiterer Folge sollen diese Beobachtungen reflektiert und diskutiert werden und durch sie nicht bloß ein Ergebnis für die Bestätigung eines Sachverhalts geliefert werden. Aber auch die anderen beiden Punkte werden von den sokratischen Fragen berücksichtigt. Der Übergang in den regulären Unterricht ist dadurch gegeben, dass in einer dritten Phase der sokratischen Fragen die Schlussfolgerungen im Experiment weiter abstrahiert werden und vor dem Hintergrund der Definition von Begriffen und dem Formulieren von Gesetzmäßigkeiten eine theoretische Ebene berücksichtigt wird. Die Einsicht in die Entstehung der Gesetzmäßigkeiten durch die schüler*innenzentrierte Erarbeitung der theoretischen Aspekte deckt den dritten Punkt der Empfehlungen ab. In der bereits erwähnten Videostudie hebt Maike Tesch zusätzlich hervor, dass Lernen im Physikunterricht durch einen zirkulären Prozess gegeben sein sollte, in welchem die Theoriebildung eng mit den Ergebnissen der Experimente verknüpft ist und das schrittweise Abstrahieren der Lernenden konstruktivistisch orientiertes Lernen ermöglicht (Tesch 2005, S. 55f). Leider wurde in der Studie ein großer Mangel in Bezug auf diesen wichtigen Aspekt festgestellt. Oft scheint es keinen guten Übergang zwischen

⁶ Die sokratischen Fragen in drei Phasen zu gliedern, war ein zentrales Ergebnis der Evaluation des Mechanik-Lehrgangs (s. Kapitel 3.3).

Experiment und Theorie in regulären Physikunterricht zu geben. Dieser Sachverhalt liefert eine deutliche Verbindung zwischen moderner Physikdidaktik und der vorliegenden phänomenologisch orientierten Unterrichtskonzeption.

Dieser Zusammenhang kann weiter untermauert werden: Im Lehrbuch „Schülervorstellungen und Physikunterricht“ wird die Notwendigkeit betont, die Bedeutung von zentralen Begriffen in einem Gespräch gemeinsam mit den Schüler*innen zu erarbeiten (Hopf & Wilhelm 2018, S. 26). Dadurch wird ihnen die Möglichkeit geboten, die vorhandenen Impulse zu verarbeiten und in bestehende Konzepte zu integrieren.

Das Besondere an der vorliegenden Unterrichtskonzeption ist der Aufgriff zentraler Elemente konstruktivistischen Lernens im Rahmen der Experimentierphasen im Physikunterricht. Es sollen nicht nur vielversprechende Sachstrukturen und Elementarisierungen aufgegriffen werden, welche Alltagskonzepte in eine wissenschaftliche Perspektive überführen. Vielmehr wird auch Einblick in eine der zentralen Methode der Naturwissenschaft, das Experiment gewährleistet und dadurch ein Einblick in Entstehungsprozesse des naturwissenschaftlichen Wissens (nature of science) gewährt. Die Herausforderungen, die damit einhergehen, sind vielfältig und sollten nicht unterschätzt werden. Umso mehr muss der Einsatz der sokratischen Fragen evaluiert werden, was in weiterer Folge durch diese Arbeit auch gewährleistet werden soll.

Damit die bisher angeführten Ansprüche ehestmöglich erfüllt werden, sollten sokratische Fragen die folgenden Qualitätskriterien erfüllen. Diese stützen sich zum einen auf die empirischen Ergebnisse der Diplomarbeit (Wallner 2011a, S. 172-179 & 184-188) sowie die langjährige eigene Unterrichtspraxis. Dabei sind vielfältige Impulse mitgedacht und es ist nicht zwingend notwendig, dass diese auch tatsächlich in Form einer Frage formuliert sind, solange sie die folgenden Aspekte in den Blick nehmen.

- a) Die Fragen werden in drei Phasen gegliedert: 1. Fokussierung der Beobachtung auf den relevanten Aspekt in der genetischen Sachstruktur. 2. Die erste Reflexion und Interpretation dieser Beobachtung ist in einem Folgeschritt an der Schnittstelle von Alltagskonzept und wissenschaftlicher Perspektive verortet. 3. Ein zweiter Schritt der Abstraktion zielt auf eine Verallgemeinerung der bereits gewonnen Reflexion im Sinne einer Theoriebildung ab.
- b) Der Blick soll generell auf die jeweils angesprochene Zielsetzung gelenkt werden, ohne die Antwort auf die Frage vorwegzunehmen. Die Fragen sollen bestmöglich eine Differenz in den Blick nehmen und die Schüler*innen

auffordern, einen Unterschied oder relevanten Sachverhalt zu beschreiben, ohne dabei einen suggestiven Charakter zu besitzen.

- c) Es ist sinnvoll, wenn die Fragen im Rahmen einer gründlichen Planung und vor dem Hintergrund der Alltagskonzepte sowie der didaktisch begründeten Sachstruktur und dem Phänomen als Impuls eines konstruktivistischen Lernprozesses entwickelt werden. Wenig sinnvoll erscheint es, sie primär ad hoc im Rahmen eines Gesprächs entstehen zu lassen, auf Basis von vagen Regeln der Gesprächsführung, auch wenn die Notwendigkeit besteht, sie im Prozess situationsangepasst um weitere Impulse zu ergänzen.
- d) Die vorab formulierten Fragen verfolgen ein Skript, welches durch die bloße Erfahrung am Experiment und dem zu erwartenden Vorwissen den Schüler*innen potenziell durch eigene Überlegungen zugänglich ist. In diesem Sinn stellen die sokratischen Fragen alles andere als ein Instrument des zu Recht kritisierten fragenentwickelnden Unterrichts dar.

Auf Basis der empirischen Evaluation (Wallner 2011a) sowie dem Aufgriff des zweidimensionalen Aspekts eines dynamischen Zugangs (siehe Kapitel 4.3) hat der eigene Mechanik-Lehrgang eine Weiterentwicklung erfahren. Als Beispiel für den eben formulierten Anspruch an die sokratischen Fragen kann das „Mini-Experiment zur Beschleunigung“ angeführt werden. In diesem wird eine Kugel beobachtet, welche von einer horizontalen Strecke auf eine Schräge rollt, dort umkehrt und wieder zurückrollt.

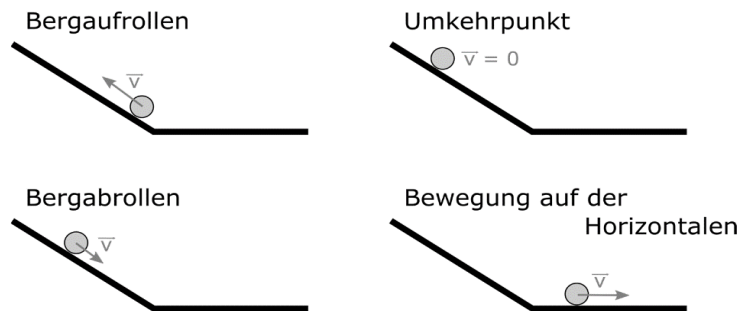
Vorab haben die Schüler*innen in der Sachgenese des Lehrgangs schon folgende Aspekte erschlossen:

- Befindet sich die Billardkugel auf einer horizontalen Strecke, so kann ihre Geschwindigkeit nicht verändert werden, egal ob sie ruht oder rollt. Auf die Kugel wirkt zwar eine Schwerkraft, zusätzlich wirkt aber eine Kraft entgegengerichtet, die von der Bahn ausgeht. Beide heben sich auf, die Schwerkraft kann die Kugel nicht beeinflussen. Zusätzlich muss für eine unbeschleunigte Bewegung vom Einfluss der Reibung und des Luftwiderstands abgesehen werden.
- Befindet sich die Kugel jedoch auf einer geneigten Bahn, erhöht sich die Geschwindigkeit der Kugel, da die Schwerkraft die Kugel in Richtung der Schräge zieht. Dieser Vorgang wird als Beschleunigung bezeichnet.

Exp 3: Miniexperimente zur Beschleunigung

Bei dem Experiment sollst du **eine Kugel von dem geraden Abschnitt** so auf die Schräge rollen lassen, dass sie nach einer Phase **des Bergaufrollens, des Umkehrens und des Bergabrollens wieder auf die horizontale Bahn zurückrollt**. Wichtig dabei ist, dass du diese vier Phasen genau beobachtest und versucht zu erfassen, welche Bewegung sie aufweisen.

In der folgenden Grafik siehst du **4 Zeichnungen** für jede dieser Phasen. Die **Geschwindigkeit \vec{v}** ist schon mithilfe eines Vektorpfeils dargestellt. Der Pfeil gibt die Richtung der Geschwindigkeit an (z. B. parallel zur Schräge, bergauf) und die Länge ihren Betrag (z. B. 1,2 m/s). **Ergänze nun in jeder Zeichnung mithilfe eines Vektorpfeils die Beschleunigung \vec{a} .**



Beschreibe nun die 4 Phasen mithilfe der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung. Gib dabei in Worten an, in welche **Richtung** Geschwindigkeit und Beschleunigung zeigen, **wie groß sie im Vergleich** zu der vorhergehenden Phase sind bzw. ob sie zu- oder abnehmen.

4. Phase horizontaler Abschnitt: _____

3. Phase Bergabrollen: _____

2. Phase Umkehrpunkt: _____

1. Phase Bergaufrollen: _____

Abb. 3: Beispiel für weiterentwickelte sokratische Fragen

Die Sachgenese widmet sich nun im „Miniexperiment zur Beschleunigung“ (Abb. 3) einem weiteren wichtigen Schritt. Dabei ist der Punkt a) der Qualitätskriterien dadurch gegeben, dass in der Aufgabenstellung erstens der Fokus der Beobachtung explizit auf die Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung gerichtet ist. Die zweite Phase der sokratischen Auseinandersetzung greift diese Beobachtung auf und leitet eine erste Abstraktion ein, indem die durch die Beschreibung der vier Phasen eine für das Verständnis der Schüler*innen schwierige Differenz zwischen diesen beiden Größen in den Blick genommen wird. Im Anschluss an das Experiment werden die Schüler*innen darauf aufbauend mit zusammenfassenden Fragen konfrontiert, welche die dritte Phase, das heißt einen weiteren Schritt der Abstraktion einläuten, um die

bereits gewonnen Reflexionen im Sinne einer Theoriebildung zu vertiefen. Die Fragen lauten:

- Kann sich die Geschwindigkeit ändern, wenn die Beschleunigung null ist? Wenn ja, an welchem Abschnitt der Kugelbahn konntest du dies beobachten?
- Kann es eine Bewegung geben, wenn die Beschleunigung null ist? Wenn ja, an welchem Abschnitt der Kugelbahn konntest du dies beobachten?
- Kann es eine negative Beschleunigung geben? Wenn ja, an welchem Abschnitt der Kugelbahn konntest du dies beobachten?
- Welche beiden Auswirkungen der Beschleunigung auf die Bewegung eines Körpers konnten wir beobachten? Versuche diese mit einem Wort zusammenzufassen!

Ziel ist es, durch diese Fragen die Beschleunigung als Geschwindigkeitsänderung pro Zeit zu definieren.

In diesem Beispiel wird deutlich, dass sokratische Fragen vielfältige Impulse sein können. Zum Beispiel eine grafisch zu lösende Aufgabenstellung mit anschließender Verbalisierungsaufgabe und weiteren Impulsen, die eigentlich keine Fragen darstellen. Sokratische Fragen werden in dem vorliegenden Unterrichtskonzept ganz allgemein als ein Werkzeug verstanden, welches das Ziel verfolgt, die Qualität der Reflexion und Interpretation von Beobachtungen eines spezifischen Phänomens, verortet an der Schnittstelle zwischen Alltagskonzept und wissenschaftlicher Perspektive, zu heben. Ihre klassische Form ist eine Frage in Bezug auf einen relevanten Aspekt, die Variation des angesprochenen Steuerungselements ist jedoch vielfältiger. Weder garantieren sie ein friktionsfreies Erreichen einer Sachgenese, noch besteht der Anspruch, dass sie nicht durch weitere Impulse im Laufe des Unterrichtsgeschehens ergänzt werden müssen.

Diese Auffassung stützt sich auf folgende Aspekte, welche gleichzeitig den Werdegang der Auseinandersetzung des Autors mit der sokratischen Methode in der Didaktik Wagenscheins beleuchten. In der Diplomarbeit wurde zunächst im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche dargelegt (Wallner 2011 a, S. 43-51), dass der Aufgriff einer philosophischen Methode durch Wagenschein im Rahmen des Physikunterrichts nur ungenügend vollzogen wurde. Des Weiteren wurden dabei kritische Argumente aufgegriffen und ein Lösungsansatz erarbeitet, welcher den Einsatz von vorab formulierten Fragen vorschlug.

In einem weiteren Schritt wurde in der Diplomarbeit ein eigens entwickelter Mechanik-Lehrgang empirisch evaluiert und mithilfe eines Pre-Post Designs sowie dem Einsatz eines standardisierten Erhebungsinstruments (Force Concept Inventory) ein erfolgreicher Konzeptwechsel belegt (Wallner 2011a, S. 91-95). Die qualitative Analyse der transkribierten sokratischen Gespräche hat darüber hinaus ein differenziertes Bild ergeben und aufgezeigt, an welchen Stellen die sokratischen Fragen ihren Erwartungshorizont nicht einlösen konnten. Auf Basis dessen wurde die Strukturierung der sokratischen Auseinandersetzung mit einem dargebotenen Phänomen in drei Phasen und mit weiteren Qualitätskriterien vorgeschlagen (Wallner 2011a, S. 95-180).

Ergänzt wurden die Postulate dieses Kapitels mit einer Weiterentwicklung der eigenen Unterrichtsmaterialien und der langjährigen Erfahrung aus der Praxis. Der umfassende Rückgriff auf die Eigenleistung ist notwendig gewesen, da zur sokratischen Methode im Physikunterricht keine empirisch gestützten und theoretisch ausreichend fundierten Arbeiten gefunden werden konnten.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einsatz der sokratischen Methode weiter ausgearbeitet, in dem dargelegt wurde, wie er sich in das Planungsschema einfügt und welche aktuellen Ansätze der Physikdidaktik (Alltagskonzepte, empirisch erforschte Sachstrukturen, Ansätze konstruktivistischer Lerntheorien, festgestellte Mängel im Einsatz des Experiments) sich in die eigene Interpretation eines an Wagenschein orientierten Unterrichtskonzept einbetten lassen.

4.6. Kompetenzen der Schüler*innen - Das Genetische Element

Neben der unzureichenden Neukontextualisierung der aufgegriffenen philosophischen Methode steht das sokratische Prinzip in einem Spannungsverhältnis mit dem genetischen Element. Diese Herausforderungen wurden bereits aufgegriffen und durch eine eigene Weiterentwicklung sowie den Aufgriff von aktuellen physikdidaktischen Ansätzen entschärft. Im Kapitel 3.4 wurde jedoch eine weitere ungenügende Begriffsdefinition im Kanon Martin Wagenscheins angeführt: Die Abgrenzung des Genetischen Aspekts vom genetischen Element. In der vorliegenden Unterrichtskonzeption ist die Differenz zwischen dem „Werden des Wissens“ (genetisch) und dem „Werden des Menschens“ (Genetisch) durch eine Implementierung des epistemologischen Ansatzes John Deweys in das Konzept Wagenscheins gegeben. (Wallner 2011a, S. 20-43) Auch wurde bereits der Verweis auf eine Metaebene des Unterrichtskonzepts angeführt, welche letztendlich nicht bestimmte Inhalte in den

Fokus nimmt, sondern Fähigkeiten und Fertigkeiten. Instrumente im Sinne Deweys stellen dienliche Werkzeuge für die Auseinandersetzung mit den physikalischen Inhalten dar. Diese Metaebene schwingt subtil mit und kann keineswegs unmittelbar in den Blick genommen werden. Es wird die Auffassung vertreten, dass Kompetenzen können nicht unmittelbar gelehrt, sondern bloß in einer hochwertigen Auseinandersetzung mit Inhalten im Rahmen guten Unterrichts als Nebenprodukt indirekt erworben werden. Denn den Umgang mit einem Werkzeug erlernt man immer nur in der Auseinandersetzung mit einem exemplarischen Werkstück, im Rahmen seiner konkreten Anwendung. Dass es für den Erwerb von Kompetenzen während oder nach einer Auseinandersetzung mit einem Inhalt auch konkreter Hinweise und einer spezifischen Reflexion bedarf, ist dadurch nicht ausgeschlossen. Im Gegenteil, das vorliegenden Unterrichtskonzept bietet allerlei Möglichkeiten, diesen Aspekt in das Zentrum der Aufmerksamkeit zu rücken, nachdem exemplarische Inhalte erworben wurden. Diesbezüglich wird im Lehrbuch „Schülervorstellungen und Physikunterricht“ angemerkt, wie wichtig ein exemplarischer Einblick in die Wissensgenese ist, um auf Basis dessen Schüler*innen Kenntnisse über die naturwissenschaftlichen Methoden zu ermöglichen (Hopf & Wilhelm 2018, S. 32). Dabei werden die Überführung ihrer Vorstellungen in Hypothesen und die Überprüfung dieser hervorgehoben. In diesem Sinn liefert die schüler*innenzentrierte Erarbeitung eines Sachverhalts durch eine Auseinandersetzung mit einem dargebotenen Phänomen die Voraussetzung für den Einblick in die Entstehungsgeschichte der dahinterliegenden Gesetzmäßigkeiten. Das heißt: naturwissenschaftliche Kompetenzen werden durch die Reflexion der Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden sichtbar.

Dies ist deckungsgleich mit „Verstehen Lehren“ im Sinne Wagenscheins. Dies umfasst Einsicht in die Mechanismen der Wissensgenese, die Erfahrung, dass die Dinge, die man glaubte zu wissen, nicht grundsätzlich falsch sind und dass Irrtum sowie Paradigmenwechsel ein Teil des wissenschaftlichen Prozesses sind. In diesem Sinne kann das Konzept der Einwurzelung verstanden werden, die Integration eines kindlichen Naturverständnis in eine abstrakte und hochkomplexe Beschreibung durch einen wissenschaftlichen Blick auf die Phänomene. Bruchloses Lernen stellt in diesem Sinne eine behutsame Einbettung einer komplexer Perspektive in die bisherige Sicht auf Natur dar. Dass Experimente Irritationen auslösen und Wissenschaft Revolutionen (Kuhn 1976) ausgesetzt ist, ist dadurch nicht negiert.

Das Genetische Element zielt somit auf zu erwerbende Kompetenzen ab, welche auf einer Metaebene verankert sind. Es ist das i-Tüpfelchen eines komplexen Prozesses, der vor dem Erreichen dieses Ziels eine Reihe von anderen Schritten gewährleisten muss.

4.7. Beantwortung der theoretischen Forschungsfrage

Die theoretische Forschungsfrage umfasste zunächst die Frage nach den zentralen Herausforderungen in der Didaktik Martin Wagenscheins. Die drei dargelegten Herausforderungen ergaben sich aus einer vorhergehenden, empirisch gestützten Auseinandersetzung mit Martin Wagenschein sowie einer kritischen bildungswissenschaftlichen Analyse. Das Pathos der reformpädagogischen Sprache, der Mangel an empirischer Forschung sowie der unscharfe Begriffskanon stellten sich dabei als die problematischsten Herausforderungen heraus.

Im darauffolgenden Kapitel wurde der zweite Teil der theoretischen Forschungsfrage bearbeitet und gezeigt, auf welche Weise den festgestellten Herausforderungen entgegengetreten werden kann. Dabei wurden aktuelle physikdidaktische Ansätze aufgegriffen und sowohl Ergebnisse vorangegangener empirischer Forschung als auch die eigene Unterrichtspraxis in ein phänomenologisch orientiertes Planungsschema eingebettet. Dieses Planungsschema geht auf die Didaktik Martin Wagenscheins zurück, stellt aber gleichzeitig eine Weiterentwicklung des Unterrichtskonzepts durch den Autor dieser Arbeit dar. Es hat sich dabei gezeigt, dass Martin Wagenschein viele zentrale Forschungsbereiche der Physikdidaktik in seinem Unterrichtskonzept implizit mitgedacht hat bzw. sich Parallelen zwischen der Didaktik Wagenscheins und moderner Physikdidaktik aufzeigen lassen.

Das dabei entstandene Planungsschema soll nicht nur die Qualität eines phänomenologisch orientierten Unterrichtsansatzes heben, sondern auch durch das Explizieren zentraler Aspekte eine Orientierung für Außenstehende liefern. Denn die Umsetzung von phänomenologischem Unterricht kann sich für Personen, welche nicht auf eine langjährige Auseinandersetzung mit der Didaktik Wagenscheins zurückgreifen können, als sehr anspruchsvoll herausstellen (Brülls 2004). Des Weiteren wurde in Kapitel 3.3 dargelegt, dass viele Steuerungsmechanismen auf implizitem Erfahrungswissen beruhen und die Gestaltung von sokratischen Unterrichtsgesprächen eine Herausforderung darstellt. Dem entgegenzuwirken war ein wesentliches Ziel der Darlegung dieses Planungsschemas.

5. Die Vision Tube - Eine Einführung in ein elementares Konzept der Optik

In diesem Kapitel wird nun das zentrale Experiment der zu evaluierenden Unterrichtseinheit in Bezug auf seine allgemeinen didaktischen Überlegungen sowie seine Entwicklungsgeschichte dargestellt. Im Anschluss daran wird das in Kapitel 4 dargestellte Schema für die Planung einer einführenden Unterrichtsstunde in die Optik umgesetzt.

5.1. Die Entstehungsgeschichte der Vision Tube

Die Vision Tube hatte ihre Geburtsstunde in einem physikdidaktischen Vertiefungsseminar zur Optik des Wintersemesters 2010 an der Universität Wien, geleitet durch Claudia Haagen-Schützenhöfer. Die Entwicklung eines Prototyps und sein Einsatz im Rahmen einer doppelstündigen Experimentierreihe in einer 4. Klasse Volksschule waren der Kern der Abschlussarbeit des Seminars (Wallner 2011b). Begleitet wurde die videographierte, transkribierte sowie ausgewertete Unterrichtseinheit auch von gängigen Test-Items, welche Alltagskonzepte der Optik berücksichtigten und im Pre-Post-Design angewandt wurden. Die abschließende Formulierung von Verbesserungsvorschlägen baute auf den Ergebnissen der empirischen Untersuchung auf.

Dabei wurde die Entwicklung der Vision Tube im Wesentlichen durch den Lehrgang von Harmut Wiesner (1992) angeregt, in welchem ein Experiment „Lochkamera“ eingesetzt wird. Dieser Lehrgang berücksichtigt die Alltagskonzepte der Schüler*innen und betont die Notwendigkeit der Einführung der Sender-Empfänger-Vorstellung (kurz SEV bzw. SEV-Konzept) als elementares Basiskonzept der geometrischen Optik. Letzteres stellt eine Elementarisierung der physikalischen Vorgänge in Bezug auf Emission, Absorption, Reflexion und Streuung dar und bringt diese in den Zusammenhang mit dem Sehvorgang. Beide Aspekte haben in der physikdidaktischen Forschung sowie der Konzeption von Lehrgängen zur Optik in den letzten Jahren eine wichtige Rolle eingenommen. Deshalb kann die vorliegende Abschlussarbeit auf die Ergebnisse empirisch gestützter Forschung zurückgreifen.

Eine aktuelle und mittels Akzeptanzbefragung durchgeführte Untersuchung ergab zum Beispiel Folgendes:

„Die gewählten Informationsangebote bewirkten bei allen Probanden eine Abfolge von Änderungen hin zu physikalischeren Vorstellungen zum Sehvorgang. Während die gesetzten Informationsangebote grundsätzlich als akzeptabel und plausibel bewertet wurden, führte der erstmalige Einsatz der Lochkamera bei einem Großteil der Probanden zur Ablehnung. Die Analyse der Daten gibt hier Anlass zur Vermutung, dass die Einführung der Lochkamera an dieser Stelle zur massiven Erhöhung des Cognitive Loads führt.

Auffallend ist des Weiteren, dass die Argumentation der Schülerinnen und Schüler in hohem Maße von der Art der Aufgabenstellung abzuhängen scheint. Wird die Analyse eines optischen Phänomens nicht explizit in Zusammenhang mit einem Beobachter gefordert, so fehlt der Empfänger-Aspekt des Sehvorgangs häufig in der Argumentationsstruktur der Schülerinnen und Schüler. Dies gibt Hinweis auf die Relevanz der expliziten Inklusion des Empfängers in Aufgabenstellungen und Instruktionstexten.“ (Haagen-Schützenhöfer et al. 2012, S. 433)

Die Ergebnisse dieser Studie stützen den Grundgedanken der Vision Tube. Einer der wesentlichen Unterschiede zur Lochkamera liegt darin, dass der Empfänger-Aspekt bzw. die Beobachtungen der Schüler*innen in Bezug auf ihre konkrete Wahrnehmung von Anfang an eine zentrale Rolle einnehmen. In der Experimentierreihe wird in einer schrittweisen und in Bezug auf den Komplexitätsgrad allmählich steigenden Abfolge unmittelbar thematisiert, was Schüler*innen an einem nicht-selbstleuchtenden Gegenstand in unterschiedlichen Beleuchtungssituationen beobachten können.



Abb. 4: Die Vision Tube

Die Vision Tube (Abb. 4) ist eine simple Beobachtungsröhre, bei welcher die Menge des einfallenden Lichtes auf einfachem Weg sehr gut durch die Schüler*innen selbst kontrolliert werden kann. Vor allem ermöglicht sie eine Erfahrung bzw. Beobachtung,

die in unserem Alltag kaum anzutreffen und im Physiksaal schwer herzustellen ist: die absolute Dunkelheit. Die Vision Tube ist für den Zweck der Beobachtung einseitig geöffnet (große Öffnung) und bis auf ein kleines Loch oberhalb einer Querstange so gut wie lichtundurchlässig. Damit dies gewährleistet ist, musste in der vorliegenden Bauweise die gesamte Röhre gründlich abgeklebt werden, da sonst auch durch die Kunststoffwand der Röhre Licht in die Vision Tube gelangt. Dies gilt auch für die seitlichen Öffnungen, durch welche die Querstange hindurchgeht. Da die Röhre relativ lang ist, wird während der Beobachtung seitlich in die große Öffnung einfallendes Licht so oft gestreut, dass es im nicht nennenswerten Ausmaß auf die Querstange trifft. Allerdings muss dafür die Vision Tube gut an das Auge gedrückt werden, was durch die Gummimanschette ermöglicht wird. Die Querstange sollte ein hohes Reflexionsvermögen besitzen, dies wurde mittels weißem Isoliertape realisiert. Die vorliegende Umsetzung stellt eine kostengünstige sowie im Zusammenbau unkomplizierte Variante dar. Deren Bauanleitung wurde dem Anhang hinzugefügt. Die Möglichkeiten, dieses Freihandexperiment zu realisieren, sind jedoch vielfältig.

Um die Notwendigkeit des Einsatzes der Vision Tube zu betonen, wird sie nun mit dem ursprünglichen Experiment „Lochkamera“ von Wiesner verglichen. Dabei wird auch auf die Möglichkeiten und Grenzen ihres Einsatzes eingegangen. Die dargelegten Designprinzipien der Vision Tube berücksichtigen dabei die empirischen Ergebnisse der eigenen Untersuchung (Wallner 2011b), didaktische Überlegungen zur Bedeutung der SEV sowie die Prinzipien des darauf aufbauenden Experiments Lochkamera (Wiesner 1992) und dessen empirische Untersuchung (Haagen-Schützenhöfer et al. 2012).

a) Bei der Vision Tube handelt sich um ein Experiment, welches ausschließlich auf die Einführung der SEV fokussiert. Es könnte sich als durchaus lohnend herausstellen, im Anschluss daran den Aufbau des Auges zu thematisieren bzw. nach gefestigtem SEV die Lochkamera als Modell des Auges einzuführen. So kann der Aspekt der Abbildung auf der Netzhaut dargestellt und den weiteren Inhalten sowie der Sachstruktur des Lehrgangs von Wiesner gefolgt werden.

b) Berechtigterweise stellt sich die Frage, warum ein Experiment zusätzlich zu dem gut erforschten Lehrgang eingeführt werden soll. Laut der vorliegenden Untersuchung (Haagen-Schützenhöfer et al. 2012, S. 433) scheint die Einführung des SEV-Konzepts mithilfe der Lochkamera eine größere Lernschwierigkeit darzustellen. Es könnte sich

deshalb als lohnend herausstellen, es durch die Vision Tube unmittelbarer als in dem Lehrgang von Wiesner angedacht, einzuführen. Diese Überlegung stützt sich vor allem auf folgende Aspekte, welcher in der empirischen Studie thematisiert wurden:

- i) In der Vision Tube wird nicht die Abbildung auf einem Schirm beobachtet. Stattdessen werden die Analysen der Schüler*innen-Beobachtung sowie die Rolle des Auges als Empfänger explizit thematisiert, wodurch eine konkrete Anregung der empirischen Studie aufgegriffen wird.
- ii) Dadurch ist gleichzeitig der optische Vorgang um eine Komplexitätsebene reduziert und zusätzlich wird der in der Akzeptanzbefragung festgestellten Erhöhung des Cognitive Loads entgegengewirkt.
- iii) Des Weiteren rückt die Vision Tube die Objekte, mit welchen die größten Verständnisschwierigkeiten in Verbindung gebracht werden, ins Zentrum der Beobachtung: nicht-selbstleuchtende Gegenstände.

c) Gerade in Bezug auf die Beleuchtungsvorstellung, welche in der Untersuchung von Haagen-Schützenhöfer (2012) bei 5 von 8 Schüler*innen angetroffen wurde, oder Vorstellungen, die damit verbunden sind, dass das Auge aktiv Sichtbares abscannt, könnte die explizitere Beobachtung durch die Vision Tube hilfreich sehr sein. Denn der hier vorgestellte phänomenologische Zugang fordert Schüler*innen aktiv auf, ihre Wahrnehmung genau an der Schnittstelle von Alltagskonzept vs. physikalischer Beschreibung zu analysieren. Dadurch sollen bei gelungenem Einsatz ein Differenzierungsprozess und Konzeptwechsel angeregt werden. Zu überprüfen, inwiefern dies gelingt, ist Ziel der vorliegenden Arbeit.

d) Der Grundgedanke der Vision Tube berücksichtigt eine zentrale Vermutung in Bezug auf das Fundament von Alltagskonzepten und Verständnisschwierigkeiten (s. Kapitel 4.2). Genauso wenig wie in unseren alltäglichen Situationen reibungsfreie Bewegungen zu beobachten sind, können Schüler*innen Objekte unter absoluter Dunkelheit beobachten. In ihrem Alltag sind auch in sehr dunklen Situationen helle Oberflächen immer irgendwie sichtbar, ohne dass dabei eine Lichtquelle identifiziert wird. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die absolute Dunkelheit durch die generelle Lichtverschmutzung heutzutage kaum mehr existiert. Aber auch ohne diese würden Sterne bei Neumond ausreichend Licht produzieren, sodass es zu deutlichen Hell-Dunkel-Wahrnehmungen kommt. Die Experimente mit der Vision Tube sind so gestaltet, dass in einem stufenweisen Prozess der folgenden Frage auf unkomplizierte

Weise nachgegangen werden kann: Sind helle nicht-selbstleuchtende Oberflächen auch in der Dunkelheit sichtbar?

e) Mit der Vision Tube sind auch weitere Experimente möglich. Durch die Untersuchung von schwarzen oder farbigen Oberflächen kann das Phänomen der Absorption thematisiert werden. Hierfür sind Experimente⁷, bei welchen ausschließlich Licht von unterschiedlichen Oberflächen in das kleine Loch und auf die weiße Querstange gestreut werden, dienlich. Die weiße Querstange dient dann als Sensor, der Auskunft darüber gibt, wie stark Licht an den zu untersuchenden Oberflächen abhängig von der Helligkeit absorbiert wird und inwiefern Farbwahrnehmung durch Absorption entstehen kann.

f) Einen weiteren zentralen Vorteil stellt die Einbettung des Experiments in den phänomenologisch orientierten Unterricht dar. Wie eben beschrieben ist das primäre Ziel der Vision Tube, den Schüler*innen jene Beobachtungen zu ermöglichen, die ihre Alltagskonzepte infrage stellen. Gleichzeitig sollen auch adäquate Vorerfahrungen und bereits gegebene logisch-analytische Kompetenzen aufgegriffen werden. So können vorhandene Konzepte differenziert oder widerlegt werden. Den Schüler*innen wird somit die Möglichkeit geboten, sich eine physikalische Erklärung des Sehvorgangs selbst zu erarbeiten. Diese durch die sokratischen Fragen angeregte, möglichst eigenständige Erarbeitung des Konzeptwechsels bringt erfahrungsgemäß einen starken motivationalen Vorteil mit sich. Inwiefern sie auch zu physikalisch stimmigen Konzepten führt und nicht nur ausschließlich Spaß macht, ist eine wesentliche Fragestellung, welche in der vorliegenden Untersuchung nachgegangen werden soll.

Nach dem ersten Einsatz und der damit einhergehenden Evaluation der Vision Tube im Optikseminar von Claudia Haagen-Schützenhöfer wurde die Experimentierreihe immer wieder weiterentwickelt und in der eigenen Unterrichtspraxis des Autors eingesetzt. Darüber hinaus wurden das mittlerweile mehrfach überarbeitete Arbeitsblatt und die darin eingebetteten sokratischen Fragen vor der empirischen Erhebung im WS 2020 Studierenden des Optik-Vertiefungsseminars an der Universität Wien, geleitet von Marianne Korner, zur Verfügung gestellt. Das Feedback der Studierenden war besonders in Bezug auf die Textlastigkeit des Arbeitsblattes hilfreich. Dies führte zu

⁷ Wenn das kleine Loch entgegen der Richtung einer vorhandenen Lichtquelle und knapp oberhalb unterschiedlicher, von der Lichtquelle beleuchteten Oberflächen positioniert wird, kann an der Querstange festgestellt werden, welches Licht diese Oberflächen in die Vision Tube streuen.

der Trennung der Inputs für die Experimente und den daran anschließenden sokratischen Fragen via Präsentationsfolien von der Ergebnissicherung auf einem eigenständigen Arbeitsblatt. Auch an den einzelnen Formulierungen der sokratischen Fragen wurde auf Basis des Feedbacks der Studierenden gefeilt.

5.2. Phänomenologische Unterrichtsplanung am Beispiel der Vision Tube

In diesem Kapitel soll nun konkret angeführt werden, in welcher Form die Vision Tube eingesetzt wird, welche Impulse die Schüler*innen erhalten und welche fachdidaktischen Überlegungen damit verbunden sind. Dabei wird auf das im Kapitel 4 dargelegte Planungsschema zurückgegriffen, welches aktuelle physikdidaktische Ansätze in die Didaktik Martin Wagenscheins integriert hat.

Inhalt & Phänomen - Der exemplarische Aspekt

Aus physikalischer Perspektive lassen sich folgende zentrale Themen identifizieren:

- Differenz zwischen der Sichtbarkeit von nicht-selbstleuchtenden und selbstleuchtenden Objekten.
- Emission, Reflexion, Streuung und Absorption in Bezug auf den Sehvorgang.
- Absorption an farbigen, undurchsichtigen sowie hellen und dunklen Oberflächen.
- Das Auge als passives Sinnesorgan, welches Licht empfängt, um Gegenstände sehen zu können.
- Die geradlinige Lichtausbreitung bei den genannten Vorgängen.

Der exemplarische Charakter dieser Inhalte sowie die Notwendigkeit, sie im Physikanfangsunterricht zu thematisieren, ist durch die im Kapitel 5.1 erwähnten fachdidaktischen Arbeiten (Harmut Wiesner 1992, Haagen-Schützenhöfer et al. 2012) belegt. Des Weiteren sind sie im österreichischen Lehrplan der AHS Unterstufe festgehalten. Für den Bereich der Optik ist folgender einleitender Aspekt angeführt:

„Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler grundlegendes Verständnis über Entstehung und Ausbreitungsverhalten des Lichtes erwerben und anwenden können.“ (BMBWF 2022, 4. Klasse, Die Welt des Sichtbaren)

Dabei wird in weiterer Folge im ersten von drei Punkten die Voraussetzung für die Sichtbarkeit von Körpern als besonders relevant hervorgehoben. Dies unterstützt grundsätzlich den Fokus der gewählten Inhalte und die Notwendigkeit, das SEV-

Konzept als Grundlage der Optik einzuführen. Mit geradlinig ist nicht die Ausbreitung in nur einer Richtung gemeint, da die Streuung an Oberflächen berücksichtigt werden sollte. Die Phänomene des Sichtbaren sind vielfältig und die Vision Tube thematisiert diese unmittelbar. Erfahrungsgemäß sind Fragestellungen rund um die Sichtbarkeit des Mondes besonders beliebt, weswegen dieser Aspekt auch als Anwendungsbeispiel am Ende der Unterrichtseinheit herangezogen wird.

*Alltagskonzepte der Schüler*innen - Ausgangslage des genetischen Prozesses*

Folgende Alltagskonzepte, die eine Rolle in der vorliegenden Unterrichtseinheit spielen dürften, konnten in der Literatur ausfindig gemacht werden:

- „ - Sehen geht auch ohne Licht.
 - Das aktive Auge – Sehen heißt aktiv hinschauen.
 - Wenn es hell ist, sehen wir was. (Lichtbadvorstellung)
 - Beleuchtungsvorstellung – mit Licht bestrahlte Gegenstände sind sichtbar.
 - Licht bleibt an der Oberfläche liegen und macht einen hellen Lichtfleck.“
- (Haagen-Schützenhöfer & Hopf 2018, S. 96-98)

Da diese Vorstellungen bei den gewählten Themen mit hoher Wahrscheinlichkeit bei den Schüler*innen anzutreffen sind, müssen sie im Rahmen der inhaltlichen Genese berücksichtigt werden. In der vorliegenden Unterrichtseinheit wird zuerst das SEV-Konzept an der Schnittstelle von Alltagskonzepten und physikalischer Beschreibung eingeführt. Dabei sind erstere implizit in die sokratischen Fragen eingebettet, sodass letzteres durch die Reflexion gefestigt wird. Erst in der Reproduktionsphase werden im Rahmen der vier Anwendungsbeispiele die angeführten Alltagskonzepte explizit thematisiert. Diese Ausgangslage des genetischen Prozesses kommt zwar in den beiden Phasen in unterschiedlicher Form zum Einsatz, spielt jedoch durchgehend eine zentrale Rolle.

Die Sachstruktur - Das Rückgrat des genetischen Prozesses

Die inhaltliche Struktur des genetischen Prozesses versucht unter Berücksichtigung der Alltagskonzepte, der inhaltlichen Ziele und der gegebenen Altersstufe eine Elementarisierung zu vollziehen. Diese Formulierungen bilden das Rückgrat der gesamten Unterrichtseinheit und sollen der Intervention die entsprechende Orientierung verleihen. Sie weisen eine starke Ähnlichkeit mit sogenannten Key-Ideas auf, welche in aktuellen physikdidaktischen Planungen eine wichtige Rolle einnehmen:

- a) Es gibt selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Gegenstände. Nur selbstleuchtende Gegenstände können Licht von sich aussenden.

- b) Um nicht-selbstleuchtende Gegenstände für das menschliche Auge sichtbar zu machen, müssen sie beleuchtet werden. Je mehr Licht sie empfangen, umso besser sind sie sichtbar. Wenn sie kein Licht empfangen, sind sie nicht sichtbar.
- c) Je nach Oberfläche können nicht-selbstleuchtende Gegenstände Licht gerichtet oder ungerichtet zurücksenden. Auch können unterschiedliche Oberflächen Licht besser oder schlechter zurücksenden. Nicht zurückgesendetes Licht wird dabei von der Oberfläche des Gegenstands verschluckt, wodurch die Helligkeits- und Farbwahrnehmung bestimmt wird.
- d) Die bisher beschriebenen Vorgänge können mit dem SEV-Konzept beschrieben werden, welches das Senden, Empfangen, Zurücksenden und Verschlucken von Licht beschreibt.
- e) Das Auge (bzw. die Netzhaut) ist ein passives Sinnesorgan. Ohne dass es Licht empfängt, kann es nicht sehen. Auch wenn nicht-selbstleuchtende Gegenstände kein Licht von sich aussenden können, können sie Licht empfangen und wieder zurücksenden. Sonst wären sie unsichtbar. Jedoch wird nicht das gesamte Licht zurückgesendet. Nicht-selbstleuchtende Gegenstände sind deshalb Empfänger, Rücksender und Verschlucker.

Dabei ist die Reihenfolge der Key-Ideas essenziell und stellt die spezifische Sachstruktur der Unterrichtseinheit dar. Es wird davon ausgegangen, dass die Differenz zwischen selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen eine wichtige Grundlage für die Fragen in Bezug auf die Sichtbarkeit von Gegenständen spielt. Erst wenn eine klare Differenzierung vorhanden ist, können Fragen der Emission, Reflexion und Streuung sinnvoll bearbeitet werden. Diese Schlussfolgerungen führen zu einem weiteren Gedankengang, welcher durch die Beobachtung heller und dunkler, sowie farbiger Oberflächen die Frage der Absorption thematisiert. All dies dürfte schlussendlich dafür ausschlaggebend sein, dass Schüler*innen einen zentralen Sachverhalt nachvollziehen können: Unser Auge kann als nicht-selbstleuchtendes Organ nur Licht empfangen.

Das Experiment - Der Wendepunkt im genetischen Prozess

Die erwähnten Alltagskonzepte stehen auf ersten Blick in einem Widerspruch zu den physikalischen Gesetzen. Jedoch lautet eine zentrale These der vorliegenden Arbeit: Dieser Konflikt entsteht auf Basis unterschiedlicher Perspektiven mit unterschiedlichem Zweck und Anspruch. Diese Perspektiven besitzen jedoch eine größere

Schnittmenge als zunächst vermutet wird. Im Alltag dominiert eine unkomplizierte, der gegebenen Situation angemessene Sprache. Dunkel bedeutet, dass wenig Licht vorhanden ist. In der Physik stellen jedoch exakte Begriffsdefinitionen sowie eine präzise Unterscheidung zwischen diesen ein wichtiges Fundament dar. Fast kein Licht ist nicht dasselbe wie gar kein Licht. Dunkelheit ist in der Physik ein Idealzustand, welcher eine essenzielle Grundlage für theoretische Betrachtungen liefert und nicht notwendigerweise in unserem Alltag anzutreffen ist. Kurz gesagt: beide Perspektiven verfügen über ein anderes Konzept von Dunkelheit. Die Experimente sind nun genau an der Schnittstelle zwischen Alltagskonzepten und wissenschaftlicher Perspektive verortet. Gleichzeitig sollen sie eine Grundlage für die Reflexion mittels sokratischer Fragen bieten und stellen hierfür die wie folgt beschriebenen Beobachtungen zur Verfügung:

- *Experiment 1:* Die Sichtbarkeit der Querstange in Abhängigkeit von der Menge des einfallenden Lichts.
- *Experiment 2:* Die Nicht-Sichtbarkeit der Querstange in nahezu absoluter Dunkelheit.
- *Experiment 3:* Die Sichtbarkeit der Querstange durch die Beleuchtung von gestreutem Licht von Licht über ein weißes Blatt.
- *Experiment 4:* Dieselbe Beleuchtung mittels weißem Blatt im Vergleich zur Beleuchtung durch einen Spiegel.
- *Experiment 5 & 6:* Wiederum ein Vergleich zwischen der Beleuchtung mittels weißem Blatt und schwarzer Fläche.
- *Experiment 7:* Die Streuung von Licht auf die Querstange von Flächen unterschiedlicher Farbe.

Des Weiteren werden vier Anwendungssituationen in die Unterrichtseinheit eingebettet. Diese haben nicht nur einen methodologischen Zweck (s. Kapitel 7.1), sondern zielen auf einen weiteren Differenzierungsprozess ab. In den Anwendungsbeispielen, welche auch als Art Gedankenexperiment aufgefasst werden können, spielen wie zuvor spezifische Situationen eine Rolle, relevante Phänomene, welche an der Schnittstelle zwischen Alltagskonzepten und Physik verortet sind und das zuvor erarbeitete SEV-Konzept aufgreifen.

- *Anwendungsbeispiel 1:* „Die Finsternis in unserem Alltag“ behandelt die alltägliche Dunkelheit vor dem Hintergrund der Sichtbarkeit nicht-selbst-leuchtender Gegenstände. Das Ziel ist, Lichtquellen als direkte (Sterne) oder

indirekte Ursache (Streuung von Lichtverschmutzung an Wolken etc.) für die Hell-Dunkel-Schattierung zu identifizieren.

- *Anwendungsbeispiel 2:* Durch die Thematisierung der Funktionsweise des Auges wird das SEV-Konzept einer Prüfung unterzogen und der Frage nachgegangen, inwiefern das Auge einen aktiven Beitrag zum Sehvorgang liefern kann.
- *Anwendungsbeispiel 3:* Das Beispiel „Mond und Äpfel im Sonnenlicht“ thematisiert die Sichtbarkeit der Schattenseite eines Apfels durch Streuung der Umgebung (Blätter). Die Schattenseite des Mondes, welcher in dem Bild derselben Beleuchtungssituation ausgesetzt ist, ist jedoch nicht sichtbar.
- *Anwendungsbeispiel 4:* Schlussendlich wird ein klassisches Beispiel aus der empirischen Unterrichtsforschung im Bereich der Optik aufgegriffen und leicht modifiziert. Analysiert wird das Licht einer Kerze, gestreut an einem Stein bzw. an einem Spiegel. Dadurch wird die Stichhaltigkeit des SEV-Konzepts in Bezug auf ungerichtetes und gerichtetes Zurückstrahlen von Licht überprüft.

Dass die Erfahrung der absoluten Dunkelheit im Rahmen eines phänomenologischen Zugangs eine zentrale Rolle einnimmt, wird auch durch den Beitrag im Lehrbuch zu Unterrichtskonzeptionen für die geometrische Optik deutlich. An der Humboldt-Universität zu Berlin hat eine Arbeitsgruppe um Lutz-Helmut Schön ein Unterrichtskonzept entwickelt, welches folgenden Einstieg vorsieht:

„Der Einstieg in die Optik erfolgt für die Lernenden über die Erfahrung absoluter Dunkelheit und Ruhe – die Lernenden werden dazu angehalten, nicht zu sprechen und keine anderen Geräusche zu machen. Das Klassenzimmer wird zu diesem Zweck gegen Lichteinfall abgedichtet. Die Umsetzung ist meist mit einem relativ hohen Aufwand verbunden; die völlig lichtdichte Ausgestaltung von Räumen im Schulgebäude erscheint de facto nicht machbar.“ (Haagen-Schützenhöfer & Wilhelm 2021, S. 36f)

Die Kernidee der Vision Tube ist genau an der genannten Problematik verortet. So wichtig die Erfahrung einer absoluten Dunkelheit zu sein scheint, so schwierig ist sie auch herzustellen. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, sollen die angeführten Experimente und Anwendungsbeispiele einen Konzeptwechsel initiieren, wobei es sich um eine Abfolge von mehreren kleineren kognitiven Konflikten handelt. Sie sollen bisherige Vorstellungen ins Wanken geraten lassen und einen Differenzierungsprozess in Richtung physikalischer Perspektive initiieren.

Die sokratischen Fragen - Das Steuerungselement im genetischen Prozess

Die sokratischen Fragen sind nun jene Elemente, die den Schüler*innen direkt zugänglich sind. Sie führen alle der vorher genannten Überlegungen zusammen, zu welchen die Schüler*innen keinen unmittelbaren Zugang haben. Sie berücksichtigen in ihren Formulierungen die Alltagskonzepte, verfolgen die genetische Sachstruktur, greifen die Erfahrungen im Experiment auf und führen sie einer Reflexion zu. Dabei sollen sie die in Kapitel 4.5 angeführten Qualitätskriterien erfüllen: a) Gliederung in drei Phasen (Fokussierung der Beobachtung / erste Reflexion und Interpretation dieser / weitere Abstraktion und Verallgemeinerung); b) Die Differenz oder den spezifischen Sachverhalt thematisieren ohne suggestiven Charakter zu besitzen; c) Berücksichtigung der Alltagskonzepte und genetischen Sachstruktur; d) Vermeidung von negativen Aspekten des fragenentwickelnden Unterrichts.

Die sokratischen Fragen werden nun gemäß der einzelnen Schritte der Sachgenese dargelegt. Für den Zweck der besseren Lesbarkeit wird kurz die eben dargelegte Beobachtung der Experimente angeführt.

Experiment 1: Die Sichtbarkeit der Querstange in Abhängigkeit von der Menge des einfallenden Lichts.

- *Wie beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung?*
- *Unter welcher Bedingung ist die Querstange besser oder schlechter sichtbar?*

1. Analyse: Differenz zw. selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen

- *Welche Beispiele aus dem Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beiden Kategorien anführen?*

Experiment 2: Die Nicht-Sichtbarkeit der Querstange in nahezu absoluter Dunkelheit.

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*
- *Was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nicht-selbstleuchtenden Gegenständen daraus schließen?*

Experiment 3: Die Sichtbarkeit der Querstange durch die Streuung von Licht über ein weißes Blatt Papier.

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*
- *Tipp: Versuche, den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen von Licht zu beschreiben.*

Experiment 4: Dieselbe Beleuchtung der Querstange mittels weißem Blatt im Vergleich zur Beleuchtung durch einen Spiegel.

- *Mit welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen?*
- *Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht bei dem Experiment?*

Experiment 5: Vergleich zwischen der Beleuchtung der Querstange mittels weißem Blatt und schwarzer Fläche.

- *Ist die Querstange noch sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?*
- *Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden?*
- *Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden des Lichtes?*

Experiment 6: Vertiefung der Beobachtung aus Experiment 5.

- *Was geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird?*
- *Welche der beiden Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?*
- *Beschreibe die Vorgänge von Beleuchten, Erwärmen und Zurücksenden bei hellen und dunklen Flächen.*
- *Tipp: Greife neben Senden und Empfangen auch auf den Begriff Verschlucken zurück.*

Experiment 7: Die Streuung von Licht auf die Querstange von Flächen unterschiedlicher Farbe.

- *Was kannst du an der Querstange beobachten?*
- *Welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang?*

2. Analyse & Zusammenfassung: Definition der Fachbegriffe auf Basis der eben gesammelten Erfahrung:

- *Emission (lateinisch *emittere* = Aussenden) beobachte ich...*
- *Reflexion (lateinisch *reflexio* ≈ Zurücksenden) beobachte ich...*
- *Streuung (≈ in alle Richtungen verteilen) beobachte ich...*
- *Der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung liegt in...*

- *Absorption (lateinisch absorptio = Aufsaugen) beobachte ich...*

Anwendungsbeispiel 1: „Die Finsternis in unserem Alltag“

- *Beurteile die Aussagen: a) In dieser Situation gibt es keine Lichtquellen. Die Gegenstände leuchten von sich aus. Die helleren Gegenstände besitzen eine eigene Leuchtkraft. b) Auch in der Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht vorhanden ist, können die Umrisse nicht gesehen werden.*
- *Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass...*
- *Umrisse sehen wir, weil....*

Anwendungsbeispiel 2: „Die Funktionsweise deines Auges“

- *Beurteile die Richtigkeit der folgenden Aussagen: a) Dein Auge ist ein aktives Organ. Von ihm geht ein Sehstrahl aus, welcher Sichtbares abtastet. b) Um einen Blick durchs Fenster zu werfen, muss mein Auge aktiv den Sehstrahl durch das Fenster schicken. c) Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen. d) Das Auge ist ein passives Organ, es kann keinen Sehstrahl absenden.*
- *Die Funktionsweise unseres Auges: ...*

Anwendungsbeispiel 3: „Mond und Äpfel im Sonnenlicht“

- *In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne?*
- *Inwiefern sind die Beleuchtungssituation des Apfels und des Mondes gleich?*
- *Warum ist die Schattenseite des Apfels sichtbar, welche Rolle spielt dabei die Umgebung?*

Anwendungsbeispiel 4: „Die Lichtausbreitung einer Kerze“

- *In welche Richtungen breitet sich das Licht aus? Stelle den Weg des Lichts mithilfe von Linien und Pfeilen dar!*
- *Stell dir statt dem Stein einen Spiegel vor! Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel dich blenden? Wieso kann der Stein dich nicht blenden? Vergleiche und beschreibe beide Vorgänge in Bezug auf das Senden, Empfangen, Rücksenden und Verschlucken von Licht!*

Kompetenzen der Schüler*innen - Das Genetische Element

Die Schüler*innen verfügen nun über die Möglichkeit, im Rahmen dieser geschilderten Auseinandersetzung auch eine Reihe an Kompetenzen zu erwerben. Diese sind in der

inhaltlichen Auseinandersetzung zwar eingebettet, stellen auf einer Metaebene jedoch einen vom konkreten Inhalt losgelösten Aspekt dar. Wenn Schüler*innen aktiv in das Bilden von wissenschaftlichen Definitionen, das Differenzieren von unterschiedlichen Einflussgrößen, das Hinterfragen der eigenen Perspektive eingebunden sind, dann erwerben sie Kompetenzen des logisch-analytischen Denkvermögens bzw. erhalten Einblick in die Natur der Naturwissenschaften.

Zwar ist diese Metaebene in den formulierten sokratischen Fragen noch nicht berücksichtigt und muss erst in einem weiteren Schritt explizit aufgegriffen und thematisiert werden. Die Möglichkeiten dafür sind jedoch vielfältig und zur folgenden Bildungs- und Lehraufgabe des österreichischen Lehrplans für die AHS Unterstufe kann die vorliegende Unterrichtseinheit herangezogen werden:

- „ - bewusstes Beobachten physikalischer Vorgänge;
 - Verstehen und altersgemäßes Anwenden von typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik;
 - Erkennen von Gültigkeitsgrenzen physikalischer Gesetzmäßigkeiten in alltagsbezogenen Situationen;
 - eigenständige und handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Problemen aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler nach Möglichkeit ausgehend von Schülerexperimenten;
 - Entwickeln von Erklärungsversuchen beziehungsweise Modellvorstellungen und deren Anwendungen bei physikalischen Vorgängen in Natur und Technik.“
- (BMBWF 2022, Bildungs- und Lehraufgabe)

Nachdem die Unterrichtseinheit mithilfe des in Kapitel 4 dargelegten Planungsschemas umgesetzt wurde, werden die empirischen Forschungsfragen sowie die empirische Untersuchung angeführt.

6. Empirische Forschungsfragen

Die vorliegende Masterarbeit ist durch folgende zentrale Forschungsfrage geleitet:

*Inwiefern gelingt es der entwickelten Unterrichtseinheit, einen Konzeptwechsel bei den Schüler*innen herbeizuführen?*

Diese lässt sich in drei Teilaspekte gliedern, welche sich aus dem physikdidaktischen Anspruch der dargelegten Unterrichtseinheit ableiten lassen:

- 1. Inwiefern können die in den Experimentierphasen gesammelten Erfahrungen sowie die daran gekoppelten sokratischen Fragen Schüler*innen zu einer aus physikalischer Sicht adäquaten Beschreibung der beobachteten Phänomene anregen?*
- 2. Inwiefern gelingt es den Schüler*innen auf Basis dieser Erkenntnisse in einem weiteren Schritt, die zentralen Begriffe Emission, Reflexion, Streuung und Absorption zu definieren und inwiefern können sie dabei die wesentlichen Differenzen zwischen diesen Begriffen benennen?*
- 3. Inwiefern stellen die Schüler*innen im Rahmen der adäquaten Bearbeitung komplexer Anwendungsbeispiele unter Beweis, dass sie über ein widerspruchsfreies und physikalisch richtiges Sender-Empfänger-Konzept verfügen?*

Im Rahmen der empirischen Untersuchung steht somit die Frage im Vordergrund, inwiefern die dargelegte Unterrichtseinheit die Fähigkeit besitzt, einen Konzeptwechsel herbeizuführen. Da diese auf Basis eines dargelegten und gut begründeten phänomenologisch orientierten Planungsschemas entstanden ist, wird durch die empirische Evaluation auch die Anschlussfähigkeit der Didaktik Martin Wagenscheins an aktuelle Ansätze der Physikdidaktik überprüft. Dies bezieht sich auf konstruktivistische Lerntheorien, Conceptual Change-Ansätze sowie die Berücksichtigung von Alltagskonzepten im Physikunterricht. Da es sich hierbei um einen komplexen und stufenweisen Prozess handelt, wurde die Forschungsfrage in spezifische Aspekte unterteilt.

Der erste Teilaspekt der Forschungsfrage bezieht sich auf den aktiven Zugriff von Vorwissen der Schüler*innen als hilfreiche Ressource sowie das Vermögen, durch die spezifischen Erfahrungen in den Experimenten und die daran gekoppelten

sokratischen Fragen einen ersten physikalisch adäquaten Differenzierungsprozess anzuregen. Das Ziel der Experimentierphase ist, genau jene Erfahrung zur Verfügung stellen, welche die aus wissenschaftlicher Sicht ungenügend ausgereiften Vorstellungen und Konzepte differenziert, spezifiziert oder widerlegt. Die Forschungsfrage müsste negativ beantwortet werden, wenn im Verlauf der Experimentierphase keine deutliche Zunahme von aus physikalischer Sicht angemessenen Beschreibungen festzustellen ist, das heißt, die fehlerhaften Konzeptionen aufrecht bleiben oder gar verstärkt werden. In Bezug auf die sokratischen Fragen bedeutet dies: Gelingt es den Fragen, einen fokussierten Prozess im Rahmen des sokratischen Gesprächs zu initiieren und können diese Impulse den vorab definiert Erwartungshorizont erfüllen? Dabei sind vielfältige, lebendige und gelegentlich abweichende Dialoge durchaus wünschenswert, sofern sie den wesentlichen Aspekt des Teilabschnitts, die Key-Idea, im Blick behalten. In anderen Worten: die formulierten sokratischen Fragen und Impulse werden bestimmt nicht die einzigen Fragen und Impulse bleiben. Je nach konkreter Situation können zusätzliche Angebote formuliert und Nebenaspekte besprochen werden. Solange der Prozess nicht als ausschweifend bezeichnet werden muss und Alltagskonzepte gut überwunden werden können, ist von einem gelungenen Prozess zu sprechen. Dies eindeutig zu beurteilen ist bestimmt nicht zur Gänze möglich. Jedoch ist eine Abschätzung, inwiefern die sokratischen Fragen ihr Ziel erreichen können, für die Evaluation der gewählten didaktischen Konzeption essenziell und durchaus im Rahmen der Gütekriterien qualitativer Forschung möglich. Ein weiterer Indikator für eine negative Beantwortung dieser Forschungsfrage wäre ein direkter oder suggestiver Charakter, durch welchen den Schüler*innen eine richtige Antwort in den Mund gelegt wird und sie ihre eigenen Überlegungen nicht einbringen könnten.

Der zweite Teilaspekt zielt auf einen weiteren wichtigen Schritt ab. Das in der Experimentierphase aufgegriffene SEV-Konzept stellt zwar eine wichtige Elementarisierung dar, besitzt aus wissenschaftlicher Sicht jedoch nicht jene Tragfähigkeit, welche physikalischen Fachbegriffen inhärent ist. Wird z. B. die Elementarisierung selbstleuchtender vs. nicht-selbstleuchtender Gegenstände herangezogen, um deutlich zu machen, dass eine Papierfläche beleuchtet werden muss, um sichtbar zu sein, handelt es sich dabei um einen wichtigen Zwischenschritt. Dieser bezieht sich auf eine didaktisch relevante Vereinfachung. Die Begriffe Emission und Reflexion sind insofern tragfähiger, als dass sie auch erklären können, unter welchen Umständen

eine Papierfläche ebenfalls Licht „von sich aus“ emittieren kann. Des Weiteren berücksichtigt der Erklärungsansatz „Emission bedeutet, dass Gegenstände durch Energieumwandlung Licht aussenden“, welcher in dieser Stufe angestrebt wird, dass dies nicht von allein bzw. selbst geschieht. Ähnlich wie im vorhergehenden Abschnitt handelt es sich um einen Differenzierungsprozess, jedoch auf einer höheren Abstraktionsebene. Auch hier sollen die gesammelten Vorerfahrungen aus der Experimentierphase ein wichtiges Fundament darstellen und die sokratischen Fragen einen fokussierten Prozess initiieren. Falls die Schüler*innen durch ihre eigenen Schlussfolgerungen den vorab definierten Erwartungshorizont erreichen, kann die Forschungsfrage positiv beantwortet werden. Gestaltet sich der Prozess sehr direktiv oder suggestiv oder findet keine deutliche Zunahme an physikalischen Beschreibungen statt, ist sie als negativ zu werten.

Der dritte Teilaspekt soll nun den angestrebten Konzeptwechsel untersuchen. Das Fundament des Prozesses ist wiederum die bisher gesammelte Erfahrung. Auch hier ist die Aufgabenstellung der Anwendungsbeispiele durch sokratische Fragen ergänzt. So sollen die bisher vollzogenen Schlussfolgerungen, elementarisierten Begriffe oder Fachbegriffe herangezogen werden, um die komplexe Situation der Anwendungsbeispiele zu analysieren und aus physikalischer Sicht richtig zu beschreiben. Dabei ist nicht zu erwarten, dass die Schüler*innen prompt eine adäquate und schlüssige Antwort formulieren. Das Ziel ist vielmehr ein zirkulärer Prozess, bei welchem schrittweise unstimmige Alltagskonzepte ausgeschlossen, hilfreiche Vorerfahrungen aufgegriffen werden und bereits erschlossenes physikalisches Wissen kontinuierlich zu dem erwünschten Ergebnis führt. Negativ wäre die Forschungsfrage zu beantworten, wenn die Schüler*innen diesen Prozess nicht größtenteils selbst vollziehen, die Wortmeldungen der Lehrperson als direktiv oder suggestiv einzustufen wären oder keine physikalisch wünschenswerte Beschreibung von den Schüler*innen erarbeitet werden kann.

7. Empirische Untersuchung

In diesem Kapitel wird zunächst das methodologische Vorgehen begründet. Danach werden das Setting, Sample sowie die erhobenen Daten dargelegt, deren Auswertung das Kapitel abschließt.

7.1. Methodik

Um die Forschungsfragen zu beantworten, wird auf die Methode der Akzeptanzbefragung zurückgegriffen. Diese Methode wurde schon mehrfach im Rahmen der Evaluation von Unterrichtskonzepten eingesetzt. Zurückgehend auf die Arbeit von Walter Jung (1992) sowie weiteren – z. B. von Hartmut Wiesner und Rita Wodzinski (1996) – wurde die Methode auch öfters eingesetzt, um Interventionen im Bereich des Anfangsunterrichts im Bereich der Optik zu evaluieren. Unter anderem wurde das Experiment „Lochkamera“, auf welchem die Vision Tube aufbaut, mithilfe dieses Forschungsansatzes erforscht. (Haagen-Schützenhöfer, Rottensteiner & Hopf 2012)

Den generellen Kern der Methode stellen Erklärungsmodelle dar, welche den Schüler*innen angeboten werden. Diese werden in einem sequenzierten Ablauf untersucht, sodass eine Einschätzung in Bezug auf einen angestrebten Konzeptwechsel erreicht sowie die Akzeptanz physikalischer Erklärungen untersucht werden kann. Hierfür werden 6 Schritte angeführt:

- „ 1. Der Interviewer gibt mündlich eine Erklärung mit Erläuterungen und Beispielen. (Ggf. Erläuterung nicht verstandener Termini etc.)
2. Der Befragte wird aufgefordert, die Erklärung zu bewerten: ist sie gut-schlecht, verständlich-unverständlich, plausibel-unplausibel, u.ä.m.
3. Der Befragte wird aufgefordert, die Erklärung in seinen eigenen Worten zu wiederholen, wobei besonders auf Auslassungen und Transformationen geachtet wird.
4. Der Befragte wird aufgefordert, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden.
5. Teilkomplexe werden detailliert bewertet, diskutiert, durch neue Informationen angereichert und erneut bewertet und diskutiert. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn Lücken und Missverständnisse auftreten.
6. Abschließend wird der Befragte aufgefordert, die Erklärungen auf ein neues konkretes Beispiel anzuwenden.“ (Wiesner et al. 1996, S. 256)

Der Fokus der Methode richtete sich zentral auf die Akzeptanz sowie das Transfervermögen einer gegebenen und aus physikalischer Sicht korrekten Erklärung, welche vor dem Hintergrund möglicher Alltagskonzepte auf dem Prüfstand steht. Durch die Wiedergabe und Bewertung des Erklärungsmodells kann eine erste Einschätzung

getroffen werden, inwiefern der*die Befragte dieses nachvollziehen kann. Die Anwendung auf neue Beispiele sowie die Betrachtung von Teilkomplexen geben Einsicht in ein tieferes sowie differenziertes Verständnis der thematisierten Erklärung. Dabei wird evaluiert, in welchem Ausmaß Alltagskonzepte eine Rolle spielen bzw. physikalische Konzepte akzeptiert und angewendet werden können. In anderen Worten: es wird untersucht, inwiefern ein Konzeptwechsel gelingt und welche Elemente einer Unterrichtseinheit sich diesbezüglich als hilfreich oder hinderlich herausstellen.

„Können bestimmte Angebote als Ankerkonzepte [...] eingesetzt werden? [...] Oder wirken sie als blockierend, oder werden sie abgelehnt? Sind sie ‚einsichtig‘ und ‚von Anfang an plausibel‘ [...]?“ (Wiesner et al. 1996, S. 25)

Jedoch wird auch die konkrete Verknüpfung zur Entwicklung von Unterrichtsmaterial erwähnt:

„Ein besonderer Vorteil der Untersuchungsmethode ist, daß in der Untersuchung verwendete Informationsangebot in seiner Struktur unmittelbar auf den Unterricht übertragen werden kann.“ (Wiesner et al. 1996, S. 25)

Die Methode der Akzeptanzbefragung zeichnet sich somit durch zwei Aspekte aus:

- a) Die Entwicklung von Unterrichtsmaterial auf Basis empirisch gewonnener Erkenntnisse.
- b) Die Evaluation von Unterrichtsmaterial durch Einsicht in die Denkprozesse der Beteiligten.

Die vorliegende empirische Untersuchung bedient sich beider Aspekte. Zum einen wird, wie im Kapitel 5.1 dargelegt, Unterrichtsmaterial aus vorhergehenden Studien zu dem Themengebiet des Sehvorgangs herangezogen, womit die zu evaluierende Unterrichtseinheit ein bereits empirisch untersuchtes sowie bewährtes Konzept aufgreift. Zum anderen kommt es zu einem tiefergehenden Einsatz der Methode, welcher eine Adaption mit sich bringt und durch den didaktischen Anspruch begründet ist. In der zu untersuchenden Unterrichtseinheit geht es nicht um die Beurteilung, Reproduktion und Anwendung eines Informationsangebots. Es geht vielmehr um die eigenständige Konstruktion einer physikalischen Beschreibung eines Phänomens durch die Schüler*innen selbst auf Basis einer phänomenologisch orientierten Unterrichtseinheit. Anstelle der Akzeptanz werden die Konstruktion eines Erklärungsmodells sowie der dahinterliegende Prozess näher beleuchtet.

Als primäre Quelle der Interpretation kann ein „think aloud“ der Teilnehmer*innen herangezogen werden, welches die Analyse des Lernprozesses anreichert. Die Methode liefert eine Einsicht in die Denkprozesse der Schüler*innen und kann darlegen, inwiefern sie den stufenweisen Prozess der Unterrichtseinheit, welcher sich auch in den drei Teilaspekten der Forschungsfrage widerspiegelt, angemessen vollziehen können. Die Adaption der Erhebungsmethode ist insofern gerechtfertigt, da sie einen detaillierteren Einblick in konstruktivistische Lernprozesse ermöglicht. Es wird dargelegt, inwiefern die Angebote Schüler*innen helfen, selbst ein Konzept aus den Ergebnissen eines Experiments zu erarbeiten und dieses weiter zu abstrahieren, indem sie Fachbegriffe definieren sowie das erworbene Konzept auch in komplexen Alltagssituationen anwenden können. Stellt sich bei der empirischen Untersuchung heraus, dass der Konzeptwechsel durch die Vision Tube nicht oder nur schwer vollzogen werden kann, so müsste von dieser Weiterentwicklung bzw. dem didaktischen Anspruch abgesehen werden.

Neben der spezifischen Eignung der gewählten Methode für die Beantwortung der Forschungsfragen gibt es noch einen weiteren allgemeinen Nutzen, welcher durch die Sequenzierung des Unterrichtsgeschehens mittels der gewählten Methode gegeben ist. Die Akzeptanzbefragung ermöglicht eine differenzierte Beurteilung, welche Teile und Aspekte der Unterrichtseinheit sich für die Schüler*innen als hilfreich oder hinderlich erweisen. Legt die Untersuchung nahe, dass die Unterscheidung von selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen primär Missverständnisse hervorruft, so könnte die Unterrichtseinheit dementsprechend angepasst werden.

Nicht nur der spezifische didaktische Anspruch hat zu einer Adaption des Lehrgangs von Wiesner geführt, sondern auch empirische Indizien vorhergehender Studien. Denn dem Experiment „Lochkamera“ und dem Fokus auf das SEV-Konzept wurden in der Untersuchung von Schützenhöfer et al (2012) zwar generell die Fähigkeit zu einem Konzeptwechsel attestiert. Jedoch wurden auch einige Hürden in Bezug auf den Einsatz des Experiments festgestellt, u.a. ein zu hoher Cognitive Load. Die Vision Tube stellt eine Weiterentwicklung dar, welche die festgestellten Hürden aufgreift und in einem stufenweisen sowie schüler*innenzentrierten Konstruktionsprozess einbettet.

Vor dem eben dargelegten Hintergrund der zu evaluierenden Unterrichtseinheit sowie einer allgemeinen und drei davon abgeleiteten detaillierteren Forschungsfragen wird die Akzeptanzbefragung in einer geringfügigen Variation wie folgt umgesetzt:

- Die Schritte 1-3, Erklärung, Bewertung und Wiedergabe eines Erklärungsmodells, werden im Rahmen der ersten beiden Abschnitte der Unterrichtseinheit umgesetzt. Zunächst wird in einer Experimentierphase mithilfe von sokratischen Fragen ein Erklärungsmodell für den Sehvorgang und damit das SEV-Konzept durch die Schüler*innen erarbeitet. Im Anschluss wird das Erklärungsmodell in Rahmen einer Zusammenfassung und Analyse weiter abstrahiert sowie an die zentralen physikalischen Fachbegriffe herangeführt.
- Die Schritte 4 und 6 sind in weiterer Folge durch den dritten Abschnitt der Unterrichtseinheit, den vier Anwendungsbeispielen, realisiert. Zur Bearbeitung dieser ist es notwendig, entweder auf das SEV-Konzept oder die spezifischeren Fachbegriffe zurückzugreifen.
- Schritt 5 ist in jenen Beispielen direkt implementiert, da in den Anwendungsbeispielen beständig Teilaspekte des Sehvorgangs thematisiert werden.

In Anlehnung an die methodische Vorgehensweise der Evaluation eines Unterrichtskonzepts im Themenbereich subatomarer Strukturen (Wiener, Schmeling & Hopf 2015) wird die Akzeptanzbefragung mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2010) ausgewertet. In der Unterrichtsplanung zur Vision Tube wurden die Key-Ideas zu 7 Stufen der Experimentierphase weiter differenziert (s. Kapitel 5.2, Abschnitt Sachstruktur). Um eine Analyse dieser möglichst vielversprechend zu gestalten, findet nach dem ersten Experiment eine Analyse und theoretische Differenzierung von selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen statt. Im Anschluss an die Experimentierphase findet eine weitere theoretische Analyse statt, welche, genauso wie die Phase der Anwendungsbeispiele, getrennt kodiert wird. Diese drei Phasen decken sich auch mit den drei Teilaspekten der Forschungsfragen. Gemäß dieser Forschungsfrage sowie dem daran geknüpften didaktischen Anspruch werden nun Kategorien definiert, welche für die Codierung der aufgezeichneten Dialoge herangezogen werden. Hierfür wurden die audiografierten Unterrichtseinheiten transkribiert. Aus den Unterrichtsmaterialien ersichtliche Handlungsanweisungen oder irrelevante Nebenaspekte sind paraphrasiert dargelegt.

Der eingesetzte Kodierleitfaden ist dem Anhang beigelegt. Er umfasst für die drei Abschnitte spezifisch umschriebene Kategorien in 4 Stufen: ++ / + / - / --. Diese wurden dem fachdidaktischen Anspruch bzw. der zu beantwortenden Forschungsfrage gemäß erstellt und teilweise mit Beispielen versehen. Dabei handelt es sich um eine deduktive Kategorienbildung nach Mayring (2010), deren Einsatz dadurch gerechtfertigt ist, dass die Unterrichtseinheit auf ein gut fundiertes und gründlich erforschtes Vorwissen zurückgreift und sich die Forschungsfragen auf sehr spezifische Aspekte dessen beziehen. Des Weiteren wurde für jede der Aufgabenstellungen in der Unterrichtseinheit bzw. für jeden zu kodierenden Aspekt ein Erwartungshorizont formuliert, der ebenfalls dem Anhang beigelegt ist. Um eine bestmögliche Objektivität zu gewährleisten, wurden die Transkripte zweifach codiert und in den Ergebnissen eine Inter-coder-Reliabilität berechnet. Die Ergebnisse der Codierung werden abschließend entsprechend der drei Teilaspekte der Forschungsfrage einer Häufigkeitsanalyse unterzogen. Dabei kann es sich als sinnvoll erweisen, dass einzelne Abschnitte aus den Transkripten herangezogen werden, um die Interpretation der Auswertung zu stützen.

Darüber hinaus wurden zu Beginn der jeweiligen Unterrichtseinheiten grundlegende Daten erhoben und das Interesse an Physik, an Experimenten im Spezifischen sowie die Erwartungen getrennt voneinander abgefragt. Die beiden ersten Fragen mittels 5-stufiger Skala, letzteres durch eine offene Fragestellung. Nach der durchgeführten Unterrichtseinheit wurde ein Feedback eingeholt und dabei auf drei geschlossene (5-stufiger Skala) und zwei offenen Fragen zurückgegriffen. Die eingesetzten Fragebögen sind im Anhang beigelegt und die Ergebnisse werden im Folgekapitel dargelegt.

7.2. Setting und Sample

Für die Unterrichtseinheit werden in etwa 90 Minuten veranschlagt, wobei eine kurze Pause nach dem zweiten Abschnitt zielführend sein dürfte. Die Umsetzung erfolgte im Einzelsetting mit 6 Schüler*innen der 7. Schulstufe oder jünger. Somit ist sichergestellt, dass diese noch keinen Physikanfangsunterricht im Bereich der Optik hatten, welcher im österreichischen Lehrplan in der 8. Schulstufe durchgenommen wird. Aufgrund der durch die COVID-19-Pandemie bedingten Umstände konnten keine Schüler*innen über Schulen für die Untersuchung gewonnen werden. Auch musste auf jüngere Schüler*innen zurückgegriffen werden, da es nur teilweise möglich war, Schüler*innen der 7. Schulstufe zu gewinnen. Die Rekrutierung im privaten Umfeld und auf Basis

einer freiwilligen Teilnahme hat bestimmt dazu geführt, dass sich eher Schüler*innen aus dem bildungsaffinen Personenkreis gemeldet haben. Der Vorteil darin liegt, dass mangelndes Interesse oder sprachliche Barrieren die Ergebnisse nicht verzerren dürften. Der Nachteil liegt darin, dass die Übertragung auf den allgemeinen Schulkontext nur unter Einschränkungen erfolgen kann. Diesbezüglich trägt jedoch auch schon die Laborsituation in einem Einzelsetting eine erhebliche Einschränkung in Bezug auf die Verallgemeinerung bei. Es wurde darauf geachtet, dass 3 Mädchen und 3 Buben an der Untersuchung teilnehmen, um so genderspezifische Einflüsse ehestmöglich ausschließen zu können. Aus Datenschutzgründen wird in der Transkription sowie der darauffolgenden Auswertung auf Pseudonyme zurückgegriffen.

7.3. Ergebnisse der persönlichen Daten und des Feedbacks

Die Erhebung der persönlichen Daten ist in Abb. 5 auf der folgenden Seite dargestellt. Ein*e Schüler*in besuchte die 4. Schulstufe eines altersgemischten Schulstufencluster (4.-6. Schulstufe). Neben dem Durchschnittsalter wurde auch das Interesse an Physik sowie das Interesse an Experimente durch eine 5-stufigen Skala (5 = sehr; 1 = gar nicht) erhoben. Unterhalb der Durchschnittswerte ist die Standardabweichung angegeben. In den anderen Fällen die Summe der Nennungen. Die Antworten der offenen Fragen wurden passenden Kategorien zugeordnet, bei welchen auch Mehrfachantworten eingeflossen sind. Ein*e Schüler*in hat keine Angaben gemacht. Das Alter der Teilnehmer*innen ist mit einem Durchschnittsalter von 10,83 Jahren ($s = 0,69$) relativ jung und nur die Hälfte hat maximal ein Jahr Physikunterricht genossen, welcher in Österreich mit der 6. Schulstufe beginnt. Der Lehrplan deckt in dieser Schulstufe noch keine Themen der Optik ab, weshalb alle Teilnehmer*innen auf kein Schulwissen zurückgreifen können. Die Schulform stellt ein gut verteiltes Merkmal dar, da gleichviele Schüler*innen in eine AHS gehen wie eine NMS bzw. VS. besuchen.

Interessant ist, dass bei der offenen Frage „Was erwartest du dir von dem heutigen Workshop?“ Spaß/Spannung mit Abstand am häufigsten und das Durchführen von Experimenten nur einmal genannt wurde, obwohl das Interesse an Experimente mit $\bar{x} = 4,83$ ($s = 0,32$) als sehr hoch angegeben wurde. Daraus ist zu schließen, dass das Interesse an Experimenten in erster Linie durch die Erwartungshaltung in Bezug auf Spaß und Spannung gegeben ist. Das Interesse an Physik ist mit $\bar{x} = 4,42$ ($s = 0,45$) ebenfalls hoch, was auf die freiwillige Teilnahme zurückzuführen ist.

Persönliche Daten								
Alter	Schulform			Interesse an...		Erwartung		
	AHS	VS	NMS	Physik	Experimente	Exp. durchführen	Spaß/Span.	Verstehen/Lernen
11			1	5	5		1	1
10	1			4,5	5		1	
11		1		4	5		1	1
11	1			5	5		1	
10		1		4	4	1		
12	1			4	5			
10,83	3	2	1	4,42	4,83	1	4	2
0,69				0,45	0,37			

Feedback								
Haben dir die Experimente gefallen?	Glaubst du Exp./Inhalte verstanden zu haben?	Interesse sich Gedanken zu machen?	Am Interessantesten...				Am Langweiligsten/ Schlechtesten	
			Vision Tube	Modell des Auges	Selbstleuchtende vs nichtselbstl. Gegenstände	Sichtbarkeit trotz minimalem Lichteinfluss	Nichts	Ein oder mehrere Anwendungsbeispiele
5	5	5	1				1	
4,5	3,5	3	1				1	
5	5	5	1	1			1	
3	5	4			1			1
4	5	5	1					1
4,5	4,5	5				1		1
4,33	4,67	4,50	4	1	1	1	3	3
0,69	0,55	0,76						

Abb. 5: Persönliche Daten und Feedback

In Bezug auf das Feedback wurden von 2/3 der Teilnehmer*innen Höchstwerte angegeben mit einer durchschnittlichen Bewertung von 5,00 bzw. 4,66 für die drei geschlossenen Fragen mit derselben 5-stufigen Skala (5 = sehr; 1 = gar nicht). Bei zwei von sechs Teilnehmer*innen fällt das Feedback mit 4,00 bzw. 3,66 zufriedenstellend aus. Die schlägt sich auch auf die Durchschnittswerte der einzelnen Kategorien aus, die zwischen 4,67 ($s = 0,55$) und 4,33 ($s = 0,69$) liegen. Bei den offenen Fragen wurde die Vision Tube mit vier Nennungen besonders oft genannt. Zwei Nennungen gab es für inhaltliche Teilaspekte und eine Nennung für das Anwendungsbeispiel Modell des Auges. In Bezug auf die Frage „Was fandest du am langweiligsten/

schlechtesten?“ wurde gleich oft „Nichts“ oder ein oder mehrere Anwendungsbeispiele genannt. Letzteres dürfte darauf zurückzuführen sein, dass diese einen deutlich größeren kognitiven Konflikt ausgelöst haben, als die Vision Tube. Ein Teilnehmer brachte dies auch zum Ausdruck als das zentrale Anwendungsbeispiel „Finsternis in deinem Alltag“ die alltägliche Definition von Dunkelheit im Kontrast zur physikalischen thematisierte. „Darüber hab ich noch nie nachgedacht und ich wusste nicht, dass es so kompliziert sein könnte.“ (T. Chris, Z. 579f)⁸

Schlussfolgerung

Auch wenn es sich um keine zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit handelt, kann an dieser Stelle kurz auf die eben dargestellten Daten eingegangen werden. Wie schon erwähnt bezieht sich die anfängliche hohe Motivation der Teilnehmer*innen auf den Spaß bzw. die Spannung, welche sie sich in erster Linie von Experimenten erwarten. Diese Erwartungshaltung bleibt aufrecht, ist bei 2/3 der Teilnehmer*innen im sehr hohen und bei den anderen im hohen Bereich. Dies obwohl in der vorliegenden Unterrichtseinheit die Reflexion und Analyse von Experimenten sowie die theoretische Abstraktion und Anwendung im Vordergrund steht. Daraus ist, mit Vorbehalt in Bezug auf die spezifische Situation (freiwillige Teilnahme, hohe anfängliche Motivation, ein zu eins Betreuungsschlüssel etc.) zu schließen, dass die vorliegende Unterrichtskonzeption grundsätzlich fähig ist die pädagogische Leitlinie einzulösen. (S. 20). Es ist grundsätzlich möglich das kritisierte Pathos in den Hintergrund zu rücken, phänomenologischen Unterricht an moderner Physikdidaktik zu orientieren und den in dieser Arbeit proklamierten Mehrwert der Didaktik Wagenscheins einzulösen. Der natürliche Erkenntnisdrang von jungen Menschen bleibt innerhalb der dargelegten Unterrichtseinheit sowie der spezifischen Situation aufrecht und kann gleichzeitig ein spielerisch-freudvolles Interesse in eine abstrakte wissenschaftliche Betrachtung des Phänomens integrieren! Um diese Position besser zu fundieren bedarf es breiteren Untersuchung im Rahmen eines klassischen Unterrichtssettings und breiteren Themen Kanon. Erst Indizien können jedoch in Bezug auf diese Feststellung beansprucht werden.

⁸ Diese Angabe bezieht sich auf die sich im Anhang beigelegte Transkription des Teilnehmers Chris und die entsprechende Zeile in dieser. Belege aus der Transkription der Unterrichtseinheiten werden in weiterer Folge in diesem Format angegeben.

7.4. Ergebnisse der Akzeptanzbefragung

In Abb. 6 sind die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung dargestellt. Die im Kodierleitfaden festgelegten Kategorien (s. Anhang) sind gemäß der Legende in Zahlen übersetzt worden, um so eine detailliertere Analyse zu ermöglichen. Vier von sechs Transkripten der Unterrichtseinheiten wurden doppelt kodiert. Die Auswahl hierfür erfolgte zufällig. Die Intercoder-Reliabilität beträgt für diese im Durchschnitt 80 %, wodurch ein relevanter Standard erzielt wurde. Neben den Durchschnittswerten jeder einzelnen Unterrichtseinheit wurde diese auch für die einzelnen Bewertungseinheiten der Codierung angegeben sowie für die drei Abschnitte der Unterrichtseinheit. Letzteres stimmt jeweils mit einem Unterpunkt der Forschungsfrage überein, sodass spezifische Daten für die Beantwortung dieser herangezogen werden können.

Auswertung der Unterrichtseinheiten												
	Tabea		Jonas		Livia		Manu	Agnes	Chris		Ø	
	BW	MK	BW	MK	BW	MK	BW	BW	BW	MK		
1. Experiment	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3,70	Ø = 3,71
1. Analyse	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3,90	
2. Experiment	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3,60	
3. Experiment	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	
4. Experiment	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	3,40	
5. Experiment	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3,90	
6. Experiment	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3,90	
7. Experiment	3	3	3	1	4	4	3	4	4	4	3,30	Ø = 3,50
Zf. Emission	4	4	4	4	4	3	1	4	4	4	3,60	
Zf. Ref. & Streuung	4	4	3	1	3	3	2	4	4	4	3,20	
Zf. Absorbtion	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3,70	Ø = 3,28
1. Anweddungsbsp.	3	3	4	1	4	4	2	4	3	2	3,00	
2. Anweddungsbsp.	4	4	4	2	3	3	3	3	3	3	3,20	
3. Anweddungsbsp.	4	4	4	4	3	3	2	4	4	4	3,60	
4. Anweddungsbsp.	4	2	4	2	4	3	2	4	4	4	3,30	
Ø	3,73	3,60	3,73	3,00	3,80	3,67	2,87	3,80	3,73	3,60		
Übereinstimmung	80,0%		66,7%		86,7%		-	-	86,7%		80,0%	
Legende: 4 = ++ 3 = + 2 = - 1 = --												

Abb. 6: Häufigkeitsanalyse der codierten Unterrichtseinheiten

Zusätzlich wurden in Abb. 6 jene Werte hervorgehoben, welche im Vergleich zu den hier dargestellten Schlussfolgerungen herausstechen. Eine detaillierte Diskussion der Ergebnisse im Kapitel 8 stützt sich auf diese Hervorhebungen, welche gemäß den folgenden Kriterien getroffen wurden:

- Leichte Abweichung = hellgraue Hervorhebung: Diskrepanz der doppelten Codierung um einen Wert sowie erzielter Durchschnittswert zwischen 3 und 3,5.
- Stärkere Abweichung = dunkelgraue Hervorhebung: Diskrepanz der doppelten Codierung um zwei oder mehr Werte sowie erzielter Durchschnittswert unter 3.

Beantwortung des ersten Teilaspekts der Forschungsfrage

Der erste Teilaspekt der Forschungsfrage lautet:

*Inwiefern können die in den Experimentierphasen gesammelten Erfahrungen sowie die daran gekoppelten sokratischen Fragen Schüler*innen zu einer aus physikalischer Sicht adäquaten Beschreibung der beobachteten Phänomene anregen?*

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung können für die Experimentierphase mit 3,71 den höchsten Durchschnittswert erzielen. Lediglich zwei Experimente mit Werten zwischen 3,5 und 3 weichen leicht von diesem sehr erfolgreichen Ergebnis ab. Entsprechende Änderungsvorschläge werden im folgenden Kapitel angeführt.

Schlussfolgerung: Die Schüler*innen konnten die gesammelte Erfahrung sehr gut aufgreifen, um sie im Rahmen eines sokratischen Gespräches, welches durch vorab formulierte Fragen initiiert wurde, in eine aus physikalischer Sicht adäquate Beschreibung überführen. Die kognitive Irritation, welche von den Experimenten hervorgerufen wurde, konnte in sechs von acht Fällen sehr gut und in zwei von acht Fällen gut bewältigt werden.

Beantwortung des zweiten Teilaspekts der Forschungsfrage

Der zweite Teilaspekt der Forschungsfrage lautet:

*Inwiefern gelingt es den Schüler*innen auf Basis dieser Erkenntnisse in einem weiteren Schritt, die zentralen Begriffe Emission, Reflexion, Streuung und Absorption zu definieren und inwiefern können sie dabei die wesentlichen Differenzen zwischen diesen Begriffen benennen?*

Für die erste Sequenz dieser Phase in der Unterrichtseinheit kann einen Durchschnittswert von 3,6 angegeben werden, für die dritte einen von 3,7. Beide können demnach als sehr erfolgreich eingestuft werden. Strenggenommen muss hier auch die Differenzierung zwischen selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen hinzugezählt werden, welche einen Durchschnittswert von 3,9 aufweist und für welche dieselbe Schlussfolgerung beansprucht werden kann. Einzig bei der Definition von Reflexion und Streuung bzw. der Beschreibung ihrer Gemeinsamkeit und ihres Unterschieds kam es nur zu einer guten Umsetzung. Auf diese Abweichung wird im Kapitel 8.2 näher eingegangen.

Schlussfolgerung: Der zweite Teilaspekt der Forschungsfrage kann in 3 von 4 Sequenzen als sehr erfolgreich bezeichnet werden. Die Teilnehmer*innen können in der Regel die vorab gesammelte Erkenntnis gut aufgreifen, um die zentralen Fachbegriffe zu definieren.

Beantwortung des dritten Teilaspekts der Forschungsfrage

Der dritte Teilaspekt der Forschungsfrage lautet:

*Inwiefern stellen die Schüler*innen im Rahmen der adäquaten Bearbeitung komplexer Anwendungsbeispiele unter Beweis, dass sie über ein widerspruchsfreies und physikalisch richtiges Sender-Empfänger-Konzept verfügen?*

In dieser Phase der Unterrichtseinheit konnte nur eine von 4 Sequenzen einen Wert über 3,5 erreichen. Die anderen Sequenzen befinden sich mit Werten zwischen 3,5 und 3 jedoch im guten Bereich. Auf diesen Umstand wird im Kapitel Diskussion noch näher eingegangen.

Schlussfolgerung: In der abschließenden Phase der Unterrichtseinheit konnten die Teilnehmer*innen gut unter Beweis stellen, dass sie über ein widerspruchsfreies und physikalisch richtiges Sender-Empfänger-Konzept verfügen.

Beantwortung der zentralen empirischen Forschungsfrage

Die zentrale empirischen Forschungsfrage lautet:

*Inwiefern gelingt es der entwickelten Unterrichtseinheit, einen
Konzeptwechsel bei den Schüler*innen herbeizuführen?*

Um diese Forschungsfrage zu beantworten, wurden die drei Teilaspekte den jeweiligen Phasen in der Unterrichtseinheit zugeordnet. Es konnten bei allen Teilaspekten sehr gute bis gute Ergebnisse erzielt werden.

Schlussfolgerung: Demnach kann beansprucht werden, dass die entwickelte Unterrichtseinheit zu einem nachhaltigen Konzeptwechsel bei den Teilnehmer*innen geführt hat.

8. Diskussion

In diesem abschließenden Kapitel wird zunächst auf den Objektivitätsgehalt dieser Arbeit eingegangen, ehe die Limitierungen der getroffenen Aussagen angeführt werden. Darüber hinaus werden Verbesserungsvorschläge für die evaluierte Unterrichtseinheit angeführt.

8.1. Der Objektivitätsgehalt dieser Arbeit

Dieser Arbeit fehlt eine Definition von Bildung. Die Frage nach dem Mehrwert des vorliegenden phänomenologischen Unterrichtskonzepts wurde bewusst ausgespart. Es ist davon auszugehen, dass die Frage nach der Definition von Bildung und gutem Unterricht aufgrund der im Kapitel 2.1 dargelegten Komplexität des Unterrichtsgeschehens gar nicht so leicht zu beantworten ist. Der Anspruch dieser Arbeit verfolgt ein anderes Ziel: Es wurde versucht, Einblick in eine jahrelange Auseinandersetzung mit der Didaktik Martin Wagenscheins zu gewähren. Dieser persönliche Zugang wurde jedoch durch eine kritische Reflexion, Anbindung an aktuelle Ansätze der Physikdidaktik und Ergebnisse empirischer Forschung angeregt. Die Frage nach dem Objektivitätsgehalt bildungswissenschaftlicher Aussagen wurde eingangs ausführlich zur Diskussion gestellt. Der wissenschaftliche Mehrwert dieser Arbeit lässt sich dennoch beanspruchen und ist durch folgende Aspekte gekennzeichnet:

- a) In dieser Masterarbeit wurde eine Abkehr von einem polarisierenden Diskurs um Martin Wagenschein dargelegt und der krampfhafteste Zugang, Eindeutigkeit herzustellen, abgelegt. Dennoch wurden dabei kritische Positionen genauso berücksichtigt wie Schwierigkeiten in der eigenen Unterrichtspraxis.
- b) Der Anspruch der vorliegenden Arbeit lag in dem Explizieren der persönlichen Zugangsweise, dem eigenen Ansatz, der gewählt wurde, um die dargestellten Herausforderungen zu meistern. Es bestand nicht der Anspruch darauf, eine möglichst authentische Unterrichtseinheit im Sinne Wagenscheins zu evaluieren, da Wagenscheins didaktische Konzeption einige Fragen offenließ. Darüber hinaus handelt es sich bei Wagenscheins Unterrichtskonzept zwar um einen historisch wichtigen Ansatz, dieser sollte jedoch im Lichte des aktuellen physikdidaktischen Diskurses betrachtet werden.
- c) Objektivität beansprucht diese Arbeit durch die bildungswissenschaftlich begründete Analyse der zentralen Herausforderungen, das Offenlegen der eigenen Position, die Anknüpfung dieser an aktuelle physikdidaktische Ansätze

sowie die empirische Evaluierung des erhobenen Anspruchs im Rahmen einer Unterrichtseinheit. Dabei wurden didaktisch relevante Vorannahmen mithilfe von Unterrichtstranskripten und einer anerkannten empirischen Methode überprüft und darüber hinaus die Reflexion des Unterrichtsgeschehens angereichert.

Demnach können keine universellen Schlussfolgerungen beansprucht werden. Inwiefern der Einsatz von schüler*innen-zentrierten Experimenten oder phänomenologisch orientierter Unterricht einen Mehrwert darstellt, ist dem*der Leser*in dieser Arbeit überlassen. In dieser Arbeit wurde ein Werkzeug geschliffen, dessen konkreter Einsatz noch offen ist. Durch die Darlegung des eigenen Zugangs wurde versucht, die *Möglichkeiten* zukünftiger Lehrkräfte zu erweitern, indem die Handlungsanweisungen der eigenen Interpretation phänomenologischen Unterrichts möglichst explizit dargelegt wurden.

Der konkrete Mehrwert dieses Ansatzes könnte darin liegen, dass ein Planungsschema vorgelegt wurde, welches zentrale Inhalte des Physikunterrichts und daran gekoppelte Alltagskonzepte in eine vielversprechende inhaltliche Struktur bringt und darüber hinaus Elementarisierungen und Unterrichtskonzeptionen evaluierter Lehrgänge aufgreift. Die Besonderheit des dargelegten Zugangs dürfte jedoch in einer Anleitung für schüler*innen-zentrierte Experimente liegen, welche Aspekte der Motivation genauso aufgreift wie die Notwendigkeit, Experimentierphasen in theoretische Betrachtungen zu überführen. Erfahrungsgemäß ist dies kein einfaches Unterfangen. Mit den sokratischen Fragen steht jedoch eine Unterrichtsmethode zur Verfügung, welche die eben genannten Aspekte zusammenfasst und die im Rahmen einer Unterrichtsplanung entwickelt werden kann.

8.2. Limitierung der Aussagen dieser Arbeit

Obwohl versucht wurde, die eigene Herangehensweise möglichst transparent darzulegen, kann nicht der Anspruch darauf erhoben werden, dass dieselben empirischen Ergebnisse bei der Durchführung der Unterrichtseinheit durch eine andere Lehrperson erzielt werden können. Die sokratischen Fragen stellen ein wichtiges Steuerungselement für phänomenologischen Unterricht dar. Dennoch könnte es weiterer Erfahrung bedürfen, um die Ziele der dargelegten Unterrichtseinheit zu erreichen. In den audiographierten Unterrichtsgesprächen waren vielfältige Steuerungsmechanismen zu erkennen, welche nicht in den Unterrichtsmaterialien

festgehalten sind. Erfahrene Lehrkräfte dürften das folgende Kommentar von Schüler*innen gut kennen: „Wenn Sie so fragen, dann kann da was nicht stimmen!“

Dies zu vermeiden, möglichst keine Hinweise durch den Unterton und die Art der Fragestellung zu liefern, ist ein schwieriges Unterfangen. Die größten Diskrepanzen in der Beurteilung der sokratischen Gespräche im Rahmen der Akzeptanzbefragung ergaben sich deshalb auch durch folgenden Aspekt: Im Transkript der Unterrichtseinheit mit Jonas (T. Jonas, Z. 641 - 713) ist unklar, inwiefern der Teilnehmer Antworten errät oder auf Basis seiner bisher gewonnen Schlüsse trifft. Auch kann zur Diskussion gestellt werden, inwiefern die Antworten von der Lehrperson in den Mund gelegt oder selbst erarbeitet wurden. Dies stellt zum Glück eine Ausnahme dar.

Inwiefern Lehrkräfte ausschließlich durch die Unterrichtsmaterialien und die dargelegten didaktischen Überlegungen sokratische Gespräche gemäß den formulierten Gütekriterien führen können, bleibt offen. Darüber hinaus wurde die Unterrichtseinheit im Rahmen eines Eins-zu-eins-Settings evaluiert. Inwiefern die sokratischen Gespräche in dieser Form auch im Rahmen von klassischem Unterricht geführt werden können, müsste in einer weiteren Untersuchung erhoben werden.

8.3. Verbesserungsvorschläge für den Einsatz der Vision Tube

In diesem Abschnitt werden nun Verbesserungsvorschläge für den Einsatz der Vision Tube angeführt. Dabei werden vor allem die in Abb. 6 angeführten Hervorhebungen berücksichtigt. Es kann jedoch nicht der Anspruch erhoben werden, dass die dargelegten Vorschläge durch eine spezifische Methode generiert wurden. Es handelt sich vielmehr um Notizen, welche während der Codierung der Unterrichtsgespräche festgehalten wurden. Für die Phase der Anwendungsbeispiele konnten jedoch keine konkreten Verbesserungsvorschläge getroffen werden. Die angeführten Vorschläge wurden in die Unterrichtsmaterialien eingebettet und die überarbeitete Version dem Anhang beigelegt.

Experimentierphase

In dieser Phase der Unterrichtseinheit konnten aus den jeweiligen Sequenzen folgende Verbesserungsvorschläge festgestellt werden:

- **Beobachtung der Experimente im Allgemeinen:** Da nicht ersichtlich ist, welche Wahrnehmung die Teilnehmer*innen haben bzw. ob das Experiment

richtig durchgeführt wird (z.B. der reflektierte Strahl des Spiegels auch tatsächlich auf die Querstange der Vision Tube trifft) ist es sinnvoll, eine externe Webcam griffbereit und damit die Möglichkeit zur Bildwiedergabe zu haben. Dadurch konnten Schwierigkeiten in diesem Bereich rasch behoben werden. Vor allem für die Umsetzung in Klassengröße kann auf diese Weise die Ergebnissicherung im Rahmen von Schüler*innenexperimenten gewährleistet werden, wenn nach einer selbstständigen Experimentierphase lehrkraftzentriert die gesammelte Erfahrung abgeglichen wird.

- **Beobachtung der Experimente im Allgemeinen:** Wenn möglich, sollten sich die Oberflächen, welche Licht in die Vision Tube senden, auf einer erhöhten Position befinden. Dies lässt sich zum Beispiel durch Zuhilfenahme eines Tischaufsatzes oder einer Scherenhebebühne gewährleisten. Dadurch wird die Beobachtung um ein Vielfaches erleichtert und es kann sichergestellt werden, dass sich die Vision Tube parallel und knapp über der zu untersuchenden Oberfläche befindet.
- **Sokratische Fragen im Allgemeinen:** Für das 1. und 2. Experiment wurde die Notwendigkeit, die Formulierung der Fragen geringfügig zu ändern, festgestellt. Des Weiteren ist es hilfreich, die Elementarisierung „Zurücksenden“ durch „Weitersenden“ zu ersetzen und generell den Begriffskanon Aussenden, Empfangen, Weitersenden und Verschlucken immer wieder explizit einzufordern.
- **4. Experiment:** Die Klarheit der Aufgabenstellung war durch die Formulierungen nicht besonders gut gegeben, was zu einem Durchschnittswert von 3,4 geführt hat. Nach Durchsicht der entsprechenden Sequenzen wurde die Notwendigkeit, die Richtung des weitergesendeten Lichts durch die Fragen „In welche Richtungen senden die Oberflächen das Licht weiter? Wodurch kannst du auf die Richtung schließen?“ expliziter zu thematisieren. Des Weiteren war die Beobachtung „eine kleinere Fläche erzeugt eine hellere Beleuchtung“ irritierend. Die zusätzliche Frage „Welche Oberfläche kann das Licht besser weitersenden?“ hebt hervor, dass der Spiegel das Licht zwar gerichtet auf einen Punkt sendet, unabhängig davon jedoch auch ein höheres Reflexionsvermögen hat. Die Frage nach der Intensität der Beleuchtung ist somit von der Frage nach der Ausbreitungsrichtung getrennt.
- **6. Experiment:** Die Ergänzung der ersten sokratischen Frage in Bezug auf die Energie könnte hilfreich sein. Des Weiteren ist es für den genetischen Verlauf

der Unterrichtseinheit hilfreich, neben der Absorption auch den Begriff der Remission durch die Elementarisierung Wiederaussenden explizit aufzugreifen.

- **7. Experiment:** Auch hier kam es nur zu einer guten Umsetzung mit einem Durchschnittswert von 3,20. Ähnlich wie im 4. Experiment ist der Vorgang von höherer Komplexität, da es gleichzeitig zu einer Streuung des Lichtes in der entsprechenden Farbe und einer Absorption der Komplementärfarbe kommt. Des Weiteren kann der Hinweis, die Beobachtung auch in Bezug auf die Helligkeit zu analysieren, einen Link zur Absorption herstellen.
- **Erweiterungsmöglichkeit:** Neben den bisherigen Phänomenen kommt im 7. Experiment der Aspekt der Spektralfarben des weißen Lichts hinzu. Ein Aufgriff dessen hat sich nicht immer als lohnend herausgestellt. Es dürfte vom Vorwissen sowie von weiteren Zielen abhängen, wie sehr dieser Aspekt aufgegriffen und vertieft, oder erst zu einem anderen Zeitpunkt thematisiert wird. Falls dies eine Rolle spielt, könnte es sich als sehr lohnend herausstellen, diesen Aspekt in einem weiteren Zwischenschritt der Sachgenese vorab zu erschließen.

Definition der Fachbegriffe

Die Schwierigkeiten bei der Definition von Reflexion und Streuung bzw. der Beschreibung ihrer Gemeinsamkeit und ihres Unterschieds könnte, wie schon in der ersten Phase, auf einen zu hohen Komplexitätsgrad zurückzuführen sein. Des Weiteren musste die gesammelte Erfahrung im Experiment erst wieder aufgefrischt werden, um die Definition der Fachbegriffe zielführend zu bewerkstelligen. Aus diesen Sequenzen konnten folgende Verbesserungsvorschläge herausgearbeitet werden:

- **Sokratische Fragen im Allgemeinen:** Die Beschreibung des Phänomens sollte zwar gemäß der formulierten Qualitätskriterien explizit von der weiteren Abstraktion und Definition von Fachbegriffen getrennt sein, jedoch kann es sehr hilfreich sein, dies unmittelbar aufeinanderfolgend geschehen zu lassen. So sollte, ähnlich wie die Differenzierung zwischen selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen, direkt nach dem 1. Experiment die Definition der Fachbegriffe im Anschluss an die jeweiligen Experimente stattfinden. Emission kann sinnvollerweise nach dem 2. Experiment definiert werden, Reflexion und Streuung nach dem 3. und 4. Dem nur guten Durchschnittswert in der Sequenz Definition von Reflexion und Streuung von 3,2 kann so

entgegengetreten werden. Zusätzlich ist eine Verschiebung innerhalb der sokratischen Fragen ratsam (s. Folgepunkt).

- **Sokratische Fragen im Allgemeinen:** Die Formulierung „XY beobachte ich...“ sowie die Aufforderung „Bezieh dich dabei auch auf die unterschiedlichen Situationen in den Experimenten und die Funktion von selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen“ hat eher für Verwirrung gesorgt. Es könnte zielführend sein, die allgemeine Aufforderung z.B. in „Emission bedeutet...“ umzuformulieren und zusätzlich explizite Hinweise durch sokratische Fragen in der Form „Welche Beispiele aus dem Experiment kannst du anführen, um diesen Fachbegriff zu erklären?“ und „Inwiefern hilft dieser Fachbegriff, den Unterschied zwischen selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen zu erklären?“ zu ergänzen.
- **Sokratische Fragen im Allgemeinen:** Die Begriffe Absorption und Remission können sinnvollerweise nach dem 5. und 6. Experiment definiert werden. Dieser Zwischenschritt führt höchstwahrscheinlich auch dazu, dass der kognitive Komplexitätsgrad im 7. Experiment reduziert wird und das sokratische Gespräch besser seinen Erwartungshorizont erfüllen kann.

Literaturverzeichnis

- Appenzeller-Combe, G., Stettler, P., Köhnlein, W., Kohl, K. & Schack, H. J. (2004). Diskussion und Kritik. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57 (4), 238-243.
- Berg, H. C. & Schulze, T. (1995). *Lehrkunst. Lehrbuch der Didaktik*. Lehrkunst und Schulvielfalt, Bd. 2. Neuwied, Kriftel & Berlin: Luchterhand.
- Berliner, D. C. (2002). Educational Research: The Hardest Science of All. *Educational Researcher*, 31 (8), 18–20.
- Brülls, S. (2004). *Lehramtsstudierende und Wagenschein. Schwierigkeiten bei der Umsetzung des genetisch-sokratisch-exemplarischen Lehrens*. Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, Band 5. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- BMBWF - Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2022). *Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*. Artikel IV Lehrplan der allgemeinbildenden höheren Schulen, Sechster Teil: Lehrpläne der einzelnen Unterrichtsgegenstände, A. Pflichtgegenstände, Physik. Stand: 18.04.2022.
- Engelbrecht, A. (2003a). Genetisches Lernen zwischen Wunschdenken und Wirklichkeit. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 56 (8), 464-470.
- Engelbrecht, A. (2003b). *Kritik der Pädagogik Martin Wagenscheins. Eine Reflexion seines Beitrages zur Didaktik*. Münster: LIT. Zugleich Dissertation, Universität Rostock.
- Engelbrecht, A. (2004). Diskussion und Kritik. Antwort von A. Engelbrecht. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57 (4), 243-247.
- Eyer, M. (2013). *Lehrstückunterricht im Horizont der Kulturgenese. Lehrkunsstdidaktische Komposition und Inszenierung von Galileis Fallgesetz – Pascals Barometer – Fermats. Spiegeloptik*. Dissertation, Philipps-Universität Marburg/Lahn.
- Eyer, M. & Aeschlimann U. (2013). *Pascals Barometer - frei nach Martin Wagenschein*. Bern: hep.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2018). Vorstellungen zum Sehvorgang. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 89-114). Berlin: Springer.

- Haagen-Schützenhöfer, C., Rottensteiner, J. & Hopf, M. (2012). Akzeptanzbefragung zu Optikunterrichtsmaterialien. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen* (S. 639-641). GDCP Jahrestagung 2012.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Wilhelm, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Geometrischen Optik. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 89-114). Berlin: Springer.
- Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics*, 68 (7), 52-59.
- Hestens, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141-158.
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente*. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). Conceptual Change – Entwicklung physikalischer Vorstellungen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 23-38). Berlin: Springer.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (S. 278-295). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Kruse, N., Messner, R. & Wollring, B. (2012). *Martin Wagenschein - Faszination und Aktualität des Genetischen*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Köhnlein, W. (1973). *Die Pädagogik Martin Wagenscheins*. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Koliander, B. (2009). America's Lab Report. Laborunterricht: Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel amerikanischer High Schools. Eine Zusammenfassung. *IMST Newsletter*, 8 (29), 4-6.
- Kuhn, T. (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. 2., rev. und um das Postskriptum von 1969 ergänzte Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Labudde, P. (2000). *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Bern, Stuttgart & Wien: Haupt.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 601–613). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Metzler Lexikon Philosophie. (2008). *Radikaler Konstruktivismus*. Abgerufen am 20. 01. 2022 von <https://www.spektrum.de/lexikon/philosophie/radikaler-konstruktivismus/1718>
- Müller, M. (2017). *Grammatik der Natur. Von Wittgenstein Naturphänomene verstehen lernen*. Phänomenologie in der Naturwissenschaft, Bd. 11. Berlin: Logos.
- Nelson, L. (1929). Die sokratische Methode. In B. Birnbacher & D. Krohn (Hrsg.), *Das sokratische Gespräch* (S. 20-72). (2002). Stuttgart: Reclam.
- OECD - Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2018). *PISA 2018: Deutschland, Österreich, Schweiz*. Pressemitteilung für Deutschland. Abgerufen am 17. 05. 2022 von <https://www.oecd.org/berlin/presse/pisa-studie-2018-leistungen-in-deutschland-insgesamt-ueberdurchschnittlich-aber-leicht-ruecklaeufig-und-mit-groessem-abstand-zu-den-spitzenreitern-03122019.htm>
- Oelkers, J. (2005). *Reformpädagogik. Eine kritische Dogmengeschichte*. 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim & München: Juventa.
- Oelkers, J. (2009). *John Dewey und die Pädagogik*. Weinheim & Basel: Beltz.
- Richter, K., Schließmann, F. & Clausen S. (2012). Die Bedeutung des Genetischen Gesprächs bei Fortbildungen. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen* (S. 557-559). GDGP Jahrestagung.
- Roth, H. (1962). Realistische Wendung in der pädagogischen Forschung. In H. Becker, E. Blochmann, O. F. Bollnow, E. Heimpel, M. Wagenschein, (Hrsg.), *Neue Sammlung. Göttinger Blätter für Kultur und Erziehung* (S. 481-490). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Schecker, H. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 23-38). Berlin: Springer.
- Schecker, H. & Gerdes, J. (1999). Messung zur Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik – Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 5 (1), 57-89.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer.
- Schriblbauer, A. (2005). *Die Moralpredigt*. Wien: Sonderzahl.
- Singer, S. R., Hilton, M. L. & Schweingruber, H. A. (Ed.). (2006). *America's Lab Report. Investigations in High School Science*. Washington D.C.: National Academies Press.

- Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 10, 51-69.
- Wagenschein, M. (1965). *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken I*. Pädagogische Schriften. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, M. (1968). *Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch*. 4. Auflage (2008). Weinheim & Basel: Beltz.
- Wagenschein, M. (1983). *Erinnerungen für morgen. Eine pädagogische Autobiographie*. Weinheim & Basel: Beltz.
- Wagenschein, M. (1986). *Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft*. Marburg: Jonas.
- Wallner, B. (2011a). *Verstehen lehren? Eine empirische Untersuchung über die Möglichkeiten und Grenzen einer, an der Didaktik Martin Wagenscheins angelehnten, Einführung in die Mechanik*. Diplomarbeit, Universität Wien.
- Wallner, B. (2011b). *Warum wir Dinge sehen können? Eine Einführung in das SEV Konzept in einer 4. Klasse Volksschule*. Unveröffentlichtes Portfolio zum Seminar, Universität Wien.
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 10, 233-255.
- Wiener, G. J., Schmeling, S. M. & Hopf, M. (2015). Can Grade-6 students understand quarks? Probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds. *European Journal of Science and Mathematical Education*, 3 (4), 313–322.
- Wiesner, H. (1992). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik I, II & IV. *Physik in der Schule*, 30 (9), 286-290, 326-331 & 410-413.
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 250–274). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Dynamik. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 81-120). Berlin: Springer.
- Wilhelm, T. & Schecker H. (2018). Strategien für den Umgang mit Schülervorstellungen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.),

Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis (S. 39-61). Berlin: Springer.

Wilhelm, T., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die zentralen Elemente der Didaktik Wagenscheins	19
Abb. 2: Bewegung zweier Billardkugeln auf horizontaler Strecke sowie auf dazu rechtwinkelig geneigter Ebene	51
Abb. 4: Beispiel für weiterentwickelte sokratische Fragen	66
Abb. 4: Die Vision Tube	72
Abb. 5: Persönliche Daten und Feedback	94
Abb. 6: Häufigkeitsanalyse der codierten Unterrichtseinheiten.....	96

Abb. 1- Abb. 6: selbsterstellte Grafiken.

Anhang

Der Arbeit sind als Anhang folgende Dateien beigelegt. Aufgrund der großen Seitenzahl (Transkripte) und des unterschiedlichen Seitenformats (Präsentationsfolien) sind die Dateien in der Druckversion als CD-ROM beigelegt.

- Arbeitsblätter und Präsentationsfolien in der überarbeiteten Version
- Stundenplanung in Bezug auf die überarbeitete Version
- zusätzliche Unterrichtsmaterialien (Bilder)
- Bauanleitung für die Vision Tube
- Kodierleitfaden inklusive Erwartungshorizont
- Fragebögen für die persönlichen Daten und das Feedback
- Arbeitsblätter und Präsentationsfolien in der Erstfassung der empirischen Erhebung
- Transkription der Unterrichtseinheiten



Warum können wir Dinge sehen?

Experimente im Bereich der Optik zum Sehvorgang

Die Vision Tube



1. Experiment

Betrachte die Querstange unter verschiedenen Lichtsituationen und versuche deine Beobachtung in Bezug auf die **Sichtbarkeit der Querstange** zu analysieren.

- *Welchen Einfluss hat das Licht auf deine Beobachtung?*
- *Unter welcher Bedingung ist die Querstange besser oder schlechter sichtbar?*

*Tipp: Bilde für die Antwort auf beide Fragen einen **Je-mehr-desto-Satz**!*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

Analyse

Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine wichtige Rolle:

selbstleuchtende und *nicht-selbstleuchtende* Gegenstände.

- *Welche Beispiele aus dem Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beiden Kategorien anführen?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

2. Experiment

Halte als nun das **kleine Loch zu** und beobachte die Querstange!

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*
- *Unter welcher Bedingung kann man nicht-selbstleuchtende Gegenstände sehen?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

Analyse

Versuche nun den folgenden Fachbegriff zu definieren, indem du die untenstehenden Fragen beantwortest.

Emission (lateinisch *emittere* = *Aussenden*) bedeutet...

- *Welche Beispiele aus dem Experiment kannst du anführen, um diesen Fachbegriff zu erklären?*
- *Inwiefern hilft dieser Fachbegriff, den Unterschied zwischen selbstleuchtenden und nicht-selbstleuchtenden Gegenständen zu erklären?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

3. Experiment

Nun wollen wir **nicht-selbstleuchtende Gegenstände** näher untersuchen! Halte das kleine Loch knapp über das beleuchtete Papier.

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*

*Tipp: Versuche, den Vorgang in Bezug auf **Senden**, **Empfangen** und **Weitersenden** von Licht zu beschreiben.*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

4. Experiment

Untersuche nun das Weitersenden des Lichts von unterschiedlichen Flächen und halte einen beleuchteten **Spiegel** und ein beleuchtetes **weißes Blatt Papier** unter das kleine Loch der Vision Tube.

- *Mit welcher Oberfläche kannst du einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen?*
- *In welche Richtungen senden die Oberflächen das Licht weiter? Wodurch kannst du auf die Richtung schließen?*
- *Welche Oberfläche kann das Licht besser weitersenden?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

Analyse

Versuche nun die folgenden Fachbegriffe zu definieren, indem du die untenstehenden Fragen beantwortest.

Reflexion (lateinisch reflexio \approx *Zurücksenden*) bedeutet...

Streuung (\approx *in alle Richtungen verteilen*) bedeutet...

- *Worin liegt die Gemeinsamkeit der beiden Oberflächen in Bezug auf Senden, Empfangen und Weitersenden?*
- *Worin könnte der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung liegen?*
- *An welchen Oberflächen konntest du dies beobachten?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

5. Experiment

Vergleiche nun das **weiße Blatt Papier** mit der **schwarzen Oberfläche** in Bezug auf das Empfangen und Weitersenden!

- *Ist die Querstange noch sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?*
- *Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden?*
- *Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Weitersenden des Lichtes?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

6. Experiment

Dunkle Flächen können Licht nicht so gut weitersenden.

- *Was geschieht mit der Energie des Lichtes, welches nicht weitergesendet wird?*
- *Welche der beiden Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?*
- *Beschreibe die Vorgänge von Beleuchten, Weitersenden und Erwärmen bei hellen und dunklen Flächen.*

Tipp: Greife neben Senden und Empfangen auch auf den Begriff Verschlucken zurück.

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

Analyse

Versuche nun die folgenden Fachbegriffe zu definieren, indem du auf die Ergebnisse des letzten Experiments zurückgreifst.

Absorption (lateinisch absorptio = *Aufsaugung*) bedeutet ...

Remission (lateinisch remittere = *Wiederaussenden*) bedeutet ...

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

7. Experiment

Nun wollen wir farbige Oberflächen untersuchen. Vergleiche das Weitersenden von Licht bei zwei **unterschiedlichen Farbflächen** sowie **einer weißen und schwarzen Fläche**.

- *Was kannst du an der Querstange beobachten?*
- *Verändert sich die Helligkeit oberhalb der unterschiedlichen Oberflächen? Wenn ja, wodurch?*
- *Welche Rolle spielt das Weitersenden und Verschlucken von Licht bei der Beobachtung von Farbflächen?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

Name: _____

Datum: _____

Warum können wir Dinge sehen?

Wir wollen uns heute fragen, unter welchen Voraussetzungen Gegenstände für unser Auge sichtbar sind. Bitte führe deine Beobachtungen so genau wie möglich durch und versuche im Anschluss, die Fragen so präzise wie möglich zu beantworten.

Die Vision Tube

Die Vision Tube ist ein Rohr, welches so gebaut ist, dass Licht nur durch ein kleines Loch eintreten kann. Durch die große Öffnung kannst du die Querstange betrachten. Je nachdem in welche Richtung das kleine Loch zeigt, gelangt unterschiedlich viel Licht in die Vision Tube.



1. Experiment: Sichtbarkeit der Querstange

1. Analyse: Unterschied selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Gegenstände

Selbstleuchtende Gegenstände	Nicht-selbstleuchtende Gegenstände
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

2. Experiment: Verdunkelte Vision Tube

3. Experiment: Beleuchtung nicht-selbstleuchtender Flächen

4. Experiment: Spiegel vs. weißes Blatt

5. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche I

6. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche II

7. Experiment: Zurücksenden von unterschiedlichen Farbflächen

2. Analyse & Zusammenfassung

Emission (lateinisch *emittere* \approx Aussenden) bedeutet _____

Reflexion (lateinisch *reflexio* \approx Zurücksenden) bedeutet _____

Streuung (\approx in alle Richtungen verteilen) bedeutet _____

Absorption (lateinisch *absorptio* \approx Aufsaugen) bedeutet _____

Remission (lateinisch *remittere* \approx Wiederaussenden) bedeutet _____

Ein Spezialfall: Finsternis in deinem Alltag

Die Sonne ist untergegangen und der Mond ist nicht sichtbar. Auch hast du deine Taschenlampe vergessen. Dennoch kannst du deine Umgebung in unterschiedlichen Grautönen sehen und die Umrisse erkennen. Beurteile die Aussagen:

In dieser Situation gibt es keine Lichtquellen. Die Gegenstände leuchten von sich aus. Die helleren Gegenstände besitzen eine eigene Leuchtkraft.

Auch in der Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht vorhanden ist, können die Umrisse nicht gesehen werden.

Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass _____

Umrisse sehen wir, weil _____

Die Funktionsweise deines Auges

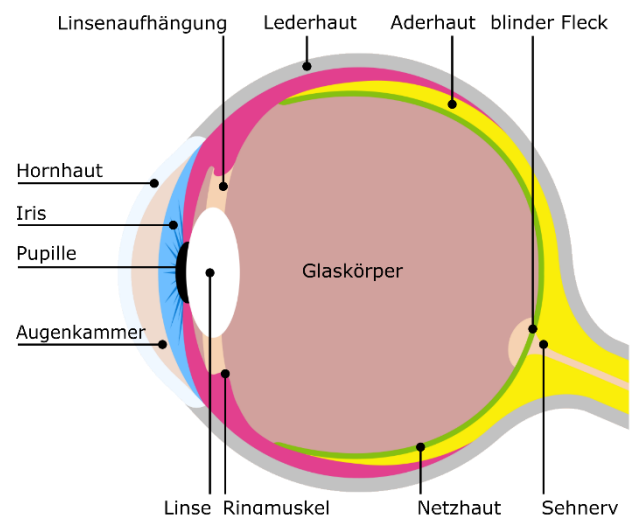
Bei den Experimenten und Beispielen ging es um die Frage, unter welcher Bedingung du etwas sehen konntest. Die Funktionsweise deines Auges haben wir jedoch noch nicht besprochen. Beurteile nun die Richtigkeit der folgenden Aussagen:

- 1) *Dein Auge ist ein aktives Organ. Von ihm geht ein Sehstrahl aus, welcher Sichtbares abtastet.*
- 2) *Um einen Blick durchs Fenster zu werfen, muss mein Auge aktiv den Sehstrahl durch das Fenster schicken.*
- 3) *Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen.*
- 4) *Das Auge ist ein passives Organ, es kann keinen Sehstrahl absenden.*

1. Tipp: Betrachte die untere Grafik und überlege, was die Funktion der Netzhaut sein könnte. Welche Bestandteile sind im Modell des Auges der Vision Tube ähnlich?

2. Tipp: Überlege dir, warum du nicht gut riechen kannst, wenn deine Nase verstopft ist.

Die Funktionsweise unseres Auges:



© <https://www.leifiphysik.de/>

Ein Anwendungsbeispiel: Mond und Äpfel im Sonnenlicht

Betrachte nun das Bild, in welchem Äpfel am Baum hängen und im Hintergrund der Mond zu sehen ist. Analysiere die Situation. Verwende, was du schon weißt und beantworte die Fragen.

In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne?

Inwiefern sind die Beleuchtungssituation des Apfels und des Mondes gleich?

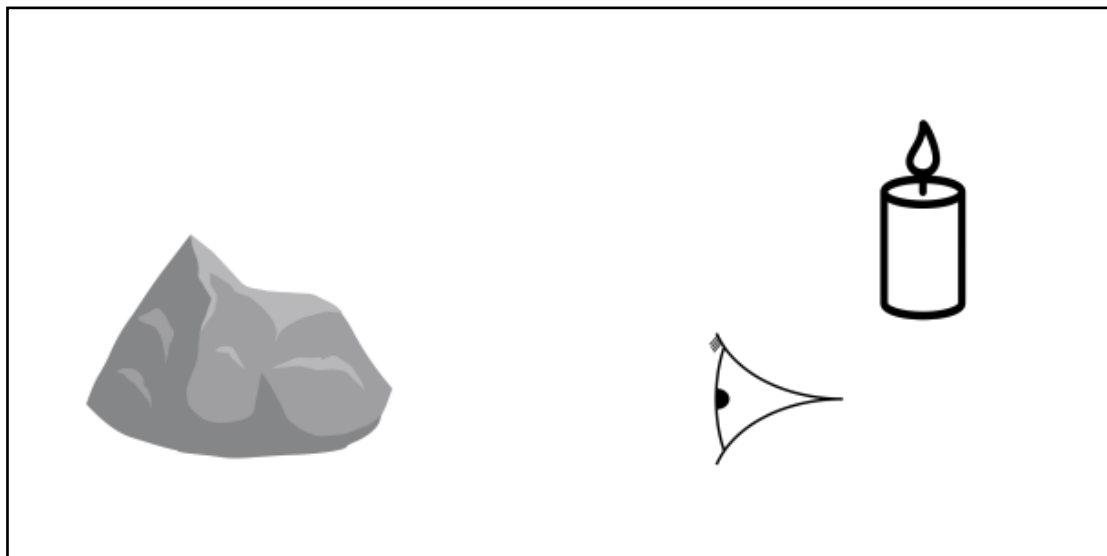
Warum ist die Schattenseite des Apfels sichtbar, welche Rolle spielt dabei die Umgebung?

Ein Anwendungsbeispiel: Die Lichtausbreitung einer Kerze

Licht hat bei all deinen Beobachtungen eine Rolle gespielt! In dem unten angeführten Beispiel hast du eine Kerze, einen Stein und das Auge dargestellt.

In welche Richtungen breitet sich das Licht aus?

Stell den Weg des Lichts mithilfe von Linien und Pfeilen dar!



Stell dir statt dem Stein einen Spiegel vor! Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel dich blenden? Wieso kann der Stein dich nicht blenden? Vergleiche und beschreibe beide Vorgänge in Bezug auf das Senden, Empfangen, Rücksenden und Verschlucken von Licht!

Vision Tube - Stundenplanung

Zielgruppe

Physikanfangsunterricht der Sekundarstufe I, kein spezifisches Vorwissen, Alter: 10-12 Jahre

Inhalt

- Differenz zwischen der Sichtbarkeit von nicht-selbstleuchtenden und selbstleuchtenden Objekten
- Emission, Reflexion, Streuung und Absorption in Bezug auf den Sehvorgang
- Absorption an farbigen, undurchsichtigen sowie hellen und dunklen Oberflächen
- Das Auge als passives Sinnesorgan, welches Licht empfängt, um Gegenstände sehen zu können
- Die geradlinige Lichtausbreitung bei den genannten Vorgängen.

Key Ideas - die Sachstruktur

- a) Es gibt selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Gegenstände. Nur selbstleuchtende Gegenstände können Licht von sich aussenden.
- b) Um nicht-selbstleuchtende Gegenstände für das menschliche Auge sichtbar zu machen, müssen sie beleuchtet werden. Je mehr Licht sie empfangen, umso besser sind sie sichtbar. Wenn sie kein Licht empfangen, sind sie nicht sichtbar.
- c) Je nach Oberfläche können nicht-selbstleuchtende Gegenstände Licht gerichtet oder ungerichtet zurücksenden. Auch können unterschiedliche Oberflächen Licht besser oder schlechter zurücksenden. Nicht zurückgesendetes Licht wird dabei von der Oberfläche des Gegenstands verschluckt, wodurch die Helligkeits- und Farbwahrnehmung bestimmt wird.
- d) Die bisher beschriebenen Vorgänge können mit dem SEV-Konzept beschrieben werden, welches das Senden, Empfangen, Weitersenden und Verschlucken von Licht beschreibt.
- e) Das Auge (bzw. die Netzhaut) ist ein passives Sinnesorgan. Ohne dass es Licht empfängt, kann es nicht sehen. Auch wenn nicht-selbstleuchtende Gegenstände kein Licht von sich aussenden können, können sie Licht empfangen und wieder zurücksenden. Andernfalls, wären sie unsichtbar. Jedoch wird nicht das gesamte Licht weitergesendet. Nicht-selbstleuchtende Gegenstände sind deshalb Empfänger, Weitersender und Verschlucker.

Alltagskonzept der Schüler*innen

- Sehen geht auch ohne Licht.
- Das aktive Auge – Sehen heißt aktiv hinschauen.
- Wenn es hell ist, sehen wir was. (Lichtbadvorstellung)
- Beleuchtungsvorstellung – mit Licht bestrahlte Gegenstände sind sichtbar.
- Licht bleibt an der Oberfläche liegen und macht einen hellen Lichtfleck.

Materialliste

- ☐ Präsentationsfolien, Handout
- ☐ Zusatzbilder: Regenbogenprisma, Apfel & Mond, Aufbau Auge detailliert
- ☐ Laptop und Webcam
- ☐ Vision Tube
- ☐ Schreibtischlampe
- ☐ Weißes Papier, schwarze und farbige Flächen, Spiegel

Stundenplanung Vision Tube

A) Einführung – Vision Tube kennenlernen – Sichtbarkeit von nicht-selbstleuchtenden Gegenständen

Lehrer*innenaktivität - Hinweis für Schüler*innen:

- Einführung und grobe Erläuterung der zentralen Frage: **Warum können wir Dinge sehen?**
- Besonders wichtig ist genaues Beobachten – achtsames Formulieren – Hinterfragen der eigenen Sichtweise
- Aufbau Vision Tube: **Große Öffnung, kleines Loch & Querstange** zeigen (Bild auf 2. Folie und am Arbeitsblatt); richtige Drehung der Vision Tube = Achse der Tube ist rechtwinkelig zur Lichtquelle.
- **Präsentation** = Hinweise für Experimente & Reflexion der Ergebnisse; **Arbeitsblatt** = Ergebnissicherung

Schüler*innenaktivität

1. Experiment - Vision Tube kennenlernen:

Hilfreiche Beobachtung: Lichteinfall an Fenster, Lampe, entgegen der Lampe variieren lassen

Erwartungshorizont: Je mehr Licht durch das kleine Loch eintritt, umso besser ist die Querstange sichtbar!

Analyse: Differenzierung selbstleuchtender und nicht-selbstleuchtender Gegenstände durch 3 bis 4 Beispiele.

2. Experiment - Absolute Dunkelheit:

Erwartungshorizont: Wenn kein Licht in die Röhre eintritt, ist die Querstange nicht sichtbar. Nicht-selbstleuchtende Gegenstände müssen beleuchtet werden, damit sie sichtbar sind.

Analyse: Emission bedeutet, dass selbstleuchtende Gegenstände wie die Lampe oder die Sonne Licht (mit Hilfe von Energie) aussenden.

B) Reflexion – Streuung – Absorption – Helligkeit und Farben

Lehrer*innenaktivität

Versuchsaufbau erklären: Eine Lichtquelle beleuchtet verschiedene Oberflächen. Die Vision Tube wird mit dem kleinen Loch entgegen der Lichtquelle knapp oberhalb der Oberflächen positioniert, sodass Licht hauptsächlich von den Oberflächen in die Vision Tube gelangt. Es ist hilfreich, wenn die Oberflächen sich durch die Zuhilfenahme eines Tischaufsatzes in etwa auf Augenhöhe befinden.

Tipp: Für die Reflexion der Experimente immer wieder die Begriffe **Senden** und **Empfangen** bzw. in weiterer Folge **Weitersenden** und **Verschlucken** einfordern.

Anmerkung zum 7. Experiment: Je nach Vorwissen sowie weiteren Lehrzielen kann der Aspekt der Zerlegung des weißen Lichts in Spektralfarben aufgegriffen und vertieft werden. Falls dieses Thema behandelt wird, sollte dies in einem Zwischenschritt vor dem 7. Experiment geschehen.

Schüler*innenaktivität

3. Experiment - Streuung an weißem Papier:

Erwartungshorizont: Die Querstange ist sichtbar, da das weiße Blatt Licht in die Vision Tube sendet. Dies ist möglich, da es Licht von der Lampe empfängt und dieses in die Vision Tube weitersendet.

4. Experiment: Weißes Papier vs. Spiegel

Erwartungshorizont: Der Spiegel kann einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen. Dies ist möglich, da er das Licht gerichtet weitersendet. Das weiße Blatt Papier kann das Licht zwar auch weitersenden, jedoch nicht so gut und nur ungerichtet.

Analyse: Reflexion bedeutet, dass Licht z. B. von einer spiegelnden Oberfläche empfangen und gerichtet weitergesendet wird. Streuung bedeutet, dass Licht z. B. von einem weißen Blatt Papier empfangen und ungerichtet weitergesendet wird.

5. Experiment - Weiße vs. schwarze Oberfläche I:

Erwartungshorizont: Auch die schwarze Fläche kann Licht weitersenden, jedoch nicht so gut wie die weiße. Je heller eine Oberfläche ist, umso besser kann sie Licht weitersenden.

6. Experiment - Weiße vs. schwarze Oberfläche II:

Erwartungshorizont: Das nicht weitergesendete Licht wird von der dunklen Oberfläche verschluckt, weshalb sie sich erwärmt. Die Energie des Lichtes verbleibt nicht auf der Oberfläche, sie wird in Form von Wärmestrahlung abgegeben.

Analyse: Absorption bedeutet, dass Licht von einer Oberfläche empfangen und verschluckt wird. Je dunkler die Oberfläche, umso stärker ist die Absorption. Dabei empfängt die Oberfläche Energie. Remission bedeutet, dass die empfangene Energie in Form von Wärme wieder ausgesendet wird.

7. Experiment - Diverse unterschiedliche Farboberflächen:

Erwartungshorizont: Auch farbige Flächen verschlucken Licht. Sie senden Licht, welches ihrer eigenen Farbe entspricht, weiter und verschlucken die anderen Anteile des weißen Lichts.

C) Anwendungsbeispiele

Lehrer*innenaktivität

Die Aufgabenstellungen sind im Arbeitsblatt angeführt. Das Zusatzbild „Apfel & Mond“ wird für das zweite Anwendungsbeispiel benötigt. Das Bild „Aufbau Auge detailliert“ kann zusätzlich für die Vertiefung des dritten Beispiels herangezogen werden.

Schüler*innenaktivität

Spezialfall: Finsternis in deinem Alltag

Beurteilung und offene Diskussion der Aufgabenstellung.

Hilfreiche Beobachtung: Bei Bedarf in relativ dunkler Umgebung **ganz wenig Streulicht in die Vision Tube** senden lassen und dann das Loch verdecken.

Erwartungshorizont: Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass... nur noch wenig Restlicht vorhanden ist. Es ist sehr schwer, einen Ort absolut zu verdunkeln. Umrisse sehen wir, weil... helle Oberflächen das Restlicht besser weitersenden können als dunkle.

Funktionsweise deines Auges

Diskussion der 4 Aussagen und Erkenntnis: die Aussagen 3 und 4 sind richtig.

Hilfreiche Inputs: Vergleich mit anderen Sinnesorganen: diese müssen auch Information empfangen, sind also passiv. Vergleich mit Vision Tube: Kleines Loch = Pupille / Querstab = Netzhaut.

Optionale Vertiefung - Bild „Aufbau Auge detailliert“: Ringmuskel und Auswirkung auf Linse erklären. Zapfen ⇒ Farben, Stäbchen ⇒ Helligkeit, sie sind viel lichtempfindlicher ⇒ Grautöne in der Nacht.

Erwartungshorizont: Unser Auge ist ein passives Sinnesorgan. Um sehen zu können, ist es darauf angewiesen, Licht von Gegenständen zu empfangen. Dabei lässt die Pupille Licht in das Auge, ähnliche wie das kleine Loch der Vision Tube. Die Netzhaut empfängt das Licht und besitzt Sensoren, um das Licht zu messen, ähnlich wie die Querstange der Vision Tube.

Mond und Äpfel im Sonnenlicht

Offene Diskussion der Fragen und Beurteilung des Bildes „Mond und Äpfel im Sonnenlicht“

Erwartungshorizont: Die Sonne steht im linken oberen Eck, auf dieser Seite sind die Äpfel und der Mond am besten beleuchtet. Deshalb ist ihre Beleuchtungssituation auch identisch. Jedoch kann man nur die Schattenseite der Äpfel sehen. Dies liegt daran, dass diese von der Umgebung, also den Blättern des Baumes, beleuchtet wird.

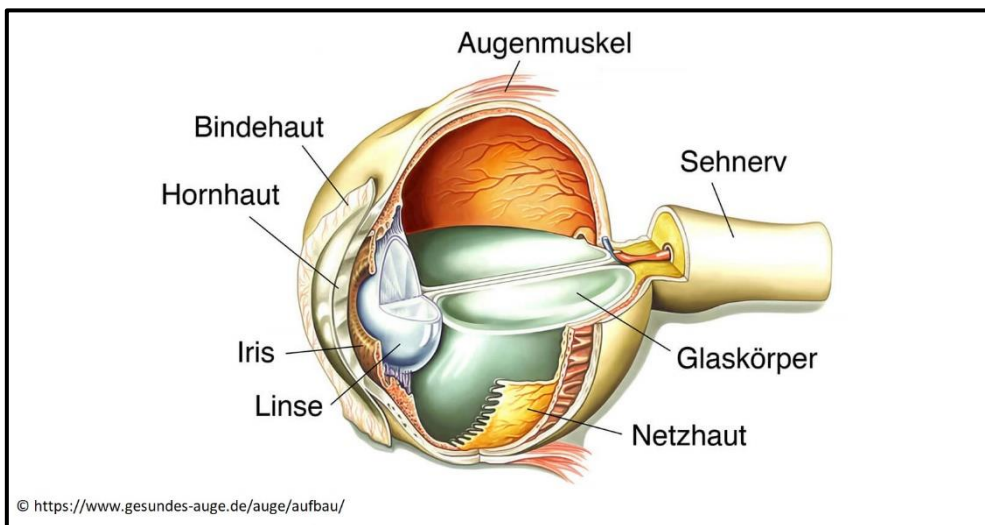
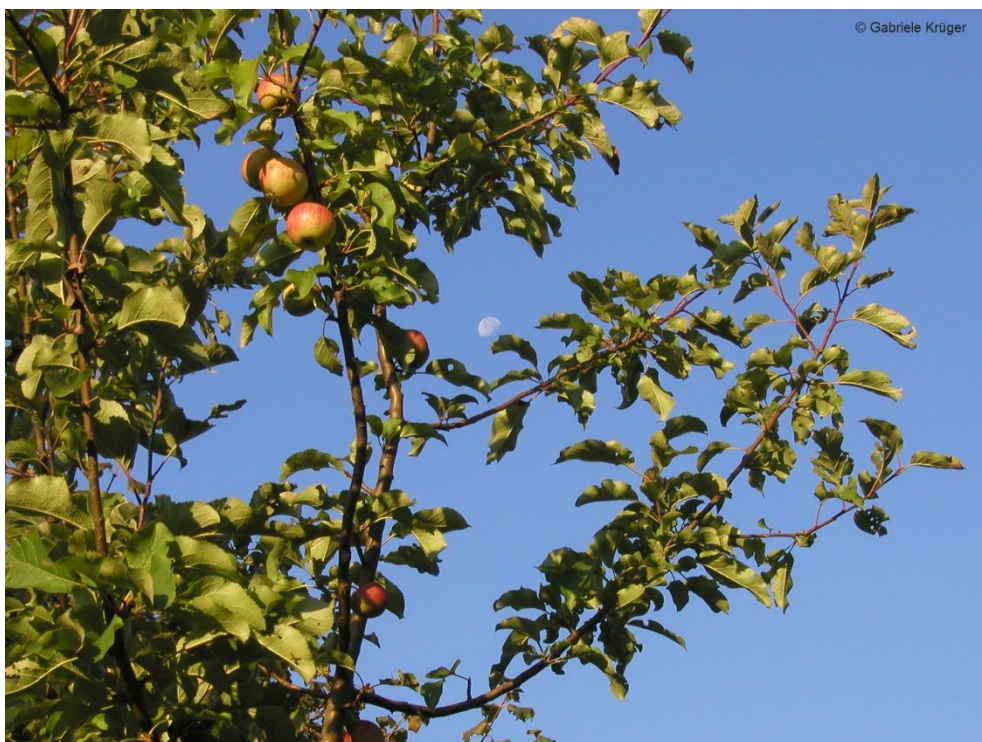
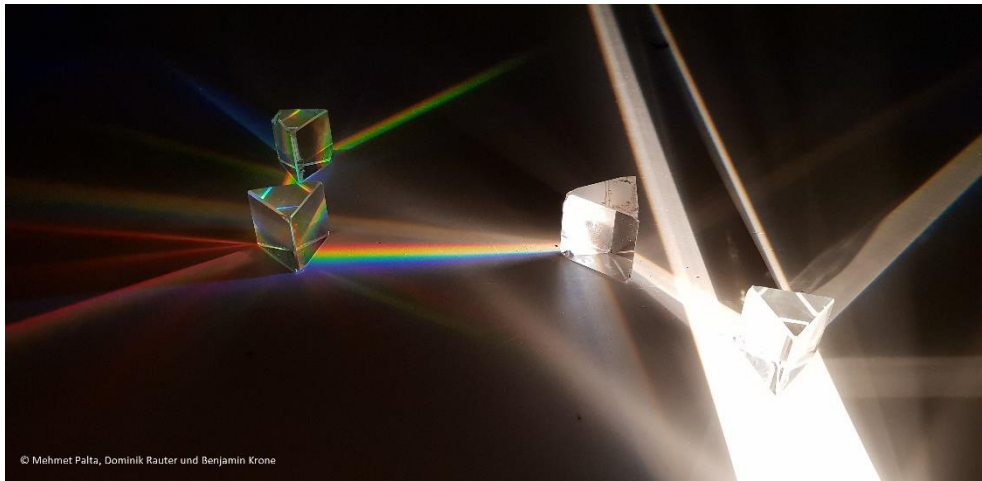
Die Lichtausbreitung einer Kerze

Offene Diskussion der Fragen und Bearbeitung der Grafik im Arbeitsblatt.

Erwartungshorizont Grafik: Licht soll von der Kerze in alle Richtungen ausgehen und teilweise auf den Stein treffen. Der Stein wiederum sendet an den hellen Flächen Licht weiter, jedoch nur halbkreisförmig von der Oberfläche. Dieses Licht trifft teilweise in das Auge.

Erwartungshorizont Stein vs. Spiegel:

Der Spiegel kann mich nur blenden, wenn das gerichtet weitergesendete Licht direkt in mein Auge fällt. Der Stein kann mich nicht blenden, weil er das Licht in alle möglichen Richtungen streut und auch einiges an Licht verschluckt. Es fällt deshalb nicht so viel Licht in mein Auge.



BAUANLEITUNG VISION TUBE

WICHTIG:

- Die Vision Tube muss komplett lichtundurchlässig sein!
- Kleines Loch und Querstange müssen sich auf einer Ebene befinden!



1. Schritt: Holzstange zuschneiden und mit weißem Isolierband abkleben.

2. Schritt: 9 mm Bohrung für Querstange und kleines Loch direkt oberhalb bohren.

3. Schritt: Holzstange mittig einkleben sowie Muffenstopfen und Gumminippel anbringen.

4. Schritt: Vision Tube schwarz gründlich abkleben, vor allem die Klebestelle der Querstange.

5. Schritt: Auf Lichtundurchlässigkeit prüfen.

Materialliste:

- ☐ Rundstange Holz $\varnothing = 8 \text{ mm}$, $l \approx 120 \text{ mm}$
- ☐ Abflussrohr $\varnothing = 40 \text{ mm}$, $l \approx 200 \text{ mm}$
- ☐ Muffenstopfen $\varnothing = 40 \text{ mm}$
- ☐ Gumminippel $\varnothing = 40 \text{ mm}$
- ☐ Weißes Isolierband
- ☐ Schwarzes Gewebeband

Kategorien für die Codierung

A - Experimentierphase:

Anliegen: Die Vorerfahrungen sollen als hilfreiche Ressource aufgegriffen werden und die gesammelte Erfahrung während des Experiments als wertvolles Fundament dienen. Die sokratischen Fragen initiieren in weiterer Folge als essentielle Anregung einen ersten Differenzierungsprozess.

Codierung: alle 7 Experimente getrennt sowie die erste Analyse.

- ++ a) Die Experimente gelingen, wobei eine Adaption in der Durchführung noch im Rahmen des Zulässigen ist. Zum Beispiel: Einsatz der Webcam, um eine gute Beobachtung sicher zu stellen.
- b) Die Erfahrungen der Experimente legen eine physikalische Perspektive nahe und helfen sie zu erarbeiten, auch wenn dies nicht auf Anhieb gelingt. Zum Beispiel: Da die Querstange leicht sichtbar ist, wenn das kleine Loch sich knapp oberhalb einer schwarzen Fläche befindet, ist daraus zu schließen: Auch schwarze Flächen senden Licht weiter, jedoch nicht so gut wie helle.
- c) Die sokratischen Fragen sind verständlich und führen trotz des ein oder anderen Umwegs, einer Neuformulierung oder dem Rückgriff auf Alltagskonzepte zum Erwartungshorizont. Das Gespräch erweckt trotz unplanmäßiger Ereignisse nicht den Eindruck, sich im Kreis zu drehen, sondern nähert sich vielmehr schrittweise dem Erwartungshorizont.
- + Einer der folgenden drei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Experimente gelingen nicht so gut, Schwierigkeiten können nur nach einem zweiten, alternativen Versuch behoben werden.
 - b) Die Erfahrung im Experiment in Bezug auf eine physikalische Perspektive wird nur durch einen expliziten Hinweis der Lehrperson erreicht. Zum Beispiel: Die Lehrperson muss den*die Schüler*in explizit darauf hinweisen, dass die Querstange sichtbar ist, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet, da der*die Schüler*in es nicht selbst erfassen kann.
 - c) Die sokratischen Fragen erreichen zwar ihr Ziel und führen zum Erwartungshorizont, erwecken dennoch den Eindruck, sich eher im Kreis zu drehen, haben leicht suggestiven Charakter oder die Antworten werden den Schüler*innen vorweggenommen.

- Einer der folgenden drei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Experimente gelingen nicht oder nur nach mehr als drei alternativen Versuchen.
 - b) Die Erfahrung im Experiment ist in Bezug auf eine physikalische Perspektive nicht eindeutig. Zum Beispiel: Die Querstange kann von der*die Schüler*in nicht als „rot beleuchtet wahrgenommen“, wenn sich das kleine Loch oberhalb einer roten Fläche befindet, obwohl er*sie darauf hingewiesen wird, dass es so sein müsste.
 - c) Die sokratischen Fragen haben stark suggestiven Charakter und die Lehrkraft legt dem*der Schüler*in dadurch die Antwort in den Mund oder die sokratischen Fragen werden trotz alternativem Angebot nicht verstanden.
- Zwei oder mehr der oben unter „-“ formulierten Aspekte treffen zu.

B - Zusammenfassung, Definition der Fachbegriffe und Kategorien

Anliegen: Die bisher gewonnenen Schlussfolgerungen der Experimentierphase werden aufgegriffen, um in einem weiteren Abstraktionsschritt die zentralen Fachbegriffe zu definieren.

Codierung: Die Abschnitte der zweiten Analyse und Zusammenfassung werden in drei Teilen getrennt voneinander codiert: Emission, Reflexion & Streuung sowie Absorption.

- ++ a) Die Schüler*innen können die Bedeutung der Fachbegriffe klar differenzieren. Zum Beispiel: Es für sie klar, dass Emission nur bei selbstleuchtenden Gegenständen beobachtet werden kann.
- b) Die Schüler*innen vollziehen einen weiteren Abstraktionsschritt und können, ausgehend von der Beschreibung der Einzelsituationen durch elementarisierte Begriffe, die zentralen Fachbegriffe definieren. Zum Beispiel: Ungerichtetes Weitersenden des Lichts von der Paperoberfläche wird in Zusammenhang mit Streuung gebracht, gerichtetes Weitersenden des Lichts vom Spiegel mit Reflexion.
- + Einer der folgenden zwei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Schüler*innen haben leichte Schwierigkeiten, die Bedeutung der Fachbegriffe klar zu differenzieren, schaffen dies jedoch mittels der ein oder anderen Hilfestellung weitestgehend selbst.

- b) Die Schüler*innen haben leichte Schwierigkeiten, die bisher gewonnenen Erfahrungen aufzugreifen, um den eben formulierten Abstraktionsschritt zu vollziehen. Durch Wiederholung des Erarbeiteten gelingt es ihnen jedoch.
- Einer der folgenden zwei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Schüler*innen haben größere Schwierigkeiten, die Bedeutung der Fachbegriffe klar zu differenzieren.
 - b) Der eben formulierte Abstraktionsschritt verläuft sehr holprig.
- Zwei der oben unter „-“ formulierten Aspekte treffen zu.

C - Anwendungsbeispiele

Anliegen: Die in der Experimentierphase gesammelte Erfahrung sowie die daraus erarbeiteten Fachbegriffe und Schlussfolgerungen sind dienlich, um die komplexe Situation der Anwendungsbeispiele zu analysieren und aus physikalischer Sicht richtig zu beschreiben.

Codierung: Die vier Anwendungsbeispiele werden getrennt codiert.

- ++ a) Obwohl die Schüler*innen eingangs auf Alltagskonzepte zurückgreifen, können sie diese im Rahmen eines sokratischen Gesprächs überwinden. Dabei greifen sie auf die bisher gesammelte Erfahrung sowie auf elementarisierte Begriffe oder Fachbegriffe zurück. Dadurch zeigen sie die grundsätzliche Fähigkeit des Konzeptwechsels, auch wenn dieser erst im Rahmen des Anwendungsbeispiels vollzogen wird.
- b) Dabei stellt sich die spezifische Erfahrung durch die Experimente sowie die daraus gewonnenen Schlussfolgerung als dienlich heraus und die Schüler*innen greifen von sich aus darauf zurück. Zum Beispiel: Da in der Vision Tube nachgewiesen wurde, dass nicht-selbstleuchtende Gegenstände ohne Licht nicht sichtbar sind, können diese keine eigene Leuchtkraft besitzen.
- + Einer der folgenden zwei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Schüler*innen haben leichte Schwierigkeiten, die Anwendungsbeispiele und die Impulse durch die sokratischen Fragen zu verstehen. Der Konzeptwechsel gestaltet sich eher langwierig, kann jedoch von den Schüler*innen großteils selbstständig vollzogen werden.

- b) Die Schüler*innen haben leichte Schwierigkeiten, die bisher gewonnenen Erfahrungen aufzugreifen, um den eben formulierten Abstraktionsschritt zu vollziehen. Durch Wiederholung des Erarbeiteten gelingt es ihnen jedoch.
- Einer der folgenden zwei Aspekte trifft zu:
 - a) Die Schüler*innen haben größere Schwierigkeiten, die Anwendungsbeispiele und die Impulse durch die sokratischen Fragen zu verstehen. Der Konzeptwechsel hat suggestiven Charakter, die Lehrkraft legt ihnen die Antworten in den Mund.
 - b) Schon erarbeitete Schlussfolgerungen können nicht aufgegriffen werden, Alltagskonzepte dominieren.
- Zwei der oben unter „-“ formulierten Aspekte treffen zu.

Erwartungshorizont sokratische Fragen

1. Experiment: Sichtbarkeit der Querstange

Je mehr Licht in das kleine Loch eintritt, umso besser ist die Querstange sichtbar.

1. Analyse: Unterschied selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Gegenstände

Selbstleuchtende Gegenstände: *Lampe, Sonne, Display, etc.*

Nicht-selbstleuchtende Gegenstände: *Querstange, Wolken, Mond, Papier, etc.*

2. Experiment: Verdunkelte Vision Tube

Wenn kein Licht in die Röhre eintritt, ist die Querstange nicht sichtbar. Nicht-selbstleuchtende Gegenstände müssen beleuchtet werden, damit sie sichtbar sind.

3. Experiment: Beleuchtung nicht-selbstleuchtender Flächen

Die Querstange ist sichtbar, da das weiße Blatt Licht in die Vision Tube sendet. Dies ist möglich, da es Licht von der Lampe empfängt und dieses in die Vision Tube weitersendet.

4. Experiment: Spiegel vs. weißes Blatt

Der Spiegel kann einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen. Dies ist möglich, da er das Licht gerichtet weitersendet. Das weiße Blatt Papier kann das Licht zwar auch weitersenden, jedoch nicht so gut und nur ungerichtet.

5. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche I

Auch die schwarze Fläche kann Licht weitersenden, jedoch nicht so gut wie die weiße. Je heller die Oberfläche ist, umso besser kann sie Licht weitersenden.

6. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche II

Das nicht weitergesendete Licht wird von der dunklen Oberfläche verschluckt, weshalb sie sich erwärmt. Die Energie des Lichtes verbleibt nicht auf der Oberfläche, sie wird in Form von Wärmestrahlung abgegeben.

7. Experiment: Zurücksenden von unterschiedlichen Farbflächen

Auch farbige Flächen verschlucken Licht. Sie senden Licht, welches ihrer eigenen Farbe entspricht, weiter und verschlucken die anderen Anteile des weißen Lichts.

2. Analyse & Zusammenfassung

Emission (lateinisch *emittere* = Aussenden) beobachte ich... *bei selbstleuchtenden Gegenständen, z. B. bei der Lampe oder der Sonne.*

Reflexion (lateinisch *reflexio* ≈ Zurücksenden) beobachte ich... *bei nicht-selbstleuchtenden Gegenständen, z. B. beim Spiegel.*

Streuung (≈ in alle Richtungen verteilen) beobachte ich... *bei nicht-selbstleuchtenden Gegenständen, z. B. beim weißen Blatt Papier.*

Der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung liegt im... *gerichteten und ungerichteten Weitersenden.*

Reflexion und Streuung haben gemeinsam, ... *dass die Gegenstände Licht empfangen müssen, damit sie dieses weitersenden können.*

Absorption (lateinisch *absorptio* = Aufsaugen) beobachte ich... *wenn bei dunklen und farbigen Flächen Licht verschluckt wird.*

Ein Spezialfall: Finsternis in deinem Alltag

Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass... *nur noch wenig Restlicht vorhanden ist. Es ist sehr schwer, einen Ort absolut zu verdunkeln.*

Umrisse sehen wir, weil... *helle Oberflächen das Restlicht besser weitersenden können als dunkle.*

Die Funktionsweise deines Auges

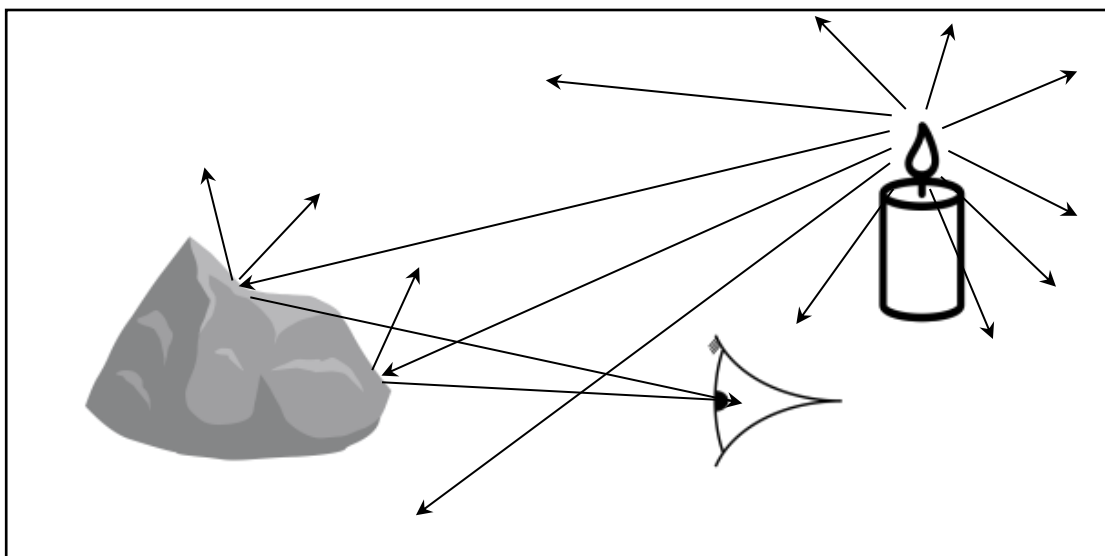
Unser Auge ist ein passives Sinnesorgan. Um zu sehen, ist darauf angewiesen, Licht von Gegenständen zu empfangen. Dabei lässt die Pupille Licht in das Auge, ähnliche

wie das kleine Loch der Vision Tube. Die Netzhaut empfängt das Licht und besitzt Sensoren, um das Licht zu messen, ähnlich wie die Querstange der Vision Tube.

Ein Anwendungsbeispiel: Mond und Äpfel im Sonnenlicht

Die Sonne steht im linken oberen Eck, auf dieser Seite sind die Äpfel und der Mond am besten beleuchtet. Deshalb ist ihre Beleuchtungssituation auch identisch. Jedoch kann man nur die Schattenseite der Äpfel sehen. Dies liegt daran, dass diese von der Umgebung, also den Blättern des Baumes, beleuchtet wird.

Ein Anwendungsbeispiel: Die Lichtausbreitung einer Kerze



Der Spiegel kann mich nur blenden, wenn das gerichtet weitergesendete Licht direkt in mein Auge fällt. Der Stein kann mich nicht blenden, weil er das Licht in alle möglichen Richtungen streut und auch einiges an Licht verschluckt. Es fällt deshalb nicht so viel Licht in mein Auge.

FRAGEBOGEN – PERSÖNLICHE DATEN

Name: _____ *Alter:* _____

Aktuelle Schulstufe: _____

Aktuelle Schule: _____

Interessiert dich Physik?

sehr ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ gar nicht

Magst du es Experimente durchzuführen?

sehr ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ gar nicht

Was erwartest du dir von dem heutigen Workshop?

FRAGEBOGEN - FEEDBACK

Name: _____

Wie haben dir die Experimente gefallen?

sehr gut ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ gar nicht

Glaubst du, die Inhalte der Experimente verstanden zu haben?

Sehr gut ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ gar nicht

Fandest du es interessant, dir im Anschluss an die Experimente Gedanken zu machen und zu versuchen, auf die Gesetze der Physik selber drauf zu kommen?

interessant ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ nicht interessant

Was fandest du am interessantesten/besten? Begründe deine Antwort!

Was fandest du am langweiligsten/schlechtesten? Begründe deine Antwort!



Warum können wir Dinge sehen?

Experimente im Bereich der Optik zum Sehvorgang

Die Vision Tube



1. Experiment

Betrachte die Querstange unter verschiedenen Lichtsituationen und versuche deine Beobachtung in Bezug auf die **Sichtbarkeit der Querstange** zu analysieren.

- *Wie beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung?*
- *Unter welcher Bedingung ist die Querstange besser oder schlechter sichtbar?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

1. Analyse

Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine wichtige Rolle:

selbstleuchtende und *nicht-selbstleuchtende* Gegenstände.

- *Welche Beispiele aus dem Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beiden Kategorien anführen?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

2. Experiment

Halte als nun das **kleine Loch zu** und beobachte die Querstange!

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*
- *Was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nicht-selbstleuchtenden Gegenständen daraus schließen?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

3. Experiment

Nun wollen wir **nicht-selbstleuchtende Gegenstände** näher untersuchen! Halte das kleine Loch knapp über das beleuchtete Papier.

- *Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*
Wir wissen bereits: Für die Sichtbarkeit der Querstange muss Licht in die Vision Tube gelangen. Nicht-selbstleuchtende Gegenstände können jedoch kein Licht von sich aussenden!
 - *Tipp: Versuche, den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen von Licht zu beschreiben.*
- ⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

4. Experiment

Untersuche nun das Zurücksenden unterschiedlicher Flächen. Sende Licht nun von einem **Spiegel** und dann von einem **weißen Blatt Papier** in die Vision Tube.

- *Mit welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen?*
- *Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht bei dem Experiment?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

5. Experiment

Vergleiche nun das **weiße Blatt Papier** mit der **schwarzen Oberfläche** in Bezug auf das Empfangen und Zurücksenden!

- *Ist die Querstange noch sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?*
- *Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden?*
- *Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden des Lichtes?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

6. Experiment

Dunkle Flächen können Licht nicht so gut zurücksenden.

- *Was geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird?*
- *Welche der beiden Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?*
- *Beschreibe die Vorgänge von Beleuchten, Erwärmen und Zurücksenden bei hellen und dunklen Flächen.*

Tipp: Greife neben Senden und Empfangen auch auf den Begriff Verschlucken zurück.

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

7. Experiment

Nun wollen wir farbige Oberflächen untersuchen. Vergleiche das Zurücksenden von Licht **unterschiedlichen Farbflächen**.

- *Was kannst du an der Querstange beobachten?*
- *Welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang?*

⇒ Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt!

2. Analyse & Zusammenfassung

Versuche nun folgende Fachbegriffe zu definieren, indem du auf deine Beobachtung zurückgreifst. Beziehe dich dabei auch auf die unterschiedlichen Situationen in den Experimenten und die Funktion von selbstleuchtenden & nicht-selbstleuchtenden Gegenständen.

- *Emission* (lateinisch *emittere* = *Aussenden*) beobachte ich...
- *Reflexion* (lateinisch *reflexio* ≈ *Zurücksenden*) beobachte ich...
- *Streuung* (≈ in alle Richtungen verteilen) beobachte ich...
- Der *Unterschied* zwischen *Reflexion* und *Streuung* liegt in...
- *Absorption* (lateinisch *absorptio* = *Aufsaugen*) beobachte ich...

Name: _____

Datum: _____

Warum können wir Dinge sehen?

Wir wollen uns heute fragen, unter welchen Voraussetzungen Gegenstände für unser Auge sichtbar sind. Bitte führe deine Beobachtungen so genau wie möglich durch und versuche im Anschluss, die Fragen so präzise wie möglich zu beantworten.

Die Vision Tube

Die Vision Tube ist ein Rohr, welches so gebaut ist, dass Licht nur durch ein kleines Loch eintreten kann. Durch die große Öffnung kannst du die Querstange betrachten. Je nachdem in welche Richtung das kleine Loch zeigt, gelangt unterschiedlich viel Licht in die Vision Tube.



1. Experiment: Sichtbarkeit der Querstange

1. Analyse: Unterschied selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Gegenstände

Selbstleuchtende Gegenstände	Nicht-selbstleuchtende Gegenstände
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

2. Experiment: Verdunkelte Vision Tube

3. Experiment: Beleuchtung nicht-selbstleuchtender Flächen

4. Experiment: Spiegel vs. weißes Blatt

5. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche I

6. Experiment: weißes Blatt vs. schwarze Oberfläche II

7. Experiment: Zurücksenden von unterschiedlichen Farbflächen

2. Analyse & Zusammenfassung

Emission (lateinisch *emittere* \approx Aussenden) beobachte ich _____

Reflexion (lateinisch *reflexio* \approx Zurücksenden) beobachte ich _____

Streuung (\approx in alle Richtungen verteilen) beobachte ich _____

Der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung liegt im _____

Reflexion und Streuung haben gemein, dass _____

Absorption (lateinisch *absorptio* \approx Aufsaugen) beobachte ich _____

Ein Spezialfall: Finsternis in deinem Alltag

Die Sonne ist untergegangen und der Mond ist nicht sichtbar. Auch hast du deine Taschenlampe vergessen. Dennoch kannst du deine Umgebung in unterschiedlichen Grautönen sehen und die Umrisse erkennen. Beurteile die Aussagen:

In dieser Situation gibt es keine Lichtquellen. Die Gegenstände leuchten von sich aus. Die helleren Gegenstände besitzen eine eigene Leuchtkraft.

Auch in der Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht vorhanden ist, können die Umrisse nicht gesehen werden.

Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass _____

Umrisse sehen wir, weil _____

Die Funktionsweise deines Auges

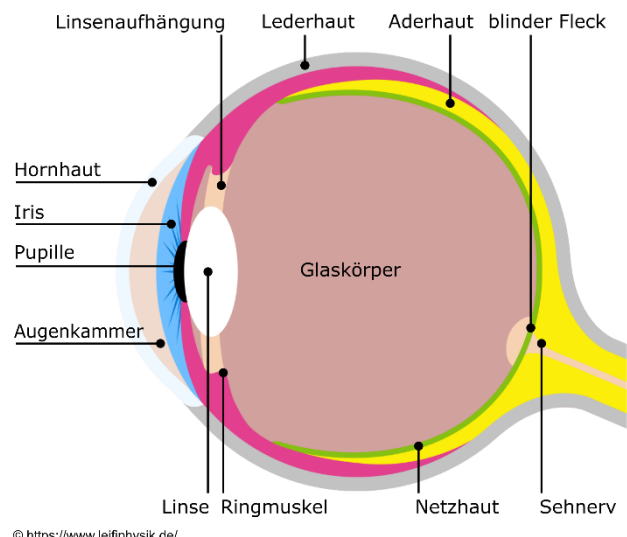
Bei den Experimenten und Beispielen ging es um die Frage, unter welcher Bedingung du etwas sehen konntest. Die Funktionsweise deines Auges haben wir jedoch noch nicht besprochen. Beurteile nun die Richtigkeit der folgenden Aussagen:

- 1) *Dein Auge ist ein aktives Organ. Von ihm geht ein Sehstrahl aus, welcher Sichtbares abtastet.*
- 2) *Um einen Blick durchs Fenster zu werfen, muss mein Auge aktiv den Sehstrahl durch das Fenster schicken.*
- 3) *Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen.*
- 4) *Das Auge ist ein passives Organ, es kann keinen Sehstrahl absenden.*

1. Tipp: Betrachte die untere Grafik und überlege, was die Funktion der Netzhaut sein könnte. Welche Bestandteile sind im Modell des Auges der Vision Tube ähnlich?

2. Tipp: Überlege dir, warum du nicht gut riechen kannst, wenn deine Nase verstopft ist.

Die Funktionsweise unseres Auges:



Ein Anwendungsbeispiel: Mond und Äpfel im Sonnenlicht

Betrachte nun das Bild, in welchem Äpfel am Baum hängen und im Hintergrund der Mond zu sehen ist. Analysiere die Situation. Verwende, was du schon weißt und beantworte die Fragen.

In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne?

Inwiefern sind die Beleuchtungssituation des Apfels und des Mondes gleich?

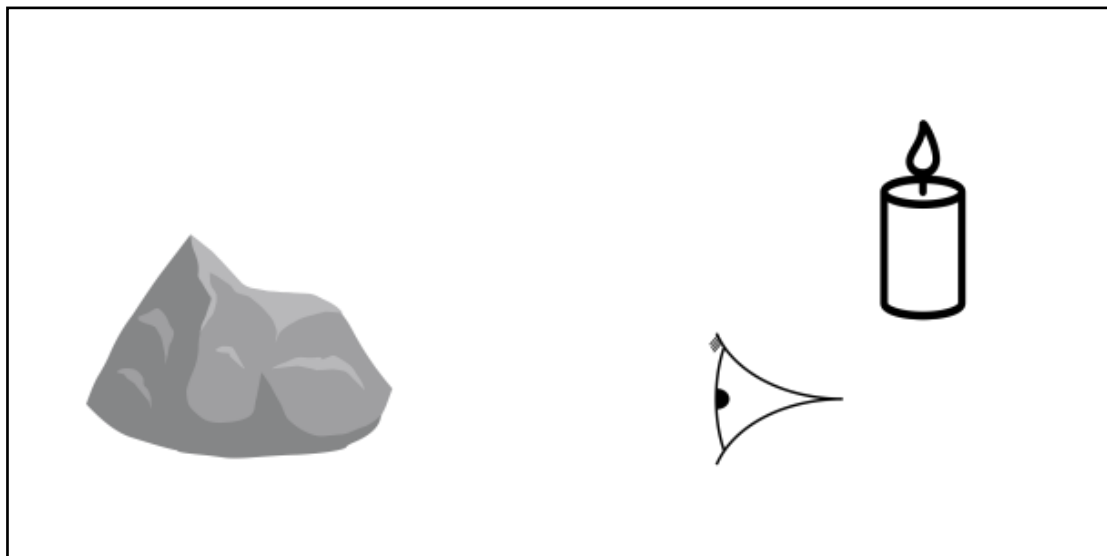
Warum ist die Schattenseite des Apfels sichtbar, welche Rolle spielt dabei die Umgebung?

Ein Anwendungsbeispiel: Die Lichtausbreitung einer Kerze

Licht hat bei all deinen Beobachtungen eine Rolle gespielt! In dem unten angeführten Beispiel hast du eine Kerze, einen Stein und das Auge dargestellt.

In welche Richtungen breitet sich das Licht aus?

Stelle den Weg des Lichts mithilfe von Linien und Pfeilen dar!



Stell dir statt dem Stein einen Spiegel vor! Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel dich blenden? Wieso kann der Stein dich nicht blenden? Vergleiche und beschreibe beide Vorgänge in Bezug auf das Senden, Empfangen, Rücksenden und Verschlucken von Licht!

Transkription der Unterrichtseinheiten

Die Darstellung bedient sich folgenden Zeichen, welche gegebenenfalls die reguläre Interpunktion ergänzen:

?	steigende Intonation	(x sec)	ab 5 sec, Pause von x sec
!	Ausruf, Emphase	...	Satz unterbr./nicht beendet
.	abfallende Intonation	genAU	Hervorhebung Silbe/ Wort
,	halbsteigende Intonation	(?erstmal)	unsichere Transkription
()	Kommentar allgemein	(?...)	unverständliche Passage
(.)	kurze Pause	<lachend>	Kommentar bzw. nonverbale Handlung
(..)	längere Pause		

1. Unterrichtseinheit mit Tabea

- 1 00 min 00 s - 03 min 42 s: Die Unterrichtseinheit beginnt, die Vision Tube wird vorgestellt. Dabei wird
2 auf die einzelnen Elemente kleines Loch, Querstange und große Öffnung eingegangen. Auch auf die
3 Bauweise bzw. durch welche Elemente die Lichtundurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die
4 Tatsache, dass das Licht rechtwinkelig zur Sichtachse einfällt. Im Anschluss wird das Arbeitsblatt
5 hergezeigt und beschriftet.
- 6 Tabea liest den ersten Absatz des Arbeitsblattes vor. Das Wort präzise wird in einfachen Worten mit
7 "so genau wie möglich" erklärt. Der Lehrer erklärt den Aufbau der Materialien, den Zusammenhang
8 zwischen den Inputs der Folien, dem Experimenten und dem Arbeitsblatt. Die Aufgabenstellung des
9 1. Experiments wird vom Lehrer vorgelesen. Zusätzliche Erklärungen zum Einsatz werden gegeben,
10 d. h. wie die Vision Tube für unterschiedliche Beobachtungen gehalten werden muss.
- 11 *Lehrer: Jetzt kannst du einmal schauen, was passiert, wenn du die Tube in diese Richtung drehst,*
12 *oder wenn du das kleine Loch direkt unter die Lampe hältst. <Tabea experimentiert.> Ist es anders?*
- 13 *Tabea: Ja.*
- 14 *Lehrer: Schau und jetzt geb ich die Hand drüber. Wie ist es jetzt?*
- 15 *Tabea: Wieder anders.*
- 16 *Lehrer: Und geh mal damit zum Fenster. <Tabea experimentiert.> Und?*
- 17 *Tabea: Es ist wieder anders.*
- 18 *Lehrer: Wieder ein bisschen anders.*
- 19 *Tabea: Wieder ein bisschen ein anderes Licht.*
- 20 *Lehrer: Ja, wieder ein bisschen ein anderes Licht. OK, und jetzt haben wir hier zwei Fragen. Wie*
21 *beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung? Unter welcher Bedingung ist die Querstange*
22 *besser oder schlechter sichtbar? Wie würdest du es sagen?*
- 23 *Tabea: Also man sieht die Stange besser, wenn es beim Licht ist, weil, ähm, wenn kein Licht ist, dann*
24 *ist es einfach schwarz.*
- 25 *Lehrer: Hmhm. Und wenn wenig Licht ist?*
- 26 *Tabea: Wenn wenig Licht ist, dann sieht man es nur ganz, so, nur ganz wenig. Nicht so stark.*
- 27 *Lehrer: OK! Dann schreiben wir das auf. Wie würdest du das dann auf, ähm ansagen?*
- 28 *Tabea: Je mehr Licht, desto besser kann man die Stange sehen.*
- 29 *Lehrer: Ganz genau, perfekt. (15 sec) <Tabea schreibt den Satz auf.> So und jetzt haben wir (.)*
30 *Jaaaaah, äh, eine erste Analyse die wichtig ist. Wir machen Experimente und wir analysieren. Und wir*
31 *tun anwenden. Ja. Ähm. Da steht die Aufgabe. Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine*

32 wichtige Rolle: selbstleuchtende und nichtselbstleuchtende Gegenstände. Welche Beispiele aus dem
 33 Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beiden Kategorien anführen?

34 Tabea: Ähm, vielleicht eine Lampe.

35 Lehrer: Vielleicht eine Lampe, ja. Ist das selbstleuchtend?

36 Tabea: Ja. Oder (.) die Sonne?

37 Lehrer: Die Sonne, hmhm. <Tabea notiert alle Beispiele.>

38 Tabea: Vielleicht der Handybildschirm?

39 Lehrer: Handybildschirm? Super! (10 sec) Kann der Bildschirm alleine auch in der Nacht leuchten,
 40 gell?

41 Tabea: Jaaa.

42 Lehrer: Da muss man gar nicht die Taschenlampe anmachen oder.

43 Tabea: Oder die Taschenlampe.

44 Lehrer: Aber der Bildschirm alleine reicht auch. Und die Taschenlampe. Genau.

45 Tabea: Und nichtselbstleuchtend ist (.) ähm (.) das Papier.

46 Lehrer: Das Papier. Hmhm ja.

47 Tabea: Eigentlich fast alles.

48 Lehrer: <lacht>

49 Tabea: Die Wand.

50 Lehrer: Und bei der Röhre jetzt, zum Beispiel?

51 Tabea: Die Stange.

52 Lehrer: Die Querstange, ganz genau. <Tabea notiert die Beispiele parallel.>

53 Tabea: Und der Sessel.

54 Lehrer: Der Sessel. Genau. Also fast alles. Das hast du eigentlich gut gesagt. Ja. OK, passt.
 55 Wunderbar, zweites Experiment. Und jetzt schau rein, halts unter die Lampe. Und jetzt ein bissl weg.
 56 Und jetzt halts zu. Ja, fest zu halten. (..) <Tabea experimentiert.> Kannst du was sehen?

57 Tabea: Ganz wenig kann ich nur noch sehen von der Stange.

58 Lehrer: Und wie schaut das aus?

59 Tabea: Es ist eigentlich alles schwarz. Und dann ist so ein ganz kleiner Punkt.

60 Lehrer: Aha. Und jetzt? Pass auf. (..) Und welche Farbe hat das?

61 Tabea: So gelblich. Aber es war wahrscheinlich weiß.

62 Lehrer: Schau noch mal genau durch, ja. Und jetzt? <Haltet das Loch selbst zu.>

63 Tabea: Und jetzt seh ich gar nichts mehr.

64 Lehrer: Gar nichts mehr?

65 Tabea: Das war wegen, nur wegen dem Finger wahrscheinlich, weil ich das nicht gefunden habe,
 66 wahrscheinlich. <lacht>

67 Lehrer: Das heißt, wenn das zu ist... Wie kannst du die Beobachtung erklären?

68 Tabea: Wenn das Loch zu ist, dann kann man nichts sehen, weil kein Licht reinkommt.

69 Lehrer: Genau. Und wenn da steht, was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von
 70 nichtselbstleuchtenden Gegenständen schließen?

71 Tabea: Ich verstehe die Frage nicht ganz.

72 Lehrer: OK. Das ist ein wichtiger Hinweis. Ähm. Unter welcher Bedingung kann man
73 nichtselbstleuchtende Gegenstände sehen? Was sagt dir dieses Experiment?

74 Tabea: Ah, man braucht Licht, dass man etwas sehen kann.

75 Lehrer: Ganz genau.

76 Tabea: OK.

77 Lehrer: Also, schreiben wir hin. Wie kannst du deine Beobachtung erklären? Wird das kleine Loch
78 zugehalten... und so weiter und so fort. (30 sec) <Tabea schreibt auf.> Genau. Wann kannst du nicht
79 sch... nicht... das ist ein langes Wort, gell?

80 Tabea: Hmhm

81 Lehrer: Wann kannst du nicht..., nichtselbstleuchtende Gegenstände sehen?

82 Tabea: Wenn Licht draufscheint.

83 Lehrer: Ganz genau. Nichtselbstleuchtende Gegenstände kann man sehen, wenn bababa. (30 sec)
84 <Tabea schreibt auf.>

85 Tabea: Wenn Licht draufscheint?

86 Lehrer: Hmhmm. (15 sec) <Tabea schreibt auf.> Probier noch einmal zu schauen, wenn manchmal,
87 wenn du den Finger draufhältst und das Licht sehr stark ist, dann siehst du die Querstange ein
88 bisschen rötlich. <Tabea experimentiert.> Warte, gib mir dein Finger, jetzt ist es da. Siehst du es ein
89 bisschen rötlich? (..)

90 Tabea: Ja, ganz ein bisschen.

91 Lehrer: JA. Ganz ein bisschen. Wie kannst du dir den das erklären, dass es leicht rötlich ist...

92 Tabea: ...öhm...

93 Lehrer: ...wenn der Finger oben ist?

94 Tabea: Weil, wenn das Licht auf den Finger scheint, dann sieht man so das Blut und alles.

95 Lehrer: Ganz genau. Das geht durch deinen Finger durch, das ganze Licht. <Tabea lacht.> Und das
96 Blut färbt das Licht ein bisschen rötlich. Ist komisch.

97 Tabea: Jaaa.

98 Lehrer: Aber wenn man das mit einem anderen Ding macht, mit dem zum Beispiel. Da, kannst
99 schauen. Wenn man den Radiergummi draufgibt.

100 Tabea: Dann sieht man gar nichts.

101 Lehrer: Dann sieht man gar nichts. Da geht gar nichts hinein. Ganz genau. Super. 3. Experiment. Nun
102 wollen wir nichtselbstleuchtende Gegenstände näher untersuchen! (..) Halte das kleine Loch knapp
103 über das beleuchtete Papier. Jetzt machen wir das so, schau. Wir legen hier ein Papier hin, ja, das
104 weiße.

105 Tabea: Hmhm.

106 Lehrer: Und jetzt müssen wir das so machen, dass das kleine Loch, so bissel, so schief ist, ja. <Damit
107 das Licht unter einem Winkel eintreten kann.>

108 Tabea: Hmhmm.

109 Lehrer: Jetzt zeigt nur nach unten. Jetzt kann das Licht nicht da rein direkt. Ja. Aber das kleine Loch
110 zeigt in Richtung weißes Papier. Du kannst ein bisschen nach hinten rutschen...

111 Tabea: Das Papier reflektiert. (..) <Tabea blickt erst jetzt in die Vision Tube.>

112 Lehrer: Was siehst du?

113 Tabea: Die Stange ist weiß, weil das, das Licht so reflektiert wird.

114 Lehrer: Das Papier. Ganz genau.

115 Tabea: Das ist auch, wenn man in der Sonne sitzt und liest, dann tut das in den Augen weh, wenn
116 man so direkt in der Sonne sitzt, weil das blendet dann in den Augen.

117 Lehrer: Das blendet. Ganz genau. Super. Perfekt. Dann schreiben wir das auf. Ähm (..) Das heißt...
118 (..) Wie kommt das Licht in die Vision Tube hinein? Wie würdest du das beschreiben?

119 Tabea: Durch die Reflexion des Papiers.

120 Lehrer: Hmhmm. Ganz genau. Durch Reflexion des Papiers... (35 sec) <Tabea schreibt auf.> Genau.
121 Woher kommt das Licht?

122 Tabea: Von der Lampe?

123 Lehrer: Hmhmm.

124 Tabea: Also von einem selbstleuchtenden Gegenstand.

125 Lehrer: Hmhmm. Und wenn wir jetzt, ähm, die Begriffe senden und empfangen, (..) miteinander wollen
126 in der Erklärung? Was sendet Licht aus, was empfängt Licht?

127 Tabea: Diese, ähm. Ein selbstleuchtender Gegenstand sendet Licht aus und die nicht, die nicht
128 leuchtenden, nichtselbstleuchtenden Gegenstände, die nehmen es an...

129 Lehrer: ... empfangen Licht, ja...

130 Tabea: ... empfangen Licht.

131 Lehrer: Und bleibt das dann da oben, da, oder? <Zeigt auf das Papier.>

132 Tabea: Je nachdem, ob man das Licht an oder aus hat.

133 Lehrer: Ja, also wir haben... Also in dem konkreten Beispiel. Die Lampe ist da, das Papier ist da. Und
134 du hast gesagt, die Lampe sendet Licht aus...

135 Tabea: Und bei dem Papier bleibt es die ganze Zeit.

136 Lehrer: Hmhmm.

137 Tabea: So lange es unter dem Licht ist.

138 Lehrer: Bleibt das dann da oben (.), liegen?

139 Tabea: Nein.

140 Lehrer: Nein! Sondern?

141 Tabea: Es reflektiert.

142 Lehrer: Genau. Es wird zurückgesendet. Kann man so sagen, oder?

143 Tabea: Ja.

144 Lehrer: Es empfängt und sendet zurück.

145 Tabea: Ja.

146 Lehrer: Also, das können wir auch hinschreiben. Das Papier empfängt das Licht... (15 sec) <Tabea
147 schreibt auf.>

148 Tabea: ...und schickt es weiter.

149 Lehrer: Und schickt es (.) ZURÜCK. Ja. Oder sendet es zurück, ja. Da ist ein kleiner Tipp. Verwenden
150 wir die Begriffe senden und empfangen, das ist ganz hilfreich... und schickt bzw. sendet das Licht
151 zurück. Aber das ist nicht so wichtig schicken oder senden. Aber die Lampe die sendet das aus.

152 Tabea: Ja.

153 *Lehrer: Ganz genau. Perfekt, super. So 4. Experiment. So, jetzt haben wir das da so, ja. (..) <Bereitet*
 154 *das Experiment mit dem weißen Blatt und dem Spiegel vor.> (..) Und jetzt vergleichen wir. Wenn wir*
 155 *jetzt hier zum Beispiel. Also, dann halten wir das so. <Es wird eine geeignete Betrachtungsmöglichkeit*
 156 *gesucht.> Und jetzt, versuch das gerade zu halten. Das ist ein bisschen niedrig hier. Aber warte kurz,*
 157 *schau. (..) Und jetzt geb ich diesen Spiegel so drunter. Ja. Und sag mir, wann der Spiegel drunter ist.*
 158 *(10 sec) <Tabea experimentiert.>*

159 *Tabea: Jetzt.*

160 *Lehrer: Jetzt?*

161 *Tabea: Ja.*

162 *Lehrer: Und was siehst du?*

163 *Tabea: Da ist gelbes Licht.*

164 *Lehrer: Gelb?*

165 *Tabea: Und so weißes.*

166 *Lehrer: Wie würdest du den Unterschied zwischen jetzt (.) und (.) jetzt beschreiben? <Positioniert*
 167 *einmal den Spiegel und einmal das weiße Blatt unter die Vision Tube.>*

168 *Tabea: Also, es ist so ein gelber Punkt auf der Stange gewesen.*

169 *Lehrer: Wenn?*

170 *Tabea: Wenn der Spiegel drunter war.*

171 *Lehrer: Ganz genau.*

172 *Tabea: Weil er die Farbe reflektiert.*

173 *Lehrer: Ganz genau.*

174 *Tabea: Und da wird nur das Licht reflektiert.*

175 *Lehrer: Ok?*

176 *Tabea: Weil das Papier ist weiß. Es ist wie wenn man (?...)*

177 *Lehrer: Hmhm, das Papier ist weiß, und der Spiegel?*

178 *Tabea: Der reflektiert die Farbe, die, des Lichtes.*

179 *Lehrer: Und das Licht hat welche Farbe hier?*

180 *Tabea: Gelb.*

181 *Lehrer: Bissl gelblich. Hmhm. Ja, ganz leicht. Ja. <Es wird eine klassische Glühbirne verwendet.>*
 182 *Aber der wesentliche Unterschied. Ähm. Ist auch, bei dem einen kommt ein Punkt zustande. Das hast*
 183 *du auch gesagt, oder?*

184 *Tabea: Ja.*

185 *Lehrer: Und bei, und wenn dann das Papier ist.*

186 *Tabea: Dann kommt kein (?...) dann hat alles die gleiche Farbe. <Bezieht sich auf die gesamte Fläche*
 187 *der Querstange.>*

188 *Lehrer: Dann ist es überall gleichmäßig beleuchtet. Ganz genau.*

189 *Tabea: Ja.*

190 *Lehrer: Also, da steht. Mit welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Punkt, einen Lichtpunkt*
 191 *auf der Querstange erzeugen? Das hast du selber gesagt. Mit dem Spiegel (.) erzeuge ich (..)...*

192 *Tabea: ...also soll ich jetzt schreiben, mit dem Spiegel erzeuge ich und dann...*

193 *Lehrer: ... und dann lesen wir uns noch gleich die zweite Frage durch. Welche Rolle spielt das*

194 *gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht bei dem Experiment? (8 sec) <Tabea überlegt.>*
 195 *Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden?*

196 *Tabea: Hmhm? (..) Das gerichtete ist (..) ich versteh nicht ganz die Frage. Also. Was jetzt ich genau*
 197 *sagen soll. Wegen dem Papier oder wegen dem...*

198 *Lehrer: Na ja, aber, hmhmm. Gerichtetes zurücksenden heißt, dass das Zurücksenden in eine*
 199 *Richtung geht. Ja. Geordnet geht. Und ungerichtet heißt...*

200 *Tabea: ... das ist irgendwie...*

201 *Lehrer: ... das ist irgendwie. In alle verschiedene Richtungen...*

202 *Tabea: ...also zum Beispiel, dass das Papier das gerichtete und der Spiegel ungerichtete Licht ist,*
 203 *oder?*

204 *Lehrer: So was in die Richtung. Aber was glaubst du gehört zu welchem? Ja. Welche der beiden*
 205 *Oberflächen kann das Licht gerichtet zurücksenden.*

206 *Tabea: Ah, der Spiegel.*

207 *Lehrer: Der Spiegel, ganz genau. Schau, wenn ich das so mach, ja, und da hergeh, siehst du, dann ist*
 208 *genau, dann ist da der Punkt genau da. Siehst du? <Beleuchtet mit dem Spiegel den Schattenbereich*
 209 *einer Kante an der Decke des Raumes.>*

210 *Tabea: Ja.*

211 *Lehrer: Dann kann ich das richten.*

212 *Tabea: Und bei dem Papier ist es einfach.*

213 *Lehrer: Und hier mit dem Papier. Siehst du das da, oben an der Kante <Beleuchtet mit dem Papier*
 214 *den Schattenbereich hinter einer Kante auf der Decke des Raumes.> Siehst du, wie sich die Helligkeit*
 215 *ändert?*

216 *Tabea: Ja.*

217 *Lehrer: Aber es ist kein Lichtpunkt. Gell?*

218 *Tabea: Nein.*

219 *Lehrer: Aber ich schick da auch Licht hin. Schau, wenn das weg ist.*

220 *Tabea: Ja.*

221 *Lehrer: Dann ist nix. Und jetzt. Ist ein bisschen was.*

222 *Tabea: Ein bisschen was.*

223 *Lehrer: Und es geht überall hin. Ja. Das kann man gut sehen. Ja. Also schreiben wir auf. Wie würdest*
 224 *du das schreiben. Mit dem Spiegel...*

225 *Tabea: ...mit dem Spiegel (..)*

226 *Lehrer: In Bezug auf gerichtetes und ungerichtetes Zurücksenden. (..)*

227 *Tabea: Also von der zweiten Frage.*

228 *Lehrer: Hmhm.*

229 *Tabea: Mit dem Spiegel kann man ein gerichtetes Licht senden. (..)*

230 *Lehrer: Mit dem Spiegel kann man das Licht gerichtet zurücksenden.*

231 *Tabea: Ah. (35 sec) <Tabea schreibt auf.>*

232 *Lehrer: Hmhm. Es erzeugt einen Lichtpunkt. Haben wir auch schon gesagt...*

233 *Tabea: Soll ich aufschreiben?*

234 *Lehrer: Ja, schreiben wir das auf. ...er erzeugt einen Lichtpunkt.*

235 Tabea: Ja. (25 sec) <Tabea schreibt auf.>

236 Lehrer: Hmhmm. Und ungerichtetes Zurücksenden beim weißen Papier, oder?

237 Tabea: Ja.

238 Lehrer: Schreiben wir das weiße Papier...

239 Tabea: ... mit dem weißen Papier, oder?

240 Lehrer: Hmhmm.

241 Tabea: Der gleiche Satz nur mit dem Papier.

242 Lehrer: Ja. Wie würdest ihn sagen, den Satz?

243 Tabea: Mit dem weißen Papier kann man das Licht ungerichtet senden.

244 Lehrer: Hmhmm. (30 sec) <Tabea schreibt auf.> Gut. Jetzt mach ma das Gleiche. Wir tun ein
 245 bisschen analysieren. So geht man in der Wissenschaft oft vor. Man hat eine Fragestellung und
 246 vergleicht verschiedene Sachen. Ja, jetzt haben wir den Spiegel verglichen mit dem weißen Blatt.

247 Tabea: Ja.

248 Lehrer: Und jetzt werden wir das weiße Blatt mit dem Schwarzen, vergleichen.

249 Tabea: Hmhmm.

250 Lehrer: Ja.

251 Tabea: Wir könnten das direkt mit dem Tisch machen.

252 Lehrer: Das könnten wir direkt mit dem Tisch machen. Das hab ich mir auch gedacht. Wir haben ein
 253 Glück, dass der Tisch schwarz ist.

254 Tabea: <lacht>

255 Lehrer: Aha. Ok. Und jetzt halten wir das wieder so hin, ja. (..) Knapp drunter. Ja. Achte auf die
 256 Beobachtung. Das weiße Blatt ist drunter. Jetzt zieh ich es weg. Und jetzt?

257 Tabea: Jetzt ist es dunkel.

258 Lehrer: Es ist dunkel. Siehst du noch was?

259 Tabea: Ja. Ja, man sieht da ein bisschen, bei dem Loch ganz wenig.

260 Lehrer: Hmhmm. <Schiebt das weiße Blatt darunter.>

261 Tabea: Und jetzt sieht man wieder etwas.

262 Lehrer: <Zieht das weiße Blatt weg.> Und jetzt, siehst du da beim Loch ganz wenig. Und auf der
 263 Stange?

264 Tabea: Und auf der Stange gar nichts, aber beim Loch ein bisschen was.

265 Lehrer: Beim Loch ein bisschen. Und schau. Ziemlich genau auf die Stange. Ja. Mit der Zeit wird sich
 266 dein Auge auch...

267 Tabea: Ah ja. Oben bei der Stange sieht man auch ein bisschen was.

268 Lehrer: Aber.

269 Tabea: Auf der Oberseite.

270 Lehrer: Aha. Ist es stark oder ist es schwach?

271 Tabea: Es ist schwach.

272 Lehrer: Hmhmm. Schau noch mal ganz genau. Hmhmm. Jetzt können wir es noch mal gut
 273 vergleichen. Es ist sehr schwach. (..) Schau ganz gut hin. <Schiebt das weiße Blatt darunter.> Und
 274 jetzt?

275 Tabea: Ist wieder starkes Licht.

276 Lehrer: Ja, und jetzt geb ich das Blatt weg.

277 Tabea: Das ist noch leichtes Licht an der ganzen Stange.

278 Lehrer: Licht an der ganzen Stange. Aber man sieht die Stange ein bissl oder nicht?

279 Tabea: Ja, schon.

280 Lehrer: Schon ein bisschen, ja. (..) Jetzt ist die Frage, ist die Querstange ähnlich gut sichtbar?

281 Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden des Lichtes. Was würdest

282 du sagen?

283 Tabea: Hmhmm. (8 sec) Ähm. Ich verstehe die Frage nicht so ganz.

284 Lehrer: OK. Gehen wir zur zweiten Frage vielleicht zuerst. Ja. Ist die Querstange noch sichtbar, wenn

285 das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?

286 Tabea: Ja, aber, aber nur noch leicht.

287 Lehrer: Hmhmm. Dann schreiben wir hin, ja. (..) Auch wenn das kleine Loch sich oberhalb der

288 schwarzen Fläche (.) befindet. (50 sec) <Tabea schreibt auf.> Also du hast geschrieben: <Lehrer liest

289 den geschriebenen Text vor.> Ja, auch wenn das kleine Loch sich über der schwarzen Fläche

290 befindet, ist die Stange leicht sichtbar. Wunderbar. Und jetzt. Welchen Einfluss hat die Helligkeit der

291 Oberfläche auf das Zurücksenden des Lichtes? Wenn wir sagen das ist dunkel und das ist hell.

292 Tabea: Hmhmm.

293 Lehrer: Das Schwarze ist dunkel und das Weiße ist hell. Wenn ich jetzt die Helligkeit hernehme,

294 welchen Einfluss hat die Helligkeit auf das Zurücksenden von Licht?

295 Tabea: Hmhmm. Es ist viel stärker und die ganze Stange ist beleuchtet.

296 Lehrer: Wann ist es stärker?

297 Tabea: Wenn das weiße Blatt drunter ist. Dann sieht man die ganze Stange. Und wenn das schwarz

298 ist, hab ich so einen Teil der Stange gesehen.

299 Lehrer: Ganz wenig. Ja. Man könnte sagen, je heller die Oberfläche, umso...??

300 Tabea: ... umso mehr von der Stange ist sichtbar.

301 Lehrer: Und in Bezug auf das Zurücksenden?

302 Tabea: Desto mehr Licht wird zurückgesendet.

303 Lehrer: Ganz genau. Je heller die Oberfläche... (30 sec) <Tabea schreibt auf.>

304 Tabea: ... desto mehr Licht wird zurückgesendet.

305 Lehrer: Hmhmm. (16 sec) <Tabea schreibt auf.> OK. Das ist ein bisschen viel seh ich. Das werd ich dann

306 beim nächsten Mal trennen, ja. Tun wir so als wäre das eine eigene Frage und schreiben das dann

307 auf der Seite hin. <Das 5. Experiment wird in zwei Teile geteilt. Das 6. Experiment (Vergleich

308 unterschiedlicher Farben) ist nun das 7. Experiment.> Ja. Welche der beiden Oberflächen kann

309 theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden? (8 sec) Hast du das schon mal

310 beobachtet, dunkle und helle Oberflächen, welche schneller erwärmt werden?

311 Tabea: Die hellen. (..) Nein, die dunklen werden schneller erwärmt. Weil, ich weiß nicht genau, weil

312 die dunklen...

313 Lehrer: Hmhmm.

314 Tabea: ... das ist auch, wenn ich im Sommer etwas Dunkles anziehe, wird mir viel schneller heiß.

315 Lehrer: Wird dir schneller heiß, genau.

316 Tabea: <lacht>

317 Lehrer: Oder wenn du ein schwarzes Auto hast.

318 Tabea: Ja.

319 Lehrer: Das heißt, dunkle Flächen, schreiben wir das wieder daneben hin. Also sechstens. Ja. (..) Das
 320 müssen wir aufteilen, das ist zu viel und da mach ma jetzt sechstens. Dunkle Oberflächen erwärmen
 321 sich schneller. (17 sec) <Tabea schreibt auf.>

322 Tabea: Wieso eigentlich?

323 Lehrer: Das ist eine gute Frage. Wieso eigentlich? Und der Hinweis ist der Zusammenhang zwischen
 324 Beleuchten, Erwärmen und Zurücksenden. (..) Da gibt es einen Zusammenhang.

325 Tabea: Ah, das dunkle, das Licht, das reflektiert nicht so stark und behält sozusagen das Licht (.)

326 Lehrer: Hmhmm.

327 Tabea: Und (.) Ist Licht immer warm?

328 Lehrer: Wenn du jetzt zur Lampe hingreifst...

329 Tabea: ...ja...

330 Lehrer: ...ist sie...

331 Tabea: ...warm.

332 Lehrer: Aha. Also, alles was hell ist und Licht aussendet, sendet auch...

333 Tabea: ...warm...

334 Lehrer: ... Wärme aus. Licht und Wärme sind physikalisch gesehen eigentlich das gleiche.

335 Tabea: Wirklich?

336 Lehrer: Das ist alles Strahlung.

337 Tabea: Woww.

338 Lehrer: Strahlungsenergie. Nur können wir die Wärmestrahlung nicht sehen. Das ist der einzige
 339 Unterschied.

340 Tabea: <lacht>

341 Lehrer: Ja? Überall, wo es hell ist, ist es auch warm, oder?

342 Tabea: Ja, schon.

343 Lehrer: Bei der Herdplatte. Wenn die Herdplatte stark aufgedreht ist, dann leuchtet die so rot und ist
 344 auch heiß.

345 Tabea: Ja.

346 Lehrer: Sonne, warm und hell. Oder?

347 Tabea: Ja. Das merkt man auch bei den Glühbirnen, die sind meistens auch warm. Aber wieso gibt es
 348 dann Glühbirnen die kalt sind?

349 Lehrer: Weil das eine andere Technologie ist. Ja, das sind dann moderne Energiesparlampen und die
 350 brauchen weniger Energie. Und die werden auch ein bisschen warm. Aber die..

351 Tabea: Ja, ein bisschen...

352 Lehrer: ... ein bisschen schon. Aber nicht so wie die <es wird eine klassische Glühbirne verwendet>
 353 Ja, aber die <Energiesparlampen> sind so gemacht, dass die meiste Energie, die meiste
 354 Strahlungsenergie im Bereich des Lichtes ist.

355 Tabea: Ja.

356 Lehrer: Und wenig in der Wärmestrahlung. Ja. Das heißt, wie du vorher gesagt hast: Das Schwarze
 357 nimmt das Licht und macht daraus...

358 Tabea: ...Wärme...

359 Lehrer: ...ganz genau. Ja. Also, dann schreiben wir hin, ja, (..) Beleuchtete schwarze Flächen...

360 (13 sec) <Tabea schreibt auf.> ...senden das Licht gut oder schlecht zurück? (.)

361 Tabea: Senden das Licht schlecht zurück.

362 Lehrer: Senden das Licht schlecht zurück (12 sec) <Tabea schreibt auf.> Und wie würdest du das in

363 Bezug auf die Strahlung weiterschreiben, den Satz?

364 Tabea: Ähm. (..)

365 Lehrer: In Bezug auf die Wärmestrahlung?

366 Tabea: Ähm. Dadurch wird die (.)

367 Lehrer: Ist es besser oder schlechter, die Wärmestrahlung?

368 Tabea: Besser.

369 Lehrer: Lehrer: Genau. Aber (7 sec) sie strahlen das empfangene Licht in Form von Wärme ab. (25

370 sec) <Tabea schreibt auf.> Hmhmm. Perfekt. Also. Jetzt sind wir eigentlich beim siebten Experiment.

371 Das werde ich dann noch aufteilen. Jetzt schauen wir uns farbige Oberflächen an. (6 sec) <bereitet

372 das Experiment vor.> Ja, zwei Farben. Wir haben da zwei Farben. Gut. Machen wir wieder das

373 Gleiche, ja? Du kannst auch gleich selber schauen, ja, wenn das so ein bisschen schief ist, kannst du

374 schauen, ab wann es über der roten und ab wann es über der grünen Oberfläche ist.

375 Tabea: Also jetzt bin ich bei der roten, weil die weiße Stange ist leicht rot.

376 Lehrer: Hmhmm.

377 Tabea: Und jetzt bin ich über der grünen.

378 Lehrer: Und jetzt ist die weiße Stange?

379 Tabea: Ist grün.

380 Lehrer: IST GRÜN!

381 Tabea: Das ist so, es reflektiert die Farbe mit.

382 Lehrer: Das...

383 Tabea: ...ist genauso wie wenn man den Finger davor hält <mit dem Finger das kleine Loch zuhält

384 und stark beleuchtet> dann nimmt das auch die Farbe.

385 Lehrer: Die Farbe vom Blut an, ja. Und hier wird das Licht...

386 Tabea: ...grün.

387 Lehrer: Und hier.

388 Tabea: Rot.

389 Lehrer: Ganz genau.

390 Tabea: Hmhmm.

391 Lehrer: Also schreiben wir das auf. Was kannst du an der Querstange beobachten?

392 Tabea: Sie nimmt die Farbe, ähm, der. Unter der... Also.

393 Lehrer: Also sagen wir, die grüne Fläche sendet...

394 Tabea: ...grüne Farbe aus.

395 Lehrer: Grünes Licht aus. Ja. Die grüne Fläche sendet grünes Licht aus. Die rote Fläche, rotes Licht.

396 (35 sec) <Tabea schreibt auf.> Hmhmm. Wenn wir sagen, das Aufnehmen von Licht und Umwandeln

397 von Wärme ist ein Licht verschlucken, ja.

398 Tabea: Hmhmm.

399 Lehrer: So kann man das auch sagen. Wie gesagt. Wir können Licht senden von der Lampe, Licht

400 kann empfangen werden, Licht kann zurückgesendet werden, Licht kann aber auch verschluckt
 401 werden. Ja. Also wenn das Licht dann weg ist, wird es in Form von Wärme zurückgeschickt. Das ist
 402 das Licht...

403 Tabea: ... also zum Beispiel beim Schwarzen.

404 Lehrer: Zum Beispiel beim Schwarzen. Und jetzt ist die Frage hier, ja, welche Rolle spielt das
 405 Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang? (..)

406 Tabea: Also. (..) Eigentlich wird nur, also Farbe, also wird Licht zurückgesendet, äh, ich glaub nicht
 407 das da irgendetwas verschluckt wird. (..)

408 Lehrer: Welche Farbe hat denn das Licht in Summe?

409 Tabea: Gelb. Also weiß-gelb.

410 Lehrer: Es ist ganz, ganz leicht gelblich, ja. Weil es eben so eine warmweiße Lampe ist. Ja. Und
 411 schau dir mal dieses Bild an. (..) <Zeigt das Bild "Regenbogenprisma".>

412 Tabea: Wow.

413 Lehrer: Wow. <lacht>

414 Tabea: <lacht>

415 Lehrer: Ja, da sind mehrere Prismen und da kommt dann weißes Licht auf so ein Prisma drauf. (.)
 416 Dann wird das da gebrochen, ja. Umgelenkt, ja. Alles was da nach hinten schwarz ist, der Schatten,
 417 das ist das Licht, welches links weggebrochen ist.

418 Tabea: Hmhmm.

419 Lehrer: Ja. Dann kommt das hier auf dieses zweite Prisma.

420 Tabea: Es ist hier eh schon leicht farblich.

421 Lehrer: Ganz leicht sieht mans. Gell?

422 Tabea: Ja.

423 Lehrer: Aber je öfter man das macht, umso besser ist der Effekt.

424 Tabea: Ja, weil das Licht beim Fenster reinscheint, dann sieht man manchmal so einen leichten
 425 Regenbogen am Boden.

426 Lehrer: Hmhmm. Beim Fenster kann das auch passieren. Und natürlich beim echten Regenbogen.

427 Tabea: Ja

428 Lehrer: Wo wird das da, gebrochen?

429 Tabea: Beim Regen.

430 Lehrer: Im Regen, genau bei den Wassertropfen.

431 Tabea: Bei den Regentropfen.

432 Lehrer: Bei den Regentropfen, genau. Ja. Das heißt, das Licht kann aufgeteilt werden in?

433 Tabea: Farben.

434 Lehrer: Und wenn jetzt das weiße Licht jetzt auf die rote Fläche draufgeht...

435 Tabea: ...dann ist es rot.

436 Lehrer: Hmhmm. Und welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken bei dem Vorgang?

437 Tabea: Das Zurücksenden ist das rote Licht und das Verschlucken ist das weiße Licht oder gelbe
 438 Licht?

439 Lehrer: Alles andere?

440 Tabea: Ja.

441 Lehrer: Kann man das so sagen?

442 Tabea: Hmhmm. Ja.

443 Lehrer: Also schreiben wir hin. (..) Auf farbigen Flächen...

444 Tabea: Also hier dazu.

445 Lehrer: Hmhmm. (15 sec) <Tabea schreibt auf.> Wie würdest du den Satz vervollständigen? In Bezug
446 auf zurücksenden und verschlucken?

447 Tabea: Auf Farbigen, ähm, Flächen (..) werden eher Farben zurückgesendet...

448 Lehrer: ... genau wird Licht nur (..) in der jeweiligen Farbe zurückgesendet. (22 sec) <Tabea schreibt
449 auf.> Der Rest... (5 sec)

450 Tabea: ... wird verschluckt.

451 Lehrer: Der Rest wird verschluckt. Ganz genau. (10 sec) <Tabea schreibt auf.> Hmhmm. OK.

452 38 min 15 s - 39 min 02 s: Der Aufgabenstellung der Analyse und Zusammenfassung wird vorgelesen,
453 erwähnt, dass auf die Erfahrungen im Experiment zurückgegriffen werden soll und es wird auf den
454 lateinischen Ursprung der Fachbegriffe eingegangen.

455 Lehrer: Also, wie würdest du den Satz vervollständigen? Emission, lateinisch für Aussenden,
456 beobachte ich... (..)

457 Tabea: Ähm. Wenn Licht durch eine Fläche reflektiert wird? Ah, ein. Das Licht, die Lampe sendet das
458 Licht aus.

459 Lehrer: Genau. Wenn...

460 Tabea: ...wenn ein Gegenstand Licht aussendet.

461 Lehrer: Wenn ein Gegenstand Licht aussendet. Zum Beispiel...? (25 sec) <Tabea schreibt auf.>

462 Tabea: Eine Lampe?

463 Lehrer: Eine Lampe. (..) Ist das jetzt selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?

464 Tabea: Selbstleuchtend.

465 Lehrer: Alle Selbstleuchtenden oder nur manche?

466 Tabea: Alle Selbstleuchtenden.

467 Lehrer: Ganz genau, zum Beispiel eine Lampe. Das können alle selbstleuchtenden Gegenstände. (25
468 sec) <Tabea schreibt auf.> Reflexion. Und da ist es jetzt ein bisschen tricky, ja. Reflexion und
469 Streuung. Ja. Schauen wir uns vielleicht zuerst den Unterschied an. Ja. Oder alle drei Sachen. Im
470 Prinzip. Einmal möchten wir Reflexion definieren, einmal Streuung definieren und einmal den
471 Unterschied zwischen Reflexion und Streuung.

472 Tabea: Ich glaube das der Unterschied darin liegt, dass (..) wenn die Reflexion, die reflektiert das auf
473 einen anderen Gegenstand. Und die Streuung verteilt das im Raum.

474 Lehrer: Hmhmm. Also Streuung, steht eh da, in...

475 Tabea: ...alle Richtungen verteilt.

476 Lehrer: Hmhmm. Und reflektieren, wo finden wir...

477 Tabea: ... es, wenn es zurückgesendet wird.

478 Lehrer: Aber wie im Vergleich zur Streuung?

479 Tabea: Ähm. Also eigentlich in den ganzen Raum. Also zum Beispiel eine Stelle... Also das Papier war
480 zum Beispiel (..) ähm, eine Streuung. Und der Spiegel eine Reflexion.

481 *Lehrer: Ganz genau. Perfekt. Ja. Beobachte ich, wenn ein Gegenstand... Wie haben wir das genannt,*
482 *wie streut es zurück? (..)*

483 *Tabea: Gezielt?*

484 *Lehrer: Gerichtet. Ganz genau. Gezielt, gerichtet. Ja. Wenn ein Gegenstand Licht gerichtet*
485 *zurücksendet (10 sec) <Tabea schreibt auf.> Zum Beispiel... (..)*

486 *Tabea: ...ein Spiegel.*

487 *Lehrer: Zum Beispiel ein Spiegel. (8 sec) <Tabea schreibt auf.> Streuung beobachte ich, wenn... (..)*

488 *Tabea: Wenn ein Gegenstand (..) wenn ein Gegenstand (..) Licht ungerichtet...*

489 *Lehrer: Hmhmm. (12 sec) <Tabea schreibt auf.>*

490 *Tabea: ...ungerichtet verteilt, zurücksendet. (8 sec) <Tabea schreibt auf.> Zum Beispiel ein weißes*
491 *Blatt Papier.*

492 *Lehrer: Hmhmm. (16 sec) <Tabea schreibt auf.> Da würd ich dann hinschreiben, der Unterschied und*
493 *die Gemeinsamkeit zwischen Reflexion und Streuung.*

494 *Tabea: Der Unterschied?*

495 *Lehrer: Worin liegt der Unterschied und worin liegt die Gemeinsamkeit?*

496 *Tabea: Also der Unterschied liegt darin, dass es ungerichtet oder gerichtet zurückgesendet wird.*

497 *Lehrer: Hmhmm. Und das Gemeinsame?*

498 *Tabea: Ist das es, ähm, es zurückgesendet wird.*

499 44 min 15 s - 46 min 21 s: Das Erarbeitete wird im Arbeitsblatt festgehalten. Es wird nochmals gezeigt,
500 dass das weiße Blatt hinter der Kante der Decke eine Beleuchtung hervorruft. Auch wird das Beispiel
501 am Strand wiederholt: Auch wird erarbeitet, dass der glänzende Bereich am schwarzen Tisch, welcher
502 ein „unscharfes Spiegelbild“ der Glühbirne ist, je nach Beobachtungswinkel, wo anderes
503 wahrzunehmen ist.

504 *Lehrer: Super. Absorption, Aufsaugung kann man sagen, ja...*

505 *Tabea: ...beobachte ich, wenn eine schwarze Fläche, ähm, das Licht annimmt, aufsaugt.*

506 *Lehrer: War das nur bei schwarzen Flächen oder wo anders auch?*

507 *Tabea: Ähm. Bei dunklen Flächen, vor allem bei schwarzen.*

508 *Lehrer: Vor allem bei Schwarzen. Und wie war das mit den Farben?*

509 *Tabea: Ähm. Da hat es die Farben weitergeleitet. Da hat es alles außer die Farben so angenommen.*

510 *Lehrer: Genau. Das heißt, alles wurde aufgesaugt bis auf die Farbe selbst. Ja, also. ...beobachte ich,*
511 *wenn Licht... (..)*

512 *Tabea: ...auf schwarze oder bunte Flächen scheint.*

513 *Lehrer: Scheint und aufgenommen wird. (30 sec) <Tabea schreibt auf.> Dadurch erwärmt sich die*
514 *Oberfläche. Kann man aufschreiben. (25 sec) <Tabea schreibt auf.>*

515 48 min 15 s - 49 min 26 s: Es wird nochmals kurz das Erarbeitete zusammengefasst. Auch wird der
516 Zusammenhang der Fachbegriffe mit den elementarisierten Begriffen hergestellt. Im Anschluss wird
517 das 1. Anwendungsbeispiel "Die Finsternis in deinem Alltag" vorgelesen.

518 *Lehrer: Hast du das schon einmal erlebt?*

519 *Tabea: Hmhmm. Ja, wenn ich zum Beispiel: Vorgestern war ich beim Papa und da musste ich das*
520 *Licht ausschalten und das war ganz am anderen Ende des Zimmers, als die Tür. <lacht>*

521 *Lehrer: Aha.*

522 *Tabea: Und dann musste ich das Licht ausschalten und dann war alles so grau-schwarz.*

523 *Lehrer: Grau bis schwarz. Aha.*

524 *Tabea: Bisschen gruselig. <lacht>*

525 *Lehrer: Ziemlich gruselig. Also du kennst diese Situation, oder?*

526 *Tabea: Ja.*

527 49 min 47 s - 50 min 34 s: Die Aussagen der Aufgabenstellung werden vorgelesen. Tabea überlegt
 528 ein wenig (25 sec). Die Aufgabenstellung wird nochmals in einfacheren Worten formuliert.

529 *Tabea: Ich glaube, das zweite <Restlicht Konzept> ist richtig.*

530 *Lehrer: Hmhmm.*

531 *Tabea: Weil das erste <Leuchtkraftkonzept heller Flächen>, wenn es keine Lichtquellen gibt, (?...) da*
 532 *können die Gegenstände nicht von sich aus leuchten. Also, wenn die Schrift, die kann jetzt nicht von*
 533 *sich aus leuchten. Da braucht man Licht, dass es leuchtet zum Beispiel.*

534 *Lehrer: Weil, zu welcher Kategorie gehört das? Zu den Selbstleuchtenden oder den*
 535 *Nichtselbstleuchtenden?*

536 *Tabea: Nichtselbstleuchtenden.*

537 *Lehrer: Ganz genau. Und woher kommt dann dieses Restlicht?*

538 *Tabea: Ähm. Von dem, was sie aufgenommen haben und nicht, noch nicht ausgestrahlt...*

539 *Lehrer: Können die das glaubst speichern?*

540 *Tabea: Ja.*

541 *Lehrer: Schauen wir mal in die Röhre. Halt mal hin. Und ich sag dir sofort, wenn es zu ist. OK. Jetzt.*
 542 *Siehst du was?*

543 *Tabea: Ja, jetzt war es gleich weg.*

544 *Lehrer: Ist gleich weg.*

545 *Tabea: Ja, schon.*

546 *Lehrer: Also die können nix speichern, oder?*

547 *Tabea: Mmh.*

548 *Lehrer: Es gibt ein paar Ausnahmen. Es gibt so, manchmal im Kinderzimmer hast du so Sterne, die*
 549 *man aufklebt...*

550 *Tabea: ...ja...*

551 *Lehrer: ...die können nachleuchten. Aber das sind ganz spezielle.*

552 *Tabea: Die muss man den ganzen Tag aufladen. Das hatten wir. Wir haben auch einen Vorhang mit*
 553 *so Monsterchens drauf, die dann von selbst leuchten in der Nacht.*

554 *Lehrer: Aha. Aber normalerweise geht das nicht, oder?*

555 *Tabea: Nein.*

556 *Lehrer: Und wieso kann man das dann trotzdem sehen, die Umrisse?*

557 *Tabea: Weil ich die Augen, die leuchten, nein... (..)*

558 *Lehrer: Was habe ich denn hier mit dieser Röhre gemacht, damit die gut funktioniert? (..)*

559 *Tabea: Sie muss da schwarz sein.*

560 *Lehrer: Ich hab sie ganz dick umwickelt, ja.*

561 *Tabea: Weil sonst konnte man das schon schauen mit dem Licht.*

562 *Lehrer: Weil sonst konnte das Licht durch das Plastik durch. Ja. Und in der Nacht, in der Finsternis,*
563 *welche Möglichkeiten gäbe es, dass da irgendwo Licht daherkommt? (..) Wenn du draußen spazierst.*
564 *Oder in der Wohnung?*

565 *Tabea: Also, vielleicht. Ich weiß nicht. Also wenn der Mond nicht da ist, dann sieht man eigentlich sehr*
566 *wenig.*

567 *Lehrer: Sehr wenig, aber du siehst noch immer was.*

568 *Tabea: Ja.*

569 *Lehrer: Und irgendwo muss ja das Licht herkommen? Wo kommt denn das her? Was bedeutet*
570 *Finsternis in unserem Alltag?*

571 *Tabea: Ähm. (10 sec)*

572 *Lehrer: Draußen in der Nacht?*

573 *Tabea: Ja.*

574 *Lehrer: Welche Möglichkeiten gäbe es, dass da noch irgendwo ein bisschen Restlicht ist?*

575 *Tabea: Vielleicht von den Sternen? Aber...*

576 *Lehrer: Genau.*

577 *Tabea: Eigentlich werden die Sterne auch nur, oder der Mond von der Sonne angesch... Also, die*
578 *senden ja selbst auch keine Licht..., sondern die werden von der Sonne angestrahlt?*

579 *Lehrer: Die Sterne?*

580 *Tabea: Ja?*

581 *Lehrer: Die Sonne ist das gleiche wie ein Stern. Die Sterne, die wir sehen, sind alles Sonnen.*
582 *Milliarden von Sonnen.*

583 *Tabea: Das ist cool!*

584 *Lehrer: Die Planeten, die erscheinen wie die Sterne am Nachthimmel, aber viel heller, die sind aber*
585 *wie der Mond. Die können von sich selber nicht leuchten.*

586 *Tabea: Das ist cool! <lacht>*

587 *Lehrer: Und die Sterne können von sich selbst leuchten.*

588 *Tabea: Hmhmm.*

589 *Lehrer: Und stell dir vor, da ist eine dicke Wolkendecke und die Sterne sind weg. Woher kommt denn*
590 *dann das Licht? (..)*

591 *Tabea: Hmhmm.*

592 *Lehrer: Oder, woher kommt das Licht, wenn ich da die Lampe abdrehe und die Tür zumache?*

593 *Tabea: Von draußen?*

594 *Lehrer: Von draußen, ja. Und wenn du weit weg bist, draußen irgendwo auf dem Land, und die*
595 *Wolken sind ganz dick und, und weit und breit ist kein Mond und keine Sonne. Kanns da ganz, ganz*
596 *finster sein, sowie in dieser Röhre?*

597 *Tabea: Kanns schon, oder?*

598 *Lehrer: Da müsstest du in ein Loch hineinkrabbeln, dass das möglich ist.*

599 *Tabea: Oh...*

600 *Lehrer: Was ist denn mit den Städten rundherum?*

601 *Tabea: Sie haben Beleuchtungen.*

602 *Lehrer: Ganz genau. Die leuchten ja auch die ganze Zeit. Das heißt Finsternis in unserem Alltag*

603 *bedeutet, das nur noch wenig Restlicht vorhanden ist. Kann man das so sagen?*

604 *Tabea: Ja. (25 sec) <Tabea schreibt auf.>*

605 *Lehrer: Absolute Dunkelheit, kann man das erleben?*

606 *Tabea: Kann man schon.*

607 *Lehrer: Aber es ist sehr schwer.*

608 *Tabea: Ja. (25 sec) <Tabea schreibt auf.>*

609 *Lehrer: Umrisse sehen wir?*

610 *Tabea: Hmhmm, weil (8 sec), weil Licht drauf scheint.*

611 *Lehrer: Genau. Und welches Licht ist das?*

612 *Tabea: Entweder das Sonnenlicht, oder das...*

613 *Lehrer: Wie haben wir es vorher genannt? (.) Restlicht haben wir es genannt.*

614 *Tabea: Ah.*

615 *Lehrer: Umrisse sehen wir, weil...*

616 *Tabea: Restlicht darauf scheint. (8 sec) <Tabea schreibt auf.>*

617 *Lehrer: Ist es so verständlich für dich?*

618 *Tabea: Ich glaube schon, ja.*

619 *Lehrer: Hmhmm. Und bei der Röhre.*

620 *Tabea: Hmhmm.*

621 57 min 13 s - 59 min 09 s: Es wird noch einmal erwähnt, dass sogar durch den Finger Licht in die
 622 Vision Tube kommen kann, dass Auge sehr empfindlich ist und sich an die Dunkelheit anpasst. Tabea
 623 fragt, ob Katzen in der absoluten Dunkelheit sehen können und der Sachverhalt wird erklärt. Im
 624 Anschluss wird das Anwendungsbeispiel "Die Funktionsweise deines Auges" vorgelesen. Tabea liest
 625 die Aussagen laut vor.

626 *Tabea: Also ich glaube drei ist auf jeden Fall richtig. <Um etwas sehen zu können, muss das Auge*
 627 *Licht empfangen.> Vier ist glaub ich falsch. <Das Auge ist ein passives Organ, es kann keinen*
 628 *Sehstrahl absenden.>*

629 *Lehrer: Hmhmm.*

630 *Tabea: Und eins klingt auch richtig. <Dein Auge ist ein aktives Organ. Von ihm geht ein Sehstrahl aus,*
 631 *welcher Sichtbares abtastet.>*

632 *Lehrer: Hmhmm. Und wenn du drei und eins vergleichst. (..) Um etwas sehen zu können muss das*
 633 *Auge Licht empfangen.*

634 *Tabea: Also, man braucht Licht, um etwas sehen zu können.*

635 *Lehrer: Man braucht Licht, um etwas sehen zu können. Ja. Aber die Frage ist, ob das Auge das Licht*
 636 *empfängt, oder das Auge, wie bei eins steht, das Sichtbare abtastet. Da wo Licht ist? Können beide*
 637 *richtig sein? (.)*

638 *Tabea: Jaaa? Nein, ich weiß nicht. Ich glaube drei ist richtig.*

639 *Lehrer: Hmhmm. Du glaubst drei ist richtig.*

640 *Tabea: Ja, aber ich bin mir nicht sicher.*

641 *Lehrer: Und da steht, von ihm geht ein Sehstrahl aus, als würde das Auge einen Sehstrahl*
 642 *abschicken, dass das abtastet.*

643 *Tabea: Hmhmm.*

644 *Lehrer: Und beim anderen steht. Das Auge empfängt Licht. Also beides kann nicht richtig sein.*
645 *Welches ist deiner Meinung nach richtiger?*

646 *Tabea: Also ich glaube, dass das Auge Licht empfängt. Das ist, also, wenn das Licht empfängt, kann*
647 *es alles sehen.*

648 *Lehrer: Hmhmm. Schauen wir das Auge mal hier an. Wir haben hier eine Linse, eine kleine Öffnung,*
649 *die ist zum Beispiel beschriftet, also die heißt Pupille.*

650 *Tabea: Hmhmm. Ja. Das ist ein Loch.*

651 *Lehrer: Die Iris. Ja. Die regelt, wie groß...*

652 *Tabea: Sind das die Farben der Augen?*

653 *Lehrer: Genau, das ist das rundherum.*

654 *Tabea: Ja, das kann sich so vergrößern.*

655 *Lehrer: Ja, das kann sich größer und kleiner machen.*

656 *Tabea: Mit dem Licht kleiner.*

657 *Lehrer: Hmhmm. Wenn viel Licht ist, dann macht es sich kleiner, damit es nicht so grell drinnen ist. Ja.*

658 *Tabea: Und die Hornhaut, die drüber...*

659 *Lehrer: ...ist der Schutz...*

660 *Tabea: Deshalb kann man also Kontaktlinsen tragen, ohne Schmerz.*

661 *Lehrer: Ganz genau. Das ist eine dicke Haut. Die da so ein bisschen schützt. Und da hinten? Da. Da*
662 *steht was?*

663 *Tabea: Netzhaut.*

664 *Lehrer: Netzhaut. Welche Funktion könnte diese Netzhaut haben?*

665 *Tabea: Ähm. (12 sec) Ich hab keine Ahnung.*

666 *Lehrer: Hmhmm. Und das Licht, das Licht (..) Wenn du sagst, bei drei, ja. Wenn das Auge, das muss*
667 *das Licht empfangen. Und wenn du jetzt dieses Auge vergleichst mit dieser Röhre.*

668 *Tabea: Hmhmm.*

669 *Lehrer: Ja. Welche Bauteile dieser Röhre sind dem Auge ähnlich?*

670 *Tabea: Das Loch.*

671 *Lehrer: Das Loch. Hmhmm. Das ist wo?*

672 *Tabea: (?...) Bei der Linse da.*

673 *Lehrer: Ja, bei der Linse, ja die Pupille. Genau. Und das, was Licht empfängt, ist, was??*

674 *Tabea: Ist die Querstange.*

675 *Lehrer: Ist die Querstange. Ja. Und wenn da rotes Licht hineinkommt, dann empfängt die*
676 *Querstange?*

677 *Tabea: Rotes Licht.*

678 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Und was hier in dem Auge könnte jetzt der Empfänger sein?*

679 *Tabea: Hmh, die Netzhaut?*

680 *Lehrer: Die Netzhaut. Ganz genau. Ja. Das ist, wie zum Beispiel beim Tasten. Ja. Wo sind die*
681 *Sensoren für den Tastsinn? (..)*

682 *Tabea: Auf der Hand.*

683 *Lehrer: Nur auf der Hand?*

684 *Tabea: Nein, eigentlich am ganzen Körper.*

685 *Lehrer: Auf den ganzen Hautzellen. Und wo sind die Sensoren für den Geschmacksinn?*

686 *Tabea: Auf der Zunge.*

687 *Lehrer: Auf der Zunge. Und kannst du etwas schmecken, kannst du ein Eis schmecken, das so weit*
688 *weg ist von dir?*

689 *Tabea: Nein.*

690 *Lehrer: Was musst du denn mit dem Eis machen?*

691 *Tabea: Es abtasten mit der Zunge.*

692 *Lehrer: Du musst hingehen, es abtasten. Ja. Und die Netzhaut?*

693 *Tabea: Muss das Licht empfangen.*

694 *Lehrer: Ganz genau.*

695 *Tabea: Also ist drei richtig.*

696 *Lehrer: Ja. Es ist ein Sensor für das Licht. Ja. Und das Licht, geht das hinein oder hinaus?*

697 *Tabea: Hmhmm.*

698 *Lehrer: Was glaubst du? Geht das Licht hinein, oder wird ein Sehstrahl weggeschickt fürs Abtasten?*

699 *Tabea: Ähm. Ich glaub, es geht hinein.*

700 *Lehrer: Es geht hinein. Ganz genau. Weil, du kannst ja auch nicht über die Distanz schmecken.*

701 *Tabea: Nein. <lacht>*

702 *Lehrer: Oder über die Distanz fühlen. Ja, das muss zu dir kommen, oder?*

703 *Tabea: Ja.*

704 *Lehrer: Ja. Also, schreiben wirs da hin. Wie würdest du es beschreiben? Versuchs in deinen eigenen*
705 *Worten zu beschreiben.*

706 *Tabea: Ähm. (12 sec) Ähm. Vielleicht. Um etwas sehen zu können muss das Licht an die Netzhaut*
707 *gelangen.*

708 *Lehrer: Ganz genau.*

709 1 h 06 min 23 s - 1 h 09 min 10 s: Tabea schreibt das Erarbeitete auf. Zusätzlich wird eine Grafik
710 herangezogen, welche auf der Netzhaut die Lichtsensoren Stäbchen und Zäpfchen darstellt und
711 festgehalten, dass diese das Licht in elektrische Signale umwandeln und an das Gehirn weiterleiten.
712 Auch nochmals der Unterschied zwischen der Temperaturwahrnehmung und dem Sehen angeführt.
713 Im Anschluss wird die Angabe zum Anwendungsbeispiel "Mond und Äpfel im Sonnenlicht" von Tabea
714 vorgelesen.

715 *Lehrer: Das sind drei Fragen. Machen wir mal die Erste. In welcher Ecke steht die Sonne?*

716 *Tabea: Da so, dort hinten. Weil der Mond wird von ihr angestrahlt.*

717 *Lehrer: Das ist links oben.*

718 *Tabea: Ja.*

719 *Lehrer: Komplett richtig. Hmhmm. Dann schreiben wir das auf (14 sec) <Tabea schreibt auf.>*
720 *Inwiefern ähneln sich die Beleuchtungssituationen? (.)*

721 *Tabea: Von Apfel und vom Mond?*

722 *Lehrer: Hmhmm.*

723 Tabea: Ah, sie werden beide von der Sonne angestrahlt. Und beide sind auf der gleichen Seite heller.

724 Lehrer: Ganz genau. Schreiben wir auch auf. (40 sec) <Tabea schreibt auf.> Dritte Frage. Warum ist
725 die Schattenseite des Apfels sichtbar, welche Rolle spielt dabei die Umgebung?

726 Tabea: Also, ich glaube das, die, die andere Apfelseite sichtbar ist, weil der Mond das Licht so
727 reflektiert, und auf der Seite eben ist das, das es von beiden Seiten eben angestrahlt wird? (.) Von der
728 einen Seite strahlt die Sonne, von der anderen strahlt nur leicht vom Mond.

729 Lehrer: Hmhmm. Glaubst du ist das Mondlicht so stark, dass es den Schatten anstrahlen kann?

730 Tabea: Jaaa?

731 Lehrer: Gibts auch eine andere Möglichkeit das der Schatten, dass die Schattenseite beleuchtet wird?

732 Tabea: Hmhmm. (6 sec) Vielleicht einfach, weil die ganze Umgebung so hell ist, weil das Licht von der
733 Sonne von allen möglichen Gegenständen so reflektiert wird und ungezielt in die Umgebung geworfen
734 wird, sozusagen.

735 Lehrer: Perfekt! <lacht> Der Mond könnte das auch, aber das ist ganz, ganz, ganz leicht. Aber das,
736 was der Mond macht, macht die ganze Umgebung auch. Ja.

737 1 h 11 min 56 s - 1 h 13 min 49 s: Das Erarbeitete wird aufgeschrieben. Dabei wiederholt Tabea die
738 Schlussfolgerung wie eben erwähnt. Im Anschluss wird die Aufgabenstellung des
739 Anwendungsbeispiels "Die Lichtausbreitung einer Kerze" von Tabea vorgelesen.

740 Lehrer: Hier hast du einen Bleistift und einen Radiergummi, falls du irgendetwas ändern möchtest.
741 Also, in welche Richtungen breitet sich das Licht aus? Welchen Weg legt es zurück?

742 Tabea: Also. Es strahlt so in alle Richtungen.

743 Lehrer: Hmhmm. Von?

744 Tabea: Von dem Ding, von der Kerze.

745 Lehrer: Genau, zeichne das mal ein. Zeichne einmal in alle möglichen Richtungen (15 sec) <Tabea
746 zeichnet.> Ok.

747 Tabea: Aber, dann soll ichs da ganz lang und nicht nur so kurz. <Damit ist gemeint, dass die Strahlen
748 länger sind, als die schemenhaften Linien die kürzer gezeichneten werden.>

749 Lehrer: Genau. Ganz lang. Dann schau mal den Weg in Richtung Stein. (..) Hmhmm. (.) Und da auf
750 dem Stein wie gehts weiter?

751 Tabea: Zum Auge?

752 Lehrer: Hmhmm.

753 Tabea: Reflektiert.

754 Lehrer: Hmhmm. Und jetzt mach Pfeile, um den Weg bissl besser darzustellen. In welche Richtung
755 geht das?

756 Tabea: Einmal in die Richtung <von der Kerze zum Stein> und dann einmal in die Richtung <vom
757 Stein zum Auge>.

758 Lehrer: Ganz genau. Perfekt. Der Stein ist ein nichtselbstleuchtender Gegenstand. (.) Beschreibe nun,
759 warum er dennoch sichtbar ist? (.)

760 Tabea: Er ist sichtbar, weil das Licht so auf ihn draufscheint.

761 Lehrer: Er ist sichtbar, weil?

762 Tabea: Er ist sichtbar, weil...

763 Lehrer: Verwende unsere Definitionen Senden und Empfangen, Rücksenden und Verschlucken.

764 Tabea: Ah. Er ist sichtbar, weil die Kerze Licht sendet, (.) oder? Oder soll ich wirklich sendeN
765 schreiben?

766 *Lehrer: Das passt schon.*

767 *Tabea: Ok. Er ist sichtbar, weil die Kerze Licht sendet, der Stein es empfängt und zurücksendet.*

768 *Lehrer: Ganz genau. (80 sec) <Tabea schreibt auf und korrigiert einen Satz.>*

769 *Tabea: Da hab ich mich jetzt sehr oft verschrieben.*

770 *Lehrer: Das ist nicht so schlimm. Kann ja mal passieren.*

771 *Tabea: <lacht>*

772 *Lehrer: Und warum ist der Stein dunkler als die Kerze?*

773 *Tabea: Ähm. Weil er auch Schatten hat, weil das Licht nicht so stark ist, dass es so ganz hell... Weil*
774 *ein Stein ist nicht weiß.*

775 *Lehrer: Ein Stein ist nicht weiß. Ja. Und was passiert dann mit dem Licht?*

776 *Tabea: Es wirft auch Schatten.*

777 *Lehrer: In die Richtung wirft es Schatten, ja. (.) Und in Bezug auf das Verschlucken?*

778 *Tabea: Ja, die Wärme wird verschluckt.*

779 *Lehrer: Genau, er kann sich auch ein bissl erwärmen. Ganz genau. Das Licht wird verschluckt und es*
780 *entsteht Wärme. Genau. (60 sec) <Tabea schreibt das Erarbeitete auf.> Und wenn du da jetzt einen*
781 *Spiegel hingeben würdest? Und das Auge betrachtet den Spiegel, und betrachtet den Stein, welches*
782 *Objekt ist heller? (..)*

783 *Tabea: Hmhmm. Wahrscheinlich der Spiegel?*

784 *Lehrer: Hmhmm.*

785 *Tabea: Weil er (..) er. Ähm. Er nimmt auch die Farbe des Lichtes an und der Stein ist so dunkler.*

786 *Lehrer: Hmhmm.*

787 *Tabea: Von Natur aus. Also zum Beispiel, es kann auch nicht passieren, dass das weiße Blatt dunkler*
788 *ist als der schwarze Tisch.*

789 *Lehrer: Hmhmm. (10 sec) Und welche Rolle spielt das Ver-, Ver..., Verschlucken bei der, beim*
790 *Spiegel und beim Stein.*

791 *Tabea: Ähm. Sie verschlucken beide die Wärm... Also der Stein verschluckt die Wärme und das Licht*
792 *und strahlt seine Farbe aus...*

793 *Lehrer: Hmhmm.*

794 *Tabea: ...eher grau. Und der Spiegel verschluckt nur die Wärme und das Licht behält die gleiche*
795 *Farbe.*

796 *Lehrer: Hmhmm.*

797 *Tabea: Weil das gespiegelt wird einfach.*

798 *Lehrer: Aber wieso verschluckt er Wärme, der Spiegel?*

799 *Tabea: Der Spiegel, der kann auch (?...) Also.*

800 *Lehrer: Also, wenn ich das da rauf schicke <mit dem Spiegel Licht an die Decke werfe>, dann ist das*
801 *im Wesentlichen die gleiche Lichtfarbe wie da. Das Licht geht daher.*

802 *Tabea: Ja.*

803 *Lehrer: Und wird da jetzt viel erwärmt? Oder wird das meiste weggeschickt?*

804 *Tabea: Hmhmm. Wird viel erwärmt.*

805 *Lehrer: Der Spiegel? Aber wenn so viel Licht weggeht?*

806 *Tabea: Dann eher die Wand zum Beispiel.*

807 *Lehrer: Dann eher die Wand. Ja.*

808 *Tabea: Hmhmm.*

809 *Lehrer: Weil ja der Spiegel sehr, sehr gut das Licht wegschickt.*

810 *Tabea: Ah.*

811 *Lehrer: Dann wird er eigentlich nicht wirklich warm. Oder?*

812 *Tabea: Ähm. Ein Spiegel kann schon warm werden, oder? Zum Beispiel wenn man... wir haben einen*
 813 *Kasten im Zimmer mit einem Spiegel, und der ist meistens sehr warm, weil das Fenster direkt davor*
 814 *ist.*

815 *Lehrer: Hmhmm. Wird auch ein bisschen warm, das stimmt schon. Aber nicht so schnell wie die*
 816 *dunkle Fläche.*

817 *Tabea: Ja.*

818 *Lehrer: Ok. Dann sind wir fertig.*

819 1h 21 min 27 s

2. Unterrichtseinheit mit Jonas

1 00 min 00 s - 03 min 42 s: Die Unterrichtseinheit beginnt, die Vision Tube wird vorgestellt. Jonas hat
 2 Schwierigkeiten, den Begriff Vision Tube auszusprechen. Auf die einzelnen Elemente kleines Loch,
 3 Querstange und große Öffnung wird eingegangen. Auch auf die Bauweise, bzw. durch welche
 4 Elemente die Lichtundurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die Tatsache, dass das Licht rechtwinkelig
 5 zur Sichtachse einfällt. Im Anschluss wird das Arbeitsblatt hergezeigt und beschriftet.

6 Der Lehrer erklärt den Aufbau der Materialien, den Zusammenhang zwischen den Inputs der Folien,
 7 dem Experimenten und dem Arbeitsblatt. Die Aufgabenstellung des 1. Experiments wird vom Lehrer
 8 vorgelesen. Zusätzliche Erklärungen zum Einsatz werden gegeben, d. h. wie die Vision Tube für
 9 unterschiedliche Beobachtungen gehalten werden muss.

10 *Lehrer: Also. Ich lese dir da vor. Betrachte die Querstange unter verschiedenen Lichtsituationen und*
 11 *versuch deine Beobachtung in Bezug auf die Sichtbarkeit der Querstange zu analysieren. Ja, das*
 12 *heißt...*

13 *Jonas: ...also ob man das Licht eher stark sieht oder?*

14 *Lehrer: Da steht nicht Sichtbarkeit des Lichtes, sondern Sichtbarkeit der Querstange. Ja, das ist das,*
 15 *wo wir jetzt anfangen, schon ein bisschen physikalisch zu denken, weil wir genau darauf achten,*
 16 *welche Wörter wir verwenden. Ja. Natürlich hast du recht, wenn du sagst, Licht, weil das Licht spielt ja*
 17 *eine Rolle, aber wir analysieren die SICHTbarkeit der Querstange. Ja. Durch das Licht natürlich...*

18 *Jonas: ...also, zum Beispiel so, wenn wir jetzt so machen sieht man die Querstange fast gar nicht,*
 19 *aber wenn man da so das Licht dran tut, dann sieht man sieh mehr. Also...*

20 *Lehrer: ...glaubst du das oder hast du es ausprobiert?*

21 *Jonas: Ich habs grad ausprobiert.*

22 *Lehrer: OK.*

23 *Jonas: <Jonas experimentiert.> Hier sieht mans jetzt ein bisschen schlechter und hier sieht man sie*
 24 *dann sehr gut.*

25 *Lehrer: Das heißt, wenn du es unter die Lampe hältst, sieht man es sehr gut..*

26 4 min 17 s - 5 min 20 s: Weitere Untersuchungen werden am Fenster gemacht, wobei die Vision Tube
 27 einmal zum und einmal gegen das Fenster gehalten wird.

28 *Lehrer: Also. Jetzt haben wir die Fragen hier. Wie beeinflusst das eintretende Licht deine*

29 *Beobachtung? Unter welcher Bedingung ist die Querstange besser oder schlechter sichtbar? Das sind*
30 *so zwei Fragen, aber wenn du willst, kannst du eine Antwort dazu machen.*

31 *Jonas: Also bei der hier. Ähm. Also, die Bedingung, also unter welcher Bedingung ist die Querstange*
32 *besser oder schlechter sichtbar. Ähm. (..) Naja, schau, ähm, sie ist schlechter sichtbar, wenns halt*
33 *dunkel ist. Weil dann weniger Licht reinscheint. Aber zum Beispiel, wenn man (.) es könnte auch hell*
34 *sein, aber das Licht muss auf eine dunkle Seite zeigen, dann könnte man ähm, dann würden wir...*

35 *Lehrer: ...also machen wir eines nach dem anderen. Also du sagst, ja, die Querstange ist besser*
36 *sichtbar, wenn...*

37 *Jonas: ...wenn ein Licht reinscheint.*

38 *Lehrer: Wenn mehr oder wenn weniger Licht reinkommt.*

39 *Jonas: Wenn, wenn mehr...*

40 *Lehrer: ...wenn mehr Licht... Also könnten wir sagen: Je mehr Licht... Wie würdest du den S...*

41 *Jonas: ...desto sichtbarer...*

42 *Lehrer: ... desto besser ist die Querstange...*

43 *Jonas: ...sichtbar.*

44 *Lehrer: Ganz genau. Schreiben wir das auf. Ja. Je mehr Licht...*

45 *Jonas: ...je mehr Licht (.)*

46 *Lehrer: Versuch den Satz selber fertigzumachen.*

47 *Jonas: Je mehr Licht (..) existiert (.)*

48 *Lehrer: Gehts um die Existenz von Licht, oder...*

49 *Jonas: ... nein.*

50 *Lehrer: Wenn ich da zum Beispiel zu mach, dann...*

51 *Jonas: ...dann ist das alles dunkel.*

52 *Lehrer: Ganz genau. Es geht nicht um die Existenz, weil da ist ja die Existenz vom Licht vorhanden*
53 *<in der Umgebung außerhalb der Vision Tube>.*

54 *Jonas: Je mehr Licht...*

55 *Lehrer: Ja.*

56 *Jonas: ...desto, ähm, desto besser sieht man... (.)*

57 *Lehrer: Aber was muss mit dem Licht passieren?*

58 *Jonas: Ähm. Es sollte, es sollte ins Loch reinscheinen.*

59 *Lehrer: Ganz genau. Je mehr L..*

60 *Jonas: Je mehr Licht ins Loch scheint, desto heller ist die Querstange.*

61 *Lehrer: ...desto besser ist die Querstange sichtbar. (50 sec) <Jonas schreibt auf.> Ja, das ist schon*
62 *eine erste Gesetzmäßigkeit. Ja. Wenn man sagt, je mehr, desto... Ja. Je mehr, desto weniger... Je*
63 *mehr, desto besser... dann ist das schon eine erste Gesetzmäßigkeit. Ja. Zwar auf einem sehr*
64 *einfachen Niveau, aber (.) es ist schon eine, eine Art Gesetz. Ja, kann man sagen. So.*

65 *Jonas: Aber ein physikalisches.*

66 *Lehrer: Ja, ein physikalisches. Genau. Wir machen eine physikalische Untersuchung. Man kann auch*
67 *andere Untersuchungen machen. Erste Analyse. Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine*
68 *wichtige Rolle: selbstleuchtende und nichtselbstleuchtende Gegenstände. Welche Beispiele aus dem*
69 *Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beide, für diese beiden Kategorien anführen? (..)*
70 *Übertrage deine Antworten in das Arbeitsblatt (.)*

71 Jonas: Also. (..) Selbstleuchtende Gegenstände sind eigentlich, ist eigentlich, zum Beispiel so ne
72 Lampe.

73 Lehrer: Ganz genau. Schreiben wir mal auf. Ja. Lampe (..) <Jonas schreibt mit.>

74 Jonas: Oder so ein Tisch ist nichtselbstleuchtend.

75 Lehrer: Hmhmm. (..)

76 Jonas: Soll ma da einfach ganz viele, zum Beispiel...

77 Lehrer: ...was dir einfällt.

78 Jonas: Dann selbstleuchtend ist die Sonne.

79 Lehrer: Hmhmm. (..)

80 Jonas: Es ist vieles s... naja, außer Lampen und Sonne gibst eigentlich nicht so viel was, naja,
81 vielleicht...

82 Lehrer: ...jetzt hier vor deiner Nase, was von alleine leuchtet....

83 Jonas: ...Feuer...

84 Lehrer: Ganz genau. Und hier, am Tisch, irgendwas, was außer der Lampe selbstleuchtend?

85 Jonas: Das Handy.

86 Lehrer: Was vom Handy?

87 Jonas: Na der Bildschirm.

88 Lehrer: Der Bildschirm. Ja. (..) Oder auch der Bildschirm vom Laptop. Hmhmm.

89 Jonas: Stimmt.

90 Lehrer: Oder auch die Tastatur. Kann man da einstellen, ja. Kennst du das? Kann man zum Leuchten
91 bringen. <Beleuchtet den Hintergrund der Tastatur.> Damit mans gut sieht.

92 Jonas: Aber das hier oben <Lämpchen neben der Webcam> kann man auch zum Leuchten bringen.

93 Lehrer: Das gibst auch. Genau. (?...) Gut, ja. Nichtselbstleuchtend.

94 Jonas: Ähm. Das ist zum Beispiel... (.)

95 Lehrer: Von dem Experiment. Was fällt dir von dem Experiment ein?

96 Jonas: Also nichtselbstleuchtend, die Querstange.

97 Lehrer: Ganz genau. (8 sec) <Jonas schreibt mit.>

98 Jonas: Dann der Gummi.

99 Lehrer: Hmhmm.

100 Jonas: Der Gummi. (..) Gummiöffnung.

101 Lehrer: Die Gummiöffnung. (8 sec) Und wenn du Sonne geschrieben hast, gibts irgendwas am
102 Himmel, was nichtselbstleuchtend ist? (..)

103 Jonas: Wolken?

104 Lehrer: Hmhmm. Wolken, der Mond, die Planeten. Ja. Vieles. Hmhmm. OK. Sehr schön. 2.
105 Experiment.

106 Jonas: Halte also nun das kleine Loch zu und beobachte die Querstange! (..) <Jonas experimentiert.>.

107 Lehrer: Und jetzt machs auf und wieder zu. (..) Wie kannst du deine Beobachtung erklären? Was
108 kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden Gegenständen, wie die
109 Querstange, hast ja gesagt...

110 Jonas: Also wie ich das erklären kann. (..)

111 Lehrer: Was kannst du daraus schließen...

112 Jonas: ...also wenn, (..) naja. (?...) Wenn der Finger drauf ist, dann ist es dunkel und wenn der Finger
113 weg ist, ist es hell.

114 Lehrer: Hmhmm. Und was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden
115 Gegenständen daraus schließen?

116 Jonas: Ähm. (.) Das (.) auf die Sicht.. auf die Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden, ähm. (..) Das,
117 das man sie (.) nicht gut sehen kann, wenn es dunkel ist.

118 Lehrer: Hmhmm.

119 Jonas: Aber zum Beispiel eine Lampe, dann könnte man das sehen, wenn man sie einschaltet.

120 Lehrer: OK. Versuch einmal mit der Röhre in diesen Raum zu gehen. Ja, da kommt relativ wenig Licht
121 hin. Ja.

122 12 min 40 s - 14 min 18 s: In einem dunkeln Vorraum wird die Vision Tube für nähere Untersuchungen
123 eingesetzt, u. a. bei geschlossener Türe, sodass nur noch ganz wenig Licht durch den Türschlitz
124 kommt.

125 Lehrer: Also, fassen wir zusammen. Wir waren jetzt in diesem kleinen Raum. Kommt da viel oder
126 wenig Licht, oder gar kein Licht hinein?

127 Jonas: Ähm. Da kommt (..) da so (..) so viel Licht, dass man gut sehen kann, aber nicht ganz viel
128 Licht.

129 Lehrer: Nicht ganz viel, aber genau so viel, dass man noch was sehen kann.

130 Jonas: Ja.

131 Lehrer: Ein bisschen kann man sagen. Ja. Ähm. Und wenn gar kein Licht dort wäre?

132 Jonas: Dann würde man auch nichts sehen, weil ähm, (.) weil kein Licht durchscheint.

133 Lehrer: Ganz genau. Das heißt, wenn wir das Loch <der Vision Tube> zuhalten.

134 Jonas: Dann würde man nichts sehen.

135 Lehrer: Ganz genau. Und das heißt, was kannst du... Wenn wir jetzt überlegen. Unter welcher
136 Bedingung sind nichtselbstleuchtende Gegenstände sichtbar? Wie können wir das beschreiben?
137 Wann sind diese Dinge sichtbar?

138 Jonas: Unter welcher Bedingung... Ähm. Also, wie jetzt? Auf... unter welcher Bedingung sind
139 nichtleuchtende Gegenstände... ref... also wegen der Reflektion, oder wie das heißt.

140 Lehrer: Wie sagst du?

141 Jonas: Reflektion, oder...

142 Lehrer: Reflek... Reflexion sagt man, ja. Wegen der Reflexion, genau. Die Reflexion von was?

143 Jonas: Ähm. Von dem Licht.

144 Lehrer: Von dem Licht. Ganz genau. Ja. Und wenn gar kein Licht da ist, dann...

145 Jonas: ...dann gibts auch keine Reflexion, dass... und dann würd man auch nichts sehen.

146 Lehrer: Ganz genau. Schreiben wir das auf. Ja

147 Jonas: Wenn kein Licht da wäre, würde es keine Reflexion... keine Reflexion geben.

148 Lehrer: Genau. Schreiben wir also, wenn kein Licht vorhanden ist (..) gibt es... wie gehts weiter? (14
149 sec) <Jonas schreibt auf.>

150 Jonas: ...gibt es keine Reflexion. (10 sec) <Jonas schreibt auf.>

151 *Lehrer: Und wenn wir jetzt noch beschreiben wollen, was das mit der Sichtbarkeit von*
152 *nichtselbstleuchtend Gegenständen macht?*

153 *Jonas: Dann... (..) Also, was das mit der Sichtbarkeit von Licht... (..) Daraus schließen, also, ähm, (.)*
154 *dass, es ohne Reflexion, dass ein, dass es nicht funktioniert, oder.*

155 *Lehrer: Genau. (.) Deshalb: ...dann können wir nichtselbstleuchtend nicht...*

156 *Jonas: ...sehen.*

157 *Lehrer: Ganz genau.*

158 17:23 - 18 min 21 s: Der Satz wird ein paar Mal wiederholt und aufgeschrieben. Jonas hat Fragen zu
159 der Schreibweise.

160 *Lehrer: Versuchen wir noch einen Satz dazu zu schreiben. Tri.. Wie würdest du den Satz*
161 *vervollständigen? Tritt ein bisschen Licht...*

162 *Jonas: ...in das Loch, kann man die Querstange auch schon sehen...*

163 *Lehrer: ...ein bisschen sehen. Auch schon sehen, ein bisschen sehen. Ja. (55 sec) <Jonas schreibt*
164 *auf.> Gut. So. 3. Experiment.*

165 *Lehrer: Wir machens jetzt so. Wie schieben das ein bissl auf die Seite, so, tack, das gegeben wir*
166 *rüber, das brauchst du nicht, (..) schau. Wir machen das so. Die Lampe ist da, das Papier ist da, und*
167 *das kleine Loch ist nach unten gerichtet, ja, sodass das Licht nicht direkt hineinkommt.*

168 *Jonas: Ich glaub, das reflektiert wieder.*

169 *Lehrer: Schau ma mal. <Überrascht von der schnellen Erklärung.> (..)*

170 *Jonas: Ja, das reflektiert.*

171 *Lehrer: Hmhmm. (..) Also schreiben wir auf...*

172 *Jonas: Ähm. Naja, soll ich jetzt aufschreiben das Papier, das Papier reflektiert, nein...*

173 *Lehrer: Das Papier reflektiert, das kannst du schon schreiben...*

174 *Jonas: Das Papier reflektiert das Licht in das kleine Loch.*

175 *Lehrer: Hmhmm. (30 sec) <Jonas schreibt auf.> Perfekt.*

176 *Jonas: Hast du das selber gebaut?*

177 *Lehrer: Ja, das hab ich selber gebaut, ja. (.) Und wenn wir jetzt schreiben, ja, wir wollen den Vorgang*
178 *in Bezug auf Senden und Empfangen beschreiben. Was sendet und was empfängt, wenn du Lampe,*
179 *Papier und Röhre beschreiben möchtest.*

180 *Jonas: Also. (..)*

181 *Lehrer: Da unten sind wir, ja. Wenn du..*

182 *Jonas: ... hier sind wir.*

183 *Lehrer: Genau. Versuche den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen von Licht zu*
184 *beschreiben. Ja, wenn das so ist, ja. Du schaust hier durch, beobachtest die Querstange, es gibt die*
185 *Lampe, es gibt das Papier und versuch den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen zu*
186 *beschreiben. (..)*

187 *Jonas: Also, (.) also, da, also die Lampe, sendet, das Papier, also sendet das Licht auf das Papier,*
188 *das Papier sendet das Licht dann ins Loch und das Loch, ähm, und durch das Loch gerät das Licht*
189 *dann auf die Querstange.*

190 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Und das Papier, was muss es machen, damit es das Licht wegsenden kann?*

191 *Jonas: Reflektieren.*

192 *Lehrer: Ja, das heißt vorher empfangen. Ja. Können wir, schreiben wir das auf. Die Lampe... (..) was*
193 *macht die Lampe?*

194 22 min 19 s - 24 min 03 s: Der Satz wird zum Zweck des Aufschreibens mehrmals wiederholt. Jonas
 195 erwähnt zwar, dass das Papier Licht empfangen muss, um es zu reflektieren, verwendet jedoch nicht
 196 die angebotene Beschreibung reflektieren = empfangen und weitersenden.

197 *Lehrer: Ich hab das so beschrieben, weil manchen fällt das ein bisschen schwierig, ähm schwer, was*
 198 *Reflexion bedeutet. Und Reflexion ist Empfangen und Senden. Man empfängt etwas und sendet was*
 199 *weiter, das hast du eh wunderbar schon beschrieben...*

200 *Jonas: (?...)*

201 *Lehrer: (?...) das ist die Grafik. OK. Passt. Nächstes Experiment. So. Untersuche nun das*
 202 *Zurücksenden...*

203 *Jonas: (?...)*

204 *Lehrer: Ja, und dann haben wir sozusagen auch empfangen und senden, kann man auch als*
 205 *zurücksenden bezeichnen. Ja. Als ein Wort. Ja. Und jetzt haben wir hier einen Spiegel, einen*
 206 *Schminkspiegel, das ist praktisch, weil er klein ist und das weiße Papier. (.) Und ich halte dir das*
 207 *einmal da den Spiegel drunter und einmal das Papier. Ja. So, schau mal durch die Röhre. Ja.*

208 *Jonas: Wie vorher.*

209 *Lehrer: Wie vorher. Bleib, bleib mit dem Auge drauf und drück es fest drauf genau. Und sag mir, ab*
 210 *welchem Zeitpunkt der Spiegel drunter ist. (..)*

211 *Jonas: Jetzt.*

212 *Lehrer: Und was ist anders als vorhin?*

213 *Jonas: Weil, irgendwie scheint weniger Licht, nein, es scheint nicht weniger Licht, doch nur beim*
 214 *Papier ist es an ein paar Stellen und beim Spiegel ist es nur an einem ganz, einem ganz kleinen Ort.*

215 *Lehrer: Ganz genau. Also. Mit welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Lichtpunkt auf der*
 216 *Querstange erzeugen? Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht?*
 217 *(..)*

218 *Jonas: Also das gerichtete und ungerichtete. Also das gerichtete ist beim Spiegel und ungerichtete*
 219 *beim Papier.*

220 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Also. Schreiben wirs auf.*

221 25 min 46 s - 27 min 38 s: Das Erarbeitete wird aufgeschrieben.

222 *Lehrer: Schau mal da. Hier ist ein Schatten, oder? <Der Schattenbereich einer Deckenkante wird fürs*
 223 *Experimentieren herangezogen.>*

224 *Jonas: Ja.*

225 *Lehrer: Kommt da direkt das Licht von der Lampe hin?*

226 *Jonas: Ähm. (..) Nein.*

227 *Lehrer: Nein. Das wird...*

228 *Jonas: ...das wird auf den Tisch reflektiert, dann ähm...*

229 *Lehrer: Und schau mal, was passiert, wenn ich das Papier dahin richte, schau mal den Schatten*
 230 *genau an, was passiert. (..) Siehst du es?*

231 *Jonas: Nein.*

232 *Lehrer: Schau mal genau auf den Schatten. Das Papier ist jetzt da. Und beobachte genau den*
 233 *Schatten.*

234 *Jonas: Der wackelt irgendwie, ein bisschen, der Schatten. (..) Oh, er wird heller.*

235 *Lehrer: Er wird heller. Ganz genau. Und beim Spiegel, geht das auch?*

236 *Jonas: Ja.*

237 *Lehrer: Ja.*

238 *Jonas: Weil das, weil das Licht reflektiert auf dem Spiegel, und das spiegelt (?...)*

239 *Lehrer: Das heißt. Schau. Der Spiegel kann genau das Gleiche...*

240 *Jonas: ...es ist wie eine Taschenlampe eigentlich.*

241 *Lehrer: Ist wie eine Taschenlampe eigentlich. Aber, ist es selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?*

242 *Jonas: Es ist nichtselbstleuchtend.*

243 *Lehrer: Genau. Deswegen muss es zuerst Licht empfangen und...*

244 *Jonas: ...und dann weiterreflektieren...*

245 *Lehrer: ...und dann weiterreflektieren, weitersenden, zurücksenden. Ja. Reflektieren, zurücksenden ist*
246 *das Gleiche.*

247 *Jonas: Also soll ich das da noch hinschreiben.*

248 *Lehrer: Ne, brauch ma nicht. Das hast du... Aber du hast es schön gesehen, gell, das wird dann, der*
249 *Schatten wird schwächer. So. Weiße versus schwarze Oberfläche. 5. Experiment.*

250 29 min 10 s - 29 min 43 s: Das nächste Experiment wird vorbereitet und eine gute Position für die
251 Beobachtung gefunden, sodass das kleine Loch knapp ober den Oberflächen ist und die Vision Tube
252 parallel dazu. Das weiße Papier liegt oberhalb des schwarzen Umschlags.

253 *Lehrer: Und jetzt geb ich das Papier weg und versuch zu beschreiben, was passiert...*

254 *Jonas: ...habs schon (?...)*

255 *Lehrer: ... nein, nein. Jetzt ist es noch da und jetzt geb ich es weg.*

256 *Jonas: Es wird dunkler.*

257 *Lehrer: Es wird dunkler. Aber kannst du die Stange noch immer sehen?*

258 *Jonas: Ähm. (..) ganz wenig, ja.*

259 *Lehrer: Ganz wenig, ja.*

260 *Jonas: Weils trotzdem reflektiert.*

261 *Lehrer: Weils trotzdem reflektiert. Das hast du richtig gesagt. Ja. Also. Ist die Querstange noch*
262 *sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?*

263 *Jonas: Ja.*

264 *Lehrer: Ja. Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden? (..)*

265 *Jonas: Ähm nein (..) ähm, doch ja, ich weiß schon.*

266 *Lehrer: Hmhmm. Sonst wär es ja nicht mehr sichtbar, oder? Das heißt auch dunkle Flächen schicken*
267 *Licht...*

268 *Jonas: ...ja, schicken Licht, nur nicht so stark wie weiße.*

269 *Lehrer: Ganz genau.*

270 *Jonas: Das ist so ähm, so wie ähm, wenn man, bei dem Stein, ähm, bei meiner Tante, die hat nen*
271 *Pool und die hat da schwarze Steine und weiße Steine. Und wenn die Sonne jetzt das ähm (.) Licht*
272 *auf den weißen Stein reflektiert, wird das Licht sofort wieder ähm zurückgeschickt und die schwarzen,*
273 *die schwarzen Steine behalten das Licht und schicken es nicht zurück. Das heißt die schwarzen*
274 *Steine sind immer sehr heiß, da kann man nicht gut drauf gehen, und bei den weißen kann man gut*
275 *drauf gehen.*

276 *Lehrer: Hmhmm. Perfekt. Ja. Schau, das ist die letzte Frage. Welche der beiden Oberflächen kann*
277 *theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?*

278 Jonas: Na die weiße.

279 Lehrer: Na, vorhin hast du es gerade erklärt, bei den Steinen deiner Tante.

280 Jonas: Ah ja, stimmt, die schwarze...

281 Lehrer: ...die schwarze, ja. OK, schreiben wir das alles auf.

282 31 min 30 s - 32 min 13 s: Das Erarbeitete wird festgehalten.

283 Lehrer: Ja. Mach ein Punkt ja. Da sie dunkler ist..., wie würdest du es weiter sagen? (..)

284 Jonas: Da (.) sie (.) dunkler (.) ist <Schreibt mit.>

285 Lehrer: ...oder dunkler müsste man eigentlich sagen....

286 Jonas: ...da sie dunkler ist (..) wird das Licht auch dunkler reflektiert.

287 Lehrer: Kann Licht dunkler reflektiert werden? Glaubst du?

288 Jonas: Nein.

289 Lehrer: Nein, das klingt nicht gut. Wie müssten wir das sagen?

290 Jonas: Ähm, wird (.) Licht wärmer reflektiert.

291 Lehrer: Das ist eigentlich richtig, was du sagst. Was ist denn Wärme?

292 Jonas: Wärme ist...

293 Lehrer: Kann Wärme das Gleiche sein wie Licht?

294 Jonas: Wärme kann nicht das Gleiche sein wie Licht. Naja, oder doch?

295 Lehrer: Schau mal, wenn das leuchtet, wirds dann warm?

296 Jonas: Ja, da ist es schon heiß.

297 Lehrer: Ja. Das hast du eigentlich supergut gesagt. Weil, wenn sie dunkler ist, wird weniger Licht, aber

298 mehr Wärme reflektiert.

299 Jonas: Ja.

300 33 min 16 s - 34 min 37 s: Jonas schreibt das Erarbeitete auf. Die Nummerierung im Handout ist

301 fehlerhaft und wird ausgebessert.

302 Lehrer: Aber das hast du richtig gutgesagt, das mit dem Wärme zurückschicken. Ja. Es ist zwar kein

303 Vorgang der Reflexion dann, in der Physik heißt das dann Remission. Klingt ganz kompliziert. Wieder

304 zurück emittieren, wieder zurückstrahlen. Ja. Emission sagt man zu dem Licht und Remission ist,

305 wenn man Licht aufnimmt und Wärme abstrahlt. Ja. Und Wärme ist nicht sichtbares Licht.

306 Jonas: Weil zum Beispiel die Sonne, ähm, die sendet ja das Licht zur Erde und die ist ziemlich heiß

307 und das ist auch Licht und das ist ziemlich heiß, wenn man das angreift und Licht hier reintut, dann

308 wirds warm.

309 Lehrer: Ganz genau. Licht und Wärme kommt immer gemeinsam.

310 35 min 20 s - 36 min 51 s: Als weiteres Beispiel wird die Herdplatte angeführt. Jonas weiß, dass bei

311 ihm zu Hause die Herdplatte nicht leuchtet, aber bei seiner Oma schon und dass sie erst mit der Zeit

312 anfängt, sichtbar zu glühen. Es wird erwähnt, dass es neben den klassischen Herdplatten auch

313 Induktionsplatten gibt und der Unterschied erklärt. Das 7. Experiment wird vorbereitet und eine gute

314 Position für die Beobachtung gesucht, denn am Sessel sitzend lassen sich die am Tisch liegenden

315 Blätter nicht so gut beobachten.

316 Lehrer: Und versuch das kleine Loch knapp über die Flächen zu halten. Und dann geh von links nach

317 rechts und sag mir, wann du über welcher Fläche bist.

318 Jonas: Ich hab's gesehen.

319 Lehrer: Ja, bleib oben, und dann geh von links nach rechts. Geh rüber (.)

320 Jonas: Jetzt bin ich bei Grün.

321 Lehrer: Aha.

322 Jonas: Und jetzt bei Rot. (?...)

323 Lehrer: Und was kannst du beobachten, wenn du bei Grün bist?

324 Jonas: Ja, warte, ich bin bei Weiß.

325 Lehrer: Ja

326 Jonas: Das ist ganz weiß und bei Grün?

327 Lehrer: Ja.

328 Jonas: Ist dann es dann ein bisschen dunkler, es kommt doch auf...

329 Lehrer: ...aber wie schaut das aus. Schau mal genau hin. (.) Wir müssen genau arbeiten. Was siehst

330 du auf der Querstange? (.)

331 Jonas: Ein kleinerer Punkt auch.

332 Lehrer: Es wird ein kleinerer Punkt, ja. Es ist nicht so stark. Und ist eine, ist ein anderer Unterschied

333 noch, außer, dass es kleiner ist? (.)

334 Jonas: Es ist dunkler.

335 Lehrer: Und hats eine Farbe?

336 Jonas: Ähm. Naja grün sieht das nicht aus, es sieht eher... (..)

337 Lehrer: Schau einmal. Wechsel mal zwischen Grün und Rot hin und her. (.)

338 Jonas: (?...)

339 Lehrer: Machs so. Und geh knapp drüber. Ja. Warte, schau. Du musst es so halten. Warte, geh runter

340 vom Sessel, oder ich halt es dir da hoch, schau. (.) Und jetzt geh noch von links...

341 Jonas: Es wird grün, oder?

342 Lehrer: Hmhmm. Und jetzt?

343 Jonas: Ähm, rot. Doch, da. Also es gibt so einen ganz kleinen Unterschied.

344 Lehrer: Ja.

345 Jonas: Ähm. Hier wirds ein bisschen heller und hier ist es auch ein bisschen, auch ein bisschen

346 dunkler.

347 Lehrer: Und kannst du die Farbe wieder erkennen?

348 Jonas: (?...)

349 Lehrer: Hmhmm?

350 Jonas: Vielleicht beim Mischen? Könnte ich dann auch... also (..) <Jonas experimentiert.>

351 Lehrer: Schau ganz genau hin. Ja.

352 Jonas: Also, irgendwie, da ist ein kleiner Lichtschatten, wenn ich rüber gehe, bewegt sich der.

353 Lehrer: OK. Deswegen hab ich die Kamera da.

354 38 min 59 s - 39 min 17 s: Die Webcam wird an den Laptop angeschlossen.

355 Lehrer: Schau, ich geb die Kameras da rein. <Wird an die große Öffnung gedrückt.>. Jetzt bin ich da

356 über dem Weißen. Und schau genau auf das Bild. Ja.

357 Jonas: Ja. (..)

358 Lehrer: Und jetzt?

359 *Jonas: Es wirds grün, stimmt.*

360 *Lehrer: Und jetzt?*

361 *Jonas: Wirds rot. (.) Das kann man auch mit dem freien Auge nicht so gut erkennen.*

362 *Lehrer: Das kannst du nicht so gut erkennen mit dem freien Auge, gell. Aber du siehst, dass die*
363 *Querstange auf jeden Fall... es ist auch ganz schwach, oder? Du hast ja auch gesagt, es wird heller*
364 *und dunkler. Oder? Da siehst du es eigentlich sehr gut. (.) Und das ist weiß, oder?*

365 *Jonas: Ja. (..)*

366 *Lehrer: Machen wir es vielleicht ein bisschen stärker, machen wir es ganz nah an dem, ja. <Die*
367 *Lampe wird näher zum Papier gerückt.> (..) Siehst du es deutlich?*

368 *Jonas: Ja.*

369 *Lehrer: OK, perfekt.*

370 40 min 09 s - 40 min 23 s: Jonas fragt nach dem Mikrofon und in welcher Form die Unterrichtseinheit
371 aufgezeichnet wird.

372 *Lehrer: OK. Passt. Was kannst du beobachten? Also schreiben wir zuerst, was kannst du*
373 *beobachten? Ober der grünen Fläche...*

374 *Jonas: Ähm. Also. (.) Die Farbe des, ähm, Untergrunds...*

375 *Lehrer: Hmhmm.*

376 *Jonas: Die Farbe des Untergrunds beeinflusst auch die Farbe des Lichtpunkts.*

377 *Lehrer: Ganz genau. (50 sec) <Jonas schreibt auf.> Welche Rolle spielt das Zurücksenden und*
378 *Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang? Schau mal her. Wir haben hier, dieses Spielzeug.*
379 *<Regenbogenkristallkugel>*

380 *Jonas: Ja. Dieses Glas. <Das gebrochene Licht bestrahlt die farbigen Flächen.>*

381 *Lehrer: Und an manchen Stellen kannst du was Besonderes beobachten.*

382 *Jonas: Ja.*

383 *Lehrer: Was ist das?*

384 *Jonas: Das, das...*

385 *Lehrer: Ich leuchte dahin.*

386 *Jonas: Das, das ist... (..)*

387 *Lehrer: Was ist besonders?*

388 *Jonas: Also... (..)*

389 *Lehrer: Schau dir die einzelnen Sachen an unterhalb. Siehst du eine Stelle, die irgendwie besonders*
390 *ist?*

391 *Jonas: Ja, die ganz in der Mitte, weil die ganzen Diamanten, die ganzen Dreiecke von allen Seiten,*
392 *werden in der Mitte wieder rausgelassen. <an einem zentralen Punkt treffen mehrere weiße Dreiecke*
393 *auf die Fläche.>*

394 *Lehrer: Hmhmm. Und schau mal auf diese Stelle. <An welcher die Regenbogenfarben zu erkennen*
395 *sind.>*

396 *Jonas: Da sind nur ganz wenige.*

397 *Lehrer: Und wie würdest du das Licht beschreiben hier?*

398 *Jonas: Ähm. Also, das (?...)*

399 *Lehrer: Schau mal ganz genau, wo mein kleiner Finger ist, was siehst du da?*

400 Jonas: Ganz schwach, ähm, (.) die Licht, das Licht...

401 Lehrer: Ja, schau, halt den Finger da. Siehst du? (..) Was siehst du jetzt dort an der Stelle?

402 Jonas: Hier?

403 Lehrer: Unterhalb von meinem Finger? Schau genau hin.

404 Jonas: Ja, also das Licht, was hier durchscheint, das kann, also. Wenn das Licht...

405 Lehrer: Schau mal von der Seite, von der Seite, was unterhalb von meinem Finger sichtbar ist, ja. (..)

406 So jetzt sieht man es gut.

407 Jonas: Naja, das Licht, dass hier oben drauf scheint... (..)

408 Lehrer: Schau genau auf den Schatten, unterhalb von meinem Finger. (..)

409 Jonas: Naja, ich kann jetzt nicht...

410 Lehrer: Komm auf meine Seite, da. Was siehst du im dunklen Bereich. <Die Hand wirft einen Schatten

411 auf die Oberfläche, in diesem Bereich fällt hauptsächlich gebrochenes Licht, weshalb die

412 Regenbogenfarben besser zu erkennen sind. Sehr deutlich sind sie leider jedoch nicht zu erkennen.>

413 Jonas: Ja, zwei Lichter.

414 Lehrer: Und sind die weiß?

415 Jonas: Ähm. Rot irgendwie.

416 Lehrer: Nur rot? Und?

417 Jonas: Blau.

418 Lehrer: Und was noch? (.) Grün, gelb, ist wie beim Regenbogen, oder?

419 Jonas: Ja.

420 Lehrer: Und jetzt, nimm einmal das Grüne.

421 Jonas: Die grüne Mappe?

422 Lehrer: Ja, die grüne Mappe. Und schieb einmal...

423 Jonas: ...drunter.

424 Lehrer: Unter meinen Finger. Und schau dir diesen farbigen Punkt an. Legs hin. Legs ruhig hin, ja. (.)

425 Und was siehst du da?

426 Jonas: Grün.

427 Lehrer: Nur grün. Und jetzt gib es weg. (..) Und jetzt? (.) Ist es wieder bunt.

428 Jonas: Ja, es ist wieder bunt.

429 Lehrer: Und wenn du das Grün drunter gibst? (..) Sind ja zwei, kannst es nebeneinanderlegen.

430 Jonas: Ist es wieder grün.

431 Lehrer: Ist es nur grün. Und wenn du das Rote nimmst? (.) Schiebs drunter. (..) Was bleibt über?

432 Jonas: Ist alles rot.

433 Lehrer: Ganz genau. Und wie würdest du das jetzt beschreiben? (.) Wenn wir das Licht jetzt aufteilen

434 können, dass weiße Licht, ja. Hier sehen wir es noch einmal, aber ein bisschen schöner. <Das Bild

435 Regenbogenprisma wird gezeigt.> Schau. Das ist ein bisschen besser gemacht, als mit dem kleinen

436 Ding. (.) Das Licht wird aufgeteilt hier.

437 Jonas: Ähm. Also, in... Also, das Licht glaubt halt, dass es zu dem wird, der leitets dann an dem...

438 Lehrer: Woher kommt das Licht?

439 Jonas: Ähm. Aus diesem Spalt. <Aus dem hinteren Bereich des Bildes, was falsch ist.>

440 Lehrer: Von da?

441 Jonas: Ja. Das kommt von da.

442 Lehrer: Nein, von der Seite kommts und leuchtet von da, also weißes Licht...

443 Jonas: ...also das fällt hier rauf, das reflektiert dahin, das dahin, das dahin...

444 Lehrer: Und wie wird das hier aufgeteilt? (..) In die...

445 Jonas: ...Farben.

446 Lehrer: In die einzelnen Farben. Ja. Und wenn jetzt dieses farbige Licht auf eine rote Fläche trifft, was

447 würdest du, wie würdest du den Vorgang dann beschreiben, in Bezug auf Zurücksenden und

448 Verschlucken?

449 Jonas: Das (.) das Rote, die anderen Farben auch in seine Farbe färbt. Also, dass (..)

450 Lehrer: Kann Grün umgefärbt werden in Rot?

451 Jonas: Nein.

452 Lehrer: Nein. Aber wenn jetzt dieser bunte Strahl auf die rote, wie wir es gemacht haben, auf die rote

453 Fläche trifft, was ist, was passiert in Bezug auf Zurücksenden und Verschlucken?

454 Jonas: Naja. Alles wird rot, obwohl es nicht umgefärbt ist.

455 Lehrer: Es wird nicht umgefärbt. Das stimmt. Aber wenn du sagst zum Beispiel, eine dunkle Fläche (.)

456 sendet viel oder wenig zurück?

457 Jonas: Eine dunkle Fläche eher wenig.

458 Lehrer: Eher wenig. (.) Und eine rote Fläche?

459 Jonas: Eher viel?

460 Lehrer: Was?

461 Jonas: Also, es refle..., also es sendet ja mehr Licht.

462 Lehrer: Aber welches Licht, aber welches Licht von diesem Streifen wird zurückgeschickt?

463 Jonas: Das Rote.

464 Lehrer: Und der Rest?

465 Jonas: Ähm. Wird... jetzt... ähm, bleibt dann, oder wird weiter ge... (.) also weiter reflektiert.

466 Lehrer: Aber wenn wir, wenn wir das jetzt gehabt haben und das Licht, das Grüne wird weggeschickt

467 vom Roten, dann müsste das ja grün ausschauen. Oder?

468 Jonas: Ja.

469 Lehrer: Was passiert denn mit den anderen Teilen des Lichtes?

470 Jonas: Naja, die (.) verschwinden, eigen, eigentlich einfach. Weil man z..., weil man würde dann ja nur

471 das Rote sehen, obwohl die anderen nicht umgefärbt werden, die verschwinden dann.

472 Lehrer: Können die sich in Luft auflösen?

473 Jonas: Nein.

474 Lehrer: Nein. Wie war das denn beim Dunklen, was passiert den mit dem Licht, dass nicht

475 zurückgeschickt wird?

476 Jonas: Das wird wegreflektiert, oder? Ähm. Oder es ist zu schwach, dass man es sehen kann.

477 Lehrer: Es ist zu schwach, dass man es sehen kann. Es wird in Wärme umgewandelt. Man kann es

478 nicht mehr sehen. Es wird verschluckt. Und dann in Form von Wärme abgestrahlt. Oder?

479 Jonas: Ja.

480 Lehrer: Das heißt, bei den Farbigen... (.) können wir sagen, rote Flächen... (.) in Bezug auf
 481 zurücksenden und verschlucken. Was machen rote Flächen?

482 Jonas: Rote Flächen... (.) also verstärken das rote Licht und lassen das...

483 Lehrer: Kann das rote Licht mehr werden?

484 Jonas: Nein.

485 Lehrer: Nein, kann nicht mehr werden.

486 Jonas: Sie, ähm... sie wandeln das andere in Wärme um und das Rote bleibt.

487 Lehrer: Bleibt das auf der Fläche?

488 Jonas: Ähm. Ja.

489 Lehrer: Schau, wir haben hier zwei Begriffe, wir haben Zurücksenden und Verschlucken.

490 Jonas: Ähm. Also. Das rote, die rote Fläche verschluckt das rote Licht (.) nein, das grüne und das
 491 blaue Licht, ähm...

492 Lehrer: Und was sendet es zurück?

493 Jonas: Das Rote.

494 Lehrer: Ganz genau. Das schreiben wir auf. (70 sec) <Jonas schreibt auf.> Das heißt das rote Licht
 495 kann auf der roten Fläche stärker werden oder nicht?

496 Jonas: Also das rote Licht kann auf der roten Fläche stärker werden, nein. Das kann nicht stärker
 497 werden, nur es wird zurückgesendet.

498 Lehrer: Genau, es wird nur das, was rot ist, zurückgesendet. Wir haben da ja einen
 499 nichtselbstleuchtenden Gegenstand. Kommt da gar kein Licht drauf, wäre die Fläche?

500 Jonas: Schwarz.

501 Lehrer: Genau. Schwarz, nicht sichtbar. Und wenn jetzt Licht daraufkommt, dann?

502 Jonas: Ist sie in Rot sichtbar.

503 Lehrer: Ist sie in Rot sichtbar und alle anderen Farben?

504 Jonas: Werden verschluckt?

505 Lehrer: Werden verschluckt. Und bei Schwarz? (.) Werden alle Farben?

506 Jonas: Verschluckt.

507 Lehrer: Gleichmäßig verschluckt. Und wenn wir 100 % Schwarz hätten, physikalisches Schwarz...

508 Jonas: ... dann würds, ähm, schwarz zurückgeschickt werden...

509 Lehrer: Ich zeig dir mal ein Foto. Von einem Vogel.

510 50 min 53 - 52 min 15 s: Im Internet wird ein Bild des Vogels Lophorina superba gesucht, dessen
 511 Federn 95 bis 97 % Licht absorbieren können. Es wird erwähnt, dass das Bild einen komischen
 512 Eindruck hinterlässt, der schwarze Bereich wie ein Loch wirkt und eigentlich nur durch die Umrisse zu
 513 erkennen ist.

514 Lehrer: Hundert Prozent schwarz, schickt wie viel Licht zurück?

515 Jonas: Null glaub ich.

516 Lehrer: Gar keines, ganz genau.

517 52 min 22 s - 53 min 39 s: Es wird nur kurz erwähnt, dass die schwarze Mappe nicht im
 518 physikalischen Sinn schwarz ist. Auch wird das Bild abgespeichert. Im Anschluss wird der
 519 Anleitungstext für die Analyse und Zusammenfassung vorgelesen.

520 *Lehrer: Wir haben jetzt hier verschiedene Situationen und wir wollen sie definieren möchten, das, was*
521 *wir beobachtet haben, beschreiben und verwenden die Begriffe selbstleuchtend und*
522 *nichtselbstleuchtend. Ja? (.) Ist das klar soweit?*

523 *Jonas: Ja.*

524 *Lehrer: Und ich habe da zu diesen lateinischen Begriffen oder Fachbegriffe, die lateinischen Ursprung*
525 *haben, immer eine Übersetzung hingeschrieben. Emission ist vom lateinischen emittire und das steht*
526 *für Aus...*

527 *Jonas: ...Aussenden...*

528 *Lehrer: ..senden. Ja. Also, schreiben wir hin, Emission beobachte ich...*

529 *Jonas: Als (..) aussenden. (.) Also Emission...*

530 *Lehrer: Aber, aber wo be..., beobachtest du es, bei welcher Art von Gegenständen?*

531 *Jonas: Emission beobachte ich... (..) Also aussenden beobachte ich zum Beispiel, aus.. Das Licht wird*
532 *ausgesendet zum Beispiel.*

533 *Lehrer: Bei der...?*

534 *Jonas: Bei der Lampe*

535 *Lehrer: Genau. Aussenden beobachte, beobachte ich bei der Lampe... (25 sec) <Jonas schreibt auf.>*
536 *Ist sie ein selbstleuchtender oder nichtselbstleuchtender Gegenstand?*

537 *Jonas: Aber eigentlich leuchtet sie ja gar nicht von selbst. Weil sie braucht ja auch Strom, damit sie...*

538 *Lehrer: Sie braucht Energie. Von alleine gehts nicht, ja. Aber sie kann elektrische Energie in...*

539 *Jonas: ...ähm, Licht umwandeln.*

540 *Lehrer: Das heißt, durch elektrische Energie kann sie Licht aussenden, Licht emittieren. Ja, sagt man*
541 *auch. Jetzt gibst drei Sachen. Reflexion, Streuung und den Unterschied zwischen Reflexion und*
542 *Streuung und die Gemeinsamkeit zwischen Reflexion und Streuung.*

543 *Jonas: Also, soll ich das hier auch noch aufschreiben? Reflexion beobachte...*

544 *Lehrer: ...überleg. Genau. Überlege alle vier Punkte und sag mir was du glaubst.*

545 *Jonas: Also eins, zwei, drei... Also bis Reflexion und Streuung, und das mit Absorption?*

546 *Lehrer: Das nicht, die vier Punkte. Reflexion, Streuung, Unterschied zwischen Reflexion und Streuung*
547 *und Gemeinsamkeit.*

548 *Jonas: OK.*

549 *Lehrer: Über... Lies dir alle vier Punkte durch und beginn mit dem, was für dich am logischsten ist.*

550 *Jonas: Reflexion ist, dass Licht zurück... (20 sec) <Jonas schreibt auf.>*

551 *Lehrer: Also du schreibst da. Reflexion beobachte ich...*

552 *Jonas: ...wenn das Licht zurückgesendet wird.*

553 *Lehrer: Zum Beispiel beim?*

554 *Jonas: Zum Beispiel beim Tisch, ähm (?...). Würde das nicht reflektieren, dann würeds hier alles, ähm*
555 *(?...) hier, würeds keine Reflexion geben, dann wäre, würde man das hier, das schwarze hier nicht*
556 *erkennen, oder wie beim Vogel.*

557 *Lehrer: Hmhmm. Und was ist Streuung für dich?*

558 *Jonas: Ähm. Streuung ist, ist so, also, in alle Richtungen verteilen, also verteilen.*

559 *Lehrer: Bei welchem Experiment, wo ist Reflexion vorhanden gewesen und wo war Streuung?*

560 *Jonas: Also. Also Reflexion war bei diesem Tisch und reflektieren bei diesen Mappen.*

561 *Lehrer: Hmhmm.*

562 *Jonas: Und... ähm...*

563 *Lehrer: Und wenn ich sag Streuung ist in alle Richtungen reflektieren?*

564 *Jonas: Das war eher beim Weißen, das war eher beim Papier.*

565 *Lehrer: Eher beim Papier. Streng genommen sagt man bei Reflexion nur beim Spiegel.*

566 *Jonas: Ja.*

567 *Lehrer: Ja. Das ist... Also schreiben wir hin. (40 sec) <Jonas schreibt auf.>*

568 *Jonas: Streuung, in alle Richtungen verteilen, beobachte ich bei den Sonnenstrahlen.*

569 *Lehrer: Mhmm. Schau ma uns zuerst... das ist leider nicht ganz optimal. Das müssen wir ändern. Was*
570 *ist der Untersch..., was ist die Gemeinsamkeit von Reflexion und Streuung?*

571 *Jonas: Reflexion und Streuung. Das beide Li..., nein, (.) es hat doch keine, ähm, Gemeinsamkeit,*
572 *oder?*

573 *Lehrer: Wenn ich sage. Streuung ist beim weißen Papier und Reflexion ist beim Spiegel? Was haben*
574 *sie beide gleich und was haben sie beide nicht gleich?*

575 *Jonas: Also. (.) Nicht gleich ist das, ähm, die Reflexion wird zurückgeschickt und die Streuung nicht (.)*
576 *Und was sie gemeinsam haben? Das beides Lichtstrahlen sind. (..)*

577 *Lehrer: Sie müssen beide einen Lichtstrahl empfangen, den sie dann... (.)*

578 *Jonas: Den tun sie dann wieder wegschicken.*

579 *Lehrer: Wieder zurücksenden. Das haben sie gemeinsam.*

580 59 min 39 s - 1 h 00 min 41 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

581 *Lehrer: Und wenn ich sage Reflexion ist beim Spiegel und Streuung beim weißen Papier? Wo ist dann*
582 *der Unterschied? (..)*

583 *Jonas: Also. Ähm. Das... (..)*

584 *Lehrer: Kannst du dich noch erinnern, das mit dem Lichtpunkt?*

585 *Jonas: Auch, aber... (.)*

586 *Lehrer: Wo war der Lichtpunkt?*

587 *Jonas: Der Lichtpunkt war auf der Mitte.*

588 *Lehrer: Durch, ähm... welche Oberfläche konnte den Lichtpunkt erzeugen?*

589 *Jonas: Ähm, der Spiegel.*

590 *Lehrer: Der Spiegel. Und das weiße Papier?*

591 *Jonas: Das weiße Papier hats irgendwie so gestreut?*

592 *Lehrer: Ganz genau. Was... ähm. Und könnte man sagen, der Unterschied zwischen Reflexion und*
593 *Streuung liegt im...*

594 *Jonas: Also der Unterschied, ähm, liegt im (.) im Untergrund, also im Material auch. Aber...*

595 *Lehrer: ...wie war das mit dem Gerichteten und Ungerichteten?*

596 *Jonas: Das, ähm, der Spiegel es halt wieder wegreflektiert, zurückreflektiert und das alle, ähm, dass*
597 *die Lichtstrahlen zusammentreffen.*

598 *Lehrer: Das heißt, es wird das Licht gerichtete zurückgesendet?*

599 *Jonas: Äh, ja.*

600 *Lehrer: Und bei der Streuung ist es?*

601 *Jonas: Ungerichtet.*

602 *Lehrer: Ganz genau. Also der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung liegt im... (.)*
603 *gerichteten...*

604 *Jonas: ...und Ungerichteten. (.)*

605 *Lehrer: Genau. Im gerichteten und ungerichteten (.) Zurücksenden. (40 sec) <Jonas schreibt auf.>*
606 *Das heißt, Streuung, in alle Richtungen verteilt, beobachte ich...*

607 *Jonas: Streuung, in alle Richtungen, ähm (..) Streuung beobachte ich (.) wie so ein Strahl, eigentlich,*
608 *die, also ich beobachte es, wie (..) zum Beispiel, wenn man da mal eine Schüssel mit Haselnüssen*
609 *hat, und die runterfallen, verstreuen ja auch die Haselnüsse.*

610 *Lehrer: In alle Richtungen.*

611 *Jonas: Ja, in alle Richtungen.*

612 *Lehrer: Ja. Und, ähm, tut es das Licht aussenden? Wenn ich sag, Streuung passiert beim weißen Blatt*
613 *Papier. Kann das Licht, kann das weiße Papier, ist das selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?*

614 *Jonas: Nichtselbstleuchtend.*

615 *Lehrer: Das heißt, es muss vorher Licht...?*

616 *Jonas: Es muss vorher Licht auf das, auf den nichtselbstleuchtend...*

617 *Lehrer: ...empfangen...*

618 *Jonas: ...Gegenstand, ähm, senden.*

619 *Lehrer: Und wie wird das dann zurückgesendet?*

620 *Jonas: Ähm, gestreut.*

621 *Lehrer: In alle Richtungen.*

622 *Jonas: Ja, in alle Richtungen.*

623 1 h 03 min 54 s - 1 h 05 min 20 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

624 *Lehrer: Und jetzt machen wir noch die Absorption. Absorption, Aufsaugung, beobachte ich...?*

625 *Jonas: Ähm. Aufsaugung, wie zum Beispiel...*

626 *Lehrer: In welchen Situationen haben wir das beobachtet?*

627 *Jonas: Also. Ähm. (?...) ein schwarzes, also das schwarze saugt dann das rote Licht auf.*

628 *Lehrer: Hmhmm. Genau. Das schwarze Licht saugt das rote Licht auf, aber auch das weiße, ja, und*
629 *wenn, bleiben wir nur bei weißem Licht, ja. Das ist ein bisschen einfacher. Wenn ich weißes Licht*
630 *habe, wo wird Licht aufgesaugt, absorbiert?*

631 *Jonas: Ähm. Also, (.) dann wird es, also, beim weißen Licht wirds auch aufgesaugt beim schwarzen*
632 *Licht...*

633 *Lehrer: Bei schwarzen Flächen...*

634 *Jonas: Bei schwarzen Flächen wird das weiße Licht aufgesaugt.*

635 *Lehrer: Genau. Und bei farbigen Flächen?*

636 *Jonas: Wird auch das weiße Licht aufgesaugt, nur halt nicht so stark wie beim Schwarzen.*

637 *Lehrer: Hmhmm. Ganz genau.*

638 1 h 06 min 40 s - 1 h 9 min 50 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei
639 werden gemeinsam die Inhalte noch weiter präzisiert. Im Anschluss wird das Anwendungsbeispiel "
640 Ein Spezialfall: Finsternis in deinem Alltag" vorgelesen.

641 *Lehrer: Beurteile die Aussagen. (.) In dieser Situation gibt es keine Lichtquellen. Die Gegenstände*
642 *leuchten von sich aus. Die helleren Gegenstände besitzen eine eigene Leuchtkraft. Oder. Auch in der*
643 *Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht vorhanden ist, können die Umrisse nicht gesehen*
644 *werden. (..) Wie würdest du die beiden Aussagen beurteilen?*

645 *Jonas: Also. Ähm. Also, die Gegenstände leuchten von sich aus. Die hellen Gegenstände besitzen*
646 *eine eigene Leuchtkraft. Ähm. Die Hellen... (?...) Naja, zum Beispiel, wenn man jetzt, da, ah, wenn wir*
647 *eine gelbe Mappe hätten, also, das hier ist ja, ähm, das ist gelb. Bei gelb würde man ja stärker sehen*
648 *als bei schwarz, weil es eine stärkere Leuchtkraft hat.*

649 *Lehrer: Hmhmm.*

650 *Jonas: Weil es heller ist.*

651 *Lehrer: Aber besitzt sie eine eigene Leuchtkraft? (..) Wenn ich jetzt mit dem hier in das dunkle*
652 *Kammerl geh, dann sehe ich das weiße besser. Leuchtet das Weiße von sich aus?*

653 *Jonas: Nein.*

654 *Lehrer: NEIN. Besitzt es eine eigene Leuchtkraft?*

655 *Jonas: Nein.*

656 *Lehrer: Nein. Und was ist die zweite Aussage?*

657 *Jonas: Ähm. Auch in der Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht vorhanden ist, können die*
658 *Umrisse nicht gesehen werden. (..) Also das ist so, wie wenn man dieses kleine Loch nicht da hätte,*
659 *als wenn das schwarz wäre <der Bereich des kleinen Loches schwarz verklebt> würde man nichts*
660 *erkennen, weil sonst alles schwarz ist.*

661 *Lehrer: Weil sonst alles schwarz ist. Wenn gar kein Licht ist, dann wäre...?*

662 *Jonas: Alles schwarz.*

663 *Lehrer: Alles schwarz. Ja. Was heißt denn Restlicht?*

664 *Jonas: Restlicht, äh...*

665 *Lehrer: Du bist draußen in der Natur, es gibt keinen Mond, es gibt keine Sonne, keine*
666 *Taschenlampe...*

667 *Jonas: Also, die Augen ähm, da wird die Pupille ja größer.*

668 *Lehrer: Die Pupille wird größer. Um einfach das wenige Licht besser wahrzunehmen. Aber woher*
669 *kommt das wenige Licht?*

670 *Jonas: Das wenige Licht kommt. (..) Von den helleren Gegenständen.*

671 *Lehrer: Können die das selber produzieren? Oder müssen die das reflektieren?*

672 *Jonas: Die müssen, das müssen sie reflektieren.*

673 *Lehrer: Und woher kommt das Licht, das sie reflektieren?*

674 *Jonas: Naja, es geht ja... Von den Pupillen vielleicht, das geht ja gar nicht, weil, ähm keine Sonne und*
675 *kein Mond gibt, dann kann eigentlich gar nichts reflektieren.*

676 *Lehrer: Stimmt! Aber irgendwas muss ja da sein, dass ja das Licht erzeugt, das es dann reflektiert*
677 *wird.*

678 *Jonas: Ja.*

679 *Lehrer: Was für Möglichkeiten gibt es denn da? Was heißt denn Finsternis in unserem Alltag? (..) Bedeutet... Kann es da absolut dunkel sein?*

680 *Jonas: Nein.*

681 *Lehrer: Dann schreiben wir hin, Finsternis in unserem Alltag bedeutet...*

682 *Jonas: ...dass, das Nacht ist, aber man auch irgendwas, so Lichtverschmutzung.*

684 Lehrer: LICHTVERSCHMUTZUNG. Ganz genau. Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass ein
685 bisschen Restlicht vorhanden ist. (14 sec) <Jonas schreibt auf.> Zum Beispiel durch
686 Lichtverschmutzung. (43 sec) <Jonas schreibt auf.> Was wäre denn noch eine Möglichkeit?

687 Jonas: Ähm.

688 Lehrer: Außer das Licht von einer Stadt?

689 Jonas: Buh.

690 Lehrer: Wenn die Sonne und der Mond untergegangen sind?

691 Jonas: Die Sterne?

692 Lehrer: Die Sterne! Ganz genau. Die Sterne sind eigentlich schon ziemlich stark. Ja. Wie die Sonne,
693 ähnlich, tun die auch Licht ausschicken. Ja. Umrisse sehen wir...? Warum sehen wir die Umrisse bei
694 den hellen Flächen?

695 Jonas: Ähm. Weil (..) sie mehr Licht aufnehmen können auch und ähm (..) weil (..) die hellen Flächen
696 vielleicht auch besser zu erkennen sind.

697 Lehrer: Aber warum sind sie besser zu erkennen? Was können sie besser als die dunklen Flächen?

698 Jonas: Ähm. Sieht man... Irgendwie sieht man die noch besser als schwarz, ähm, wenn man was
699 Gelbes vor was Schwarzes tut, dann sieht man das Gelbe eigentlich besser.

700 Lehrer: Hmhmm. (..) Aber was können helle Oberflächen besser als dunkle?

701 Jonas: Ähm. Gesehen werden.

702 Lehrer: Weil sie...?

703 Jonas: Heller sind.

704 Lehrer: Und wenn jetzt nur noch wenig Restlicht vorhanden ist?

705 Jonas: Ähm. (..)

706 Lehrer: Du hast es eh vorhin gesagt. (..) Die hellen Oberflächen sieht man weil? (..) Können sie selber
707 Licht produzieren?

708 Jonas: Nein.

709 Lehrer: Aber sie können was besser als dunkle Flächen?

710 Jonas: Reflektieren.

711 Lehrer: Ganz genau. Umrisse sehen wir die hellen Oberflächen... wie gehts weiter?

712 Jonas: ...besser reflektieren.

713 Lehrer: Genau. Besser das Restlicht reflektieren. (45 sec) <Jonas schreibt auf.>

714 1 h 16 min 32 s - 1 h 17 min 27 s: Die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die
715 Funktionsweise deines Auges" wird vorgelesen. Jonas liest die Aussagen laut vor.

716 Lehrer: Das sind jetzt vier Aussagen. Manche sind richtig, manche sind falsch. Welche sind deiner
717 Meinung nach falsch? (..)

718 Jonas: Eins ist richtig. <Auge ist ein aktives Organ, besitzt Sehstrahl.>

719 Lehrer: Hmhmm. Was noch?

720 Jonas: Zwei ist falsch. <Sehstrahl wirft ein Blick durchs Fenster.>

721 Lehrer: Hmhmm. Und wenn du Eins und Zwei vergleichst? Dann gehts ja, zweimal geht es um einen?

722 Jonas: Sehstrahl.

723 Lehrer: Sehstrahl.

724 Jonas: Und bei drei...

725 Lehrer: Also müssten vielleicht beide richtig sein, oder?

726 Jonas: Ähm. Stimmt. Eins und zwei ist richtig. Drei ist falsch. <Das Auge muss Licht empfangen.>
 727 Und, ähm (..) und ähm drei und vier <Auge ist passiv, hat keinen Sehstrahl> sind falsch.

728 Lehrer: Also entweder müssen eins und zwei richtig sein oder drei und vier.

729 Jonas: Ähm. Es sind eins und zwei richtig.

730 Lehrer: Hmhmm. Ok. (.) Und jetzt, hast du hier zwei Tipps.

731 Jonas: Ja.

732 Lehrer: Tipp Nummer zwei.

733 Jonas: Wollen wir nicht mit...

734 Lehrer: ...beginnen wir mal mit dem zweiten Tipp. Überlege dir, warum du nicht gut riechen kannst,
 735 wenn deine Nase verstopft ist.

736 Jonas: Das ist, weil, weil, es da nicht (..) das was (?...) verstopfter Geruchssinn, ähm, ähm,
 737 überdecken.

738 Lehrer: Also da unten, im unteren Bereich <der Nase>, da ist es verstopft und da oben ist dein
 739 Geruchssinn.

740 Jonas: Ja.

741 Lehrer: Wieso kannst du dann da oben nicht gut riechen, wenns da unten verstopft ist?

742 Jonas: Weil hier der Geruch bis hier rauf durchgeleitet wird.

743 Lehrer: Das heißt, der Geruch in der Luft...

744 Jonas: ...wird durch die Nase geleitet...

745 Lehrer: ...und kommt auf den?

746 Jonas: Ähm. Auf den Geruchssinn.

747 Lehrer: Auf den Geruchssinn. Kannst du was durch die Ferne abtasten?

748 Jonas: Ähm. Nein.

749 Lehrer: Das heißt, du musst etwas zu...

750 Jonas: ... zu, also zu dir holen.

751 Lehrer: Genau. Du musst die Hand hinbringen. Und wie ist das beim Sehen? Ja.

752 Jonas: Also, man kann... ähm...

753 Lehrer: ...betrachten wir die...

754 Jonas: ...man kann jetzt hier, eigentlich, ähm, zum Beispiel, ähm, man kann nicht über das ganze
 755 Meer schauen. Da sieht man nur den Horizont. Da kann, da muss man auch, zu, ähm, etwas
 756 herholen, umso, damit man sehen, also eine (?...)

757 Lehrer: Ganz genau. Man muss die Information zu sich herholen.

758 Jonas: Ja.

759 Lehrer: Und wenn wir jetzt hier das Auge haben. <Verweist auf die Grafik.> Ja. Das hat mehrere
 760 Funktionen, ja. Da ist die Pupille, Hornhaut, Verschiedenes. Und hier ist die Netzhaut. Ja. Betrachte
 761 die untere Grafik und überlege die Funktion der Netzhaut. Welche Bestandteile sind im Modell des
 762 Auges der Vision Tube ähnlich?

763 Jonas: Ähm. Die Netzhaut ist das Grüne hier.

764 *Lehrer: Hmhmm.*

765 *Jonas: Ja ähnlich... (.)*

766 *Lehrer: Kann die Netzhaut einen Sehstrahl ausschicken? Oder stimmt eher: Es muss Licht empfangen*
767 *und es kann keinen Sehstrahl absenden?*

768 *Jonas: Ähm. Wo steht das.*

769 *Lehrer: Das sind die zwei Sachen. <Verweist auf die Aussagen am Arbeitsblatt.>. Entweder ist das*
770 *eine richtig, oder das andere.*

771 *Jonas: Ja, das ist richtig.*

772 *Lehrer: Und du hast gesagt, das ist richtig. <Die Aussage in Bezug auf den Sehstrahl.>*

773 *Jonas: Ja.*

774 *Lehrer: Kann die Netzhaut einen Sehstrahl absenden?*

775 *Jonas: Nein.*

776 *Lehrer: Nein, das geht nicht.*

777 *Jonas: Das heißt, das ist richtig. <Die Aussage ohne Sehstrahl.>*

778 *Lehrer: Kann irgendwas anderes im Auge einen Sehstrahl absenden?*

779 *Jonas: Ja, die Pupille.*

780 *Lehrer: Die Pupille kann einen Sehstrahl aussenden?*

781 *Jonas: Nein, die Iris?*

782 *Lehrer: Die Iris? Wenn die Iris offen ist, ist die Pupille groß. Ja. Die Iris ist die farbige Fläche rund um*
783 *die Pupille. Ja.*

784 *Jonas: Ähm. Ähm. Dann wahrscheinlich die Pupille, die Pupille.*

785 *Lehrer: Die Pupille? Und kann es sein, dass die Pupille nur der Ort ist, wo keine Iris ist?*

786 *Jonas: Ja.*

787 *Lehrer: Vergleich einmal mit der Vision Tube. Welche Teile vom Auge sind der Vision Tube ähnlich?*

788 *Jonas: Ähm. (..) Die Hornhaut, nicht?*

789 *Lehrer: Wo ist hier eine Hornhaut?*

790 *Jonas: Nicht. Also die Pupille.*

791 *Lehrer: Die Pupille wäre wo?*

792 *Jonas: Hier. <Zeigt auf das kleine Loch.>*

793 *Lehrer: Das kleine Loch.*

794 *Jonas: Ja.*

795 *Lehrer: Hmhmm. Und wo wäre die Netzhaut? Zum Beispiel?*

796 *Jonas: Die Netzhaut wäre, glaub ich hier. Ähm. Nein, das wäre die Netzhaut.*

797 *Lehrer: Ganz genau. Die Netzhaut wäre die Querstange.*

798 *Jonas: Ja.*

799 *Lehrer: Ja. Und kann die Querstange einen Sehstrahl aussenden?*

800 *Jonas: Nein.*

801 *Lehrer: Nein. Und wenn die Pupille groß ist, dann kommt?*

802 *Jonas: Dann kann man besser sehen.*

803 *Lehrer: Dann kann man besser sehen. Wenn das Loch sehr klein wäre, dann könnte man nicht so viel*
804 *sehen. Ja.*

805 *Jonas: Ja.*

806 *Lehrer: Ganz genau. Das ist wie bei einem Fernrohr...*

807 *Jonas: Des (?...) blinzelt.*

808 *Lehrer: Deshalb blinzelt man, wenn es zu hell ist. Ja. Ganz genau. Und diese weiße Fläche. Kann die*
809 *etwas wegschicken oder kann die nur etwas empfangen?*

810 *Jonas: Ähm. Die kann nur etwas empfangen.*

811 *Lehrer: Also, wenn du diese vier Sachen anschaust. Welche davon sind richtig?*

812 *Jonas: Drei und vier ist richtig.*

813 *Lehrer: Drei und vier muss richtig sein.*

814 *Jonas: Ja.*

815 *Lehrer: Ja. Das ist so eine Vorstellung, die man hat, dass das Licht so, dass das Auge etwas*
816 *wegschicken kann.*

817 *Jonas: Ja.*

818 *Lehrer: Aber wie beim Tasten oder beim Riechen. Da muss immer Sachen zu dir herkommen. Also*
819 *schreiben wir auf. Die Funktionsweise unseres Auges. Ja. Ich sage dir einfach an.*

820 1 h 22 min 53 s - 1 h 27 min 08 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird
821 betont, dass das Auge ein passives Organ ist, welches Licht empfangen muss. Die Öffnung der
822 Pupille bestimmt, wie viel Licht in das Auge kommt. Dabei wird Jonas eingebunden und sagt "Die
823 Pupille bestimmt wie viel man sehen kann". Er hat also noch immer Schwierigkeiten, exakte Begriffe
824 für eine differenzierte Beschreibung zu verwenden. Auch die Netzhaut bestimmt laut Jonas "wie viel
825 man sehen kann". Ein alternatives Angebot "Die Netzhaut misst wieviel Licht empfangen wird" wird
826 jedoch von Jonas als bessere Beschreibung eingestuft und wird notiert. Im Anschluss wird das
827 Anwendungsbeispiel "Mond und Äpfel im Sonnenlicht" von Jonas vorgelesen. Dann möchte Jonas
828 plötzlich das Bild mit dem Regenbogenprisma sehen, dann wieder doch nicht und liest die Angabe
829 nochmals durch.

830 *Jonas: In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne? (..) Naja. Links oben.*

831 *Lehrer: Hmhmm. Also schreiben wir hin, die Sonne steht links oben. (13 sec) <Jonas schreibt auf.>*

832 *Jonas: Inwiefern ist die Beleuchtungssituation, ist die Beleuchtungssituation des Apfels und des*
833 *Mondes gleich? Ja, schon.*

834 *Lehrer: Und warum ist sie gleich?*

835 *Jonas: Naja, weil die Sonne, naja, aber die Sonne kann ja gar nicht links oben sein, oder doch, ähm*
836 *weil die Sonne hier steht und sie beides von links oben anleuchtet.*

837 *Lehrer: Woran erkennst du das?*

838 *Jonas: Ähm. Weil der Mond hinter, ähm, hinter dem Apfel ist. Das heißt, die Sonne reicht bis zum*
839 *Mond, sonst würde der nicht leuchten, wenn ihn die Sonne nicht anstrahlt.*

840 *Lehrer: Hmhmm. Aber wie, inwiefern ist die Situa..., die Beleuchtungssituation gleich?*

841 *Jonas: Ähm.*

842 *Lehrer: Woher weißt du das die Sonne links oben ist?*

843 *Jonas: Weil der Mond, (.) sonst ähm, hier unten, sonst würde es so leuchten und man würde das, und*
844 *hier unten ist er dann abgegrenzt.*

845 *Lehrer: Ist ein Schatten. Hier unten ist es abgegrenzt. Und der Schatten ist bei Mond und Apfel...*

846 Jonas: Ähm.

847 Lehrer: Ist der gleich oder unterschiedlich?

848 Jonas: Der ist gleich, weil hier ist auch der Schatten <am Apfel> so.

849 Lehrer: Ganz genau. Die Beleuchtungssituation ist gleich, weil der Schatten...

850 Jonas: ...weil der Schatten gleich liegt.

851 Lehrer: Genau. Die Beleuchtungssituation ist aufgrund des Schattens gleich. (45 sec) <Jonas schreibt
852 auf, der Satz wird mehrmals wiederholt.>

853 Jonas: Warum ist die Schattenseite des Apfels sichtbar, welche Rolle spielt dabei die Umgebung?

854 Lehrer: Schau, wenn die Sonne von links oben kommt, dann kommt sie ja auf die Unterseite des
855 Apfels nicht hin, oder?

856 Jonas: Ja.

857 Lehrer: Kannst du die Schattenseite sehen?

858 Jonas: Ja.

859 Lehrer: Warum? Wenn die Sonne da gar nicht hinkommt. Welche Rolle spielt die Umgebung?

860 Jonas: Ähm. Die reflektieren auch, weil die Blätter können ja das Licht dann hier rauf reflektieren.

861 Lehrer: Ganz genau. (40 sec) <Jonas schreibt auf.> Deswegen, deswegen ist die, deswegen ist die
862 <Schattenseite> ja auch so grau. Ja. Weil da ganz wenig Licht ist und die Farben nicht mehr so gut
863 wahrgenommen werden können.

864 1 h 31 min 14 s - 1 h 31 min 38 s: Die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die
865 Lichtausbreitung einer Kerze" wird von Jonas vorgelesen.

866 Lehrer: Wo kommt das Licht hin, ähm, wo kommt das Licht her, wo geht es hin?

867 Jonas: Also ich würde sagen, dass das Licht so, also, auf jeden Fall halt, so hats mal so eine
868 Begrenzung. Das, ähm, das Licht scheint jetzt nicht da hier, oder so. Wenn da die Kerze ist, scheint
869 nicht daher.

870 Lehrer: Gar nicht?

871 Jonas: Doch, also ich glaube, das ist...

872 Lehrer: Was ist, wenn es weiter weg ist, ist das Licht dann irgendwann einmal, also wenn es da ist
873 <recht weit weg von der Kerze>, ist es gar nicht mehr, oder ist es schwächer.

874 Jonas: Es ist noch da, nur noch schwächer.

875 Lehrer: Nur schwächer, ganz genau. Ja.

876 Jonas: Aber wie soll ich das mit den Pfeilen darstellen?

877 Lehrer: Also, in welche Richtungen geht das mal von dieser Kerze weg.

878 Jonas: Da so, also.

879 Lehrer: Genau. Von wo ausgehend?

880 Jonas: Von hier ausgehend. Hier ist der Kern.

881 Lehrer: Ganz genau. Von der Mitte. Also zeichne das so strahlenförmig weg. In welche Richtung es
882 geht. Hmhmm.

883 Jonas: In alle Richtungen

884 Lehrer: Hmhmm.

885 Jonas: Soll ich jetzt alle Richtungen zeichnen.

886 *Lehrer: Hmhmm. Und je mehr Linien sind, umso stärker ist es. Ja. Und wenn es weiter wegkommt ist*
887 *es nicht mehr so stark. OK. Passt. Das reicht für die Kerze. Und beim Stein. Wie gehts beim Stein?*

888 *Jonas: Das wird dann wahrscheinlich hier überall hinreflektiert und dann kann das Licht halt hier*
889 *wieder hin.*

890 *Lehrer: Und wohin noch? Nur in die eine Richtung?*

891 *Jonas: Nein, dahin. Und da kann es wieder zurückreflektieren.*

892 *Lehrer: Und mach einmal die Pfeile bei der Kerze.*

893 *Jonas: Äh, hier auch.*

894 *Lehrer: Nicht bei allen, bei ein paar. Ja. Mal bei denen, die in Richtung Stein gehen. Hmhmm. (.) Und*
895 *jetzt? <Nachdem es auf den Stein getroffen ist.> Sind das nur die Richtungen. Oder in welche*
896 *Richtungen geht es noch?*

897 *Jonas: In die.*

898 *Lehrer: Vom Stein.*

899 *Jonas: Auch in die Richtung.*

900 *Lehrer: Hmhmm.*

901 *Jonas: Und dann und in die. In alle. Auch vom Stein auch wieder in alle.*

902 *Lehrer: Wird das gestreut?*

903 *Jonas: Außer hier hinten <auf der Schattenseite>.*

904 *Lehrer: Und reicht das fürs Sehen, oder muss noch was passieren?*

905 *Jonas: Ähm. Da muss noch was passieren.*

906 *Lehrer: Was muss passieren, damit du es sehen kannst.*

907 *Jonas: Ähm. Das Licht muss wieder zurückgesendet werden.*

908 *Lehrer: Wohin?*

909 *Jonas: Ähm. Zum Auge.*

910 *Lehrer: Zum Auge! Ja. Also zeichne es ein. (6 sec) <Jonas zeichnet.> Bis wohin?*

911 *Jonas: Zum Auge. Ja. <Zeichnet einen Pfeil, der kurz vorm Auge endet.>*

912 *Lehrer: Kurz vors Auge oder bis...?*

913 *Jonas: Kurz vors Auge.*

914 *Lehrer: Und dann kanns aufhören?*

915 *Jonas: Ja.*

916 *Lehrer: Und das reicht.*

917 *Jonas: Ähm. Das stimmt nicht. <Zeichnet den Pfeil länger bis ins Auge.>*

918 *Lehrer: Es muss ins Auge hinein gehen. Genau. Du zeichnest es. Ins Auge hinein. Ganz genau.*
919 *Schau, bis wohin? Was ist der Sensor für das Licht im Auge?*

920 *Jonas: Ähm. Dings, die Netzhaut.*

921 *Lehrer: Die Netzhaut. Ganz genau. Die Pupille ist die Öffnung und der Sensor ist die Netzhaut.*

922 *Jonas: Durch die Pupille kommt es hinein und dann auf die Netzhaut.*

923 *Lehrer: Ganz genau. Bis hinein muss es gehen. Ja.*

924 *1 h 35 min 02 s - 1 h 35 min 19 s: Der zweite Teil Aufgabenstellung wird von Jonas vorgelesen.*

925 Jonas: Also. Ähm. (..)

926 Lehrer: Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel blenden.

927 Jonas: Indem das Licht in die Augen kommt. (30 sec) <Jonas schreibt auf.>

928 Lehrer: Wieso kann der Stein dich nicht blenden?

929 Jonas: Weil es nicht so eine starke Reflexionskraft hat.

930 Lehrer: Ganz genau. Und was ist der Unterschied zwischen Stein und Spiegel. Weißt du es noch?

931 Jonas: Ähm. Ja, zum Beispiel beim Spiegel kann man auch ja bei schlechtem Licht, ähm, wird es

932 zurückgesendet.

933 Lehrer: In welche Richtung müsstest du die Pfeile zeichnen, wenn da ein Spiegel wäre. Genauso.

934 Jonas: (?...)

935 Lehrer: Überall. Oder in...

936 Jonas: ...überall, also so in die eine Richtungen.

937 Lehrer: Schau einmal. <Nimmt einen Spiegel zur Hand.> Wohin geht das Licht, wenn ich es dahin

938 halte.

939 Jonas: Auf die Decke, auf einen Punkt. (.) Auf zwei Punkte.

940 Lehrer: <lacht> Ja, weil ich zwei Spiegel habe. <Es wird ein aufklappbarer Schminkspiegel mit zwei

941 Spiegelflächen verwendet.> Wenn ich einen Spiegel zuhalte.

942 Jonas: Dann ist nur ein Punkt.

943 Lehrer: Ja. Das heißt. Geht das Licht in alle Richtungen?

944 Jonas: Nein.

945 Lehrer: Nein.

946 Jonas: Ähm. Der Spiegel blendet, indem das Licht in die Augen fällt.

947 Lehrer: Also schreiben wir, der Stein reflektiert nicht so stark. (5 sec) <Jonas schreibt auf.>

948 Jonas: Reflektiert, ähm, was ist hier gestanden? <blättert um> Der Stein reflektiert, ähm, streuend.

949 Lehrer: Gestreut.

950 Jonas: Gestreut.

951 Lehrer: Ganz genau. (15 sec) <Jonas schreibt auf.> Und der Spiegel... (10 sec) <Jonas schreibt auf.>

952 Jonas: Und der Spiegel, ähm, der refle..., ähm reflektiert auf einen Punkt.

953 Lehrer: Auf einen Punkt heißt gerichtet. (15 sec) <Jonas schreibt auf.> Gut gemacht. Vielen Dank!

954 01 h 38 min 34 s

3. Unterrichtseinheit mit Livia

- 1 00 min 00 s - 03 min 27 s: Die Unterrichtseinheit beginnt, die Vision Tube wird vorgestellt. Dabei wird
- 2 auf die einzelnen Elemente kleines Loch, Querstange und große Öffnung eingegangen. Auch auf die
- 3 Bauweise bzw. durch welche Elemente die Lichtundurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die
- 4 Tatsache, dass das Licht rechtwinkelig zur Sichtachse einfällt. Im Anschluss wird das Arbeitsblatt
- 5 hergezeigt und beschriftet.
- 6 Livia liest den ersten Absatz des Arbeitsblattes vor. Das Wort präzise wird in einfachen Worten mit "so
- 7 genau wie möglich" erklärt. Der Lehrer erklärt den Aufbau der Materialien, den Zusammenhang
- 8 zwischen den Inputs der Folien, den Experimenten und dem Arbeitsblatt. Die Aufgabenstellung des 1.
- 9 Experiments wird vom Lehrer vorgelesen. Zusätzliche Erklärungen zum Einsatz werden gegeben,

10 d. h. wie die Vision Tube für unterschiedliche Beobachtungen gehalten werden muss.

11 *Lehrer: Zum Beispiel so, dass das kleine Loch nach unten geht. Ja. Und dreh es wieder zurück zur*
 12 *Lampe, während dessen du schaust. Und du kannst ein bisschen beobachten, wie sich das verändert,*
 13 *da innen drinnen, was du siehst. Und du kannst auch raus gehen. Ja. Oder zum Fenster hingehen*
 14 *oder in die Nähe von dem Spiegel. Ja. <Livia experimentiert von Anfang an parallel dazu.> Und ein*
 15 *bisschen schauen, was passiert, wenn da unterschiedlich viel Licht hineinkommt. Ja. Geh einmal zum*
 16 *Fenster, zum Beispiel. (.) Und jetzt dreh es weg vom Fenster so in Richtung von deinem Pulli. Ja. Und*
 17 *schau was sich verändert. (...) Wie würdest du es beschreiben?*

18 *Livia: Das da Licht kommt, wandert...*

19 *Lehrer: Hmhmm.*

20 *Livia: ...und wenn man zu, also wenn man weg vom Licht geht, dann ist das weg und sonst wandert*
 21 *er. <Bei starken Lichteinfall wandert ein Lichtpunkt auf der Querstange, ja nach Einfallswinkel.>*

22 *Lehrer: Und wenn du es wegdrehst vom Licht siehst du noch die Querstange?*

23 *Livia: Ja*

24 *Lehrer: Sieht man schon noch ein bisschen.*

25 *Livia: Ja*

26 *Lehrer: Besser oder schlechter als vorher?*

27 *Livia: Schlechter.*

28 *Lehrer: Schlechter. Ja. OK. Jetzt beantworten wir mal die Frage. Ja. Das sind zwei Fragen, aber im*
 29 *Wesentlichen könntest du eine Antwort darauf finden. Die Fragen, die Frage eins ist: Wie beeinflusst*
 30 *das eintretende Licht deine Beobachtung? Und die zweite Frage ist: Unter welcher Bedingung ist die*
 31 *Querstange besser oder schlechter sichtbar?*

32 *Livia: Ähm. Also, wenn ich, also wenn das Licht direkt reinfällt, dann sieht man die Querstange besser.*

33 *Lehrer: Hmhmm.*

34 *Livia: Und die erste Frage hab ich nicht ganz verstanden. Also...*

35 *Lehrer: Wie beeinflusst das Licht? Wir können, das sind die, die grundlegendsten Gesetzmäßigkeiten.*
 36 *Wenn man sagt, je mehr, desto besser, schlechter, schärfer wie auch immer.*

37 *Livia: Ah.*

38 *Lehrer: Wenn wir jetzt einen Satz bauen wollen, ja eine erste Gesetzmäßigkeit, wo wir den Einfluss*
 39 *des Lichtes auf die Sichtbarkeit der Querstange zusammenfassen wollen. Wie würdest du das*
 40 *formulieren?*

41 *Livia: Hmhmm. Je mehr Licht, desto besser kann man Querstange sehen.*

42 *Lehrer: Perfekt. Ja. Also wäre das die erste Antwort, die wir festhalten. Ja. Je mehr Licht, ja... Wo*
 43 *kommt das Licht hinein?*

44 *Livia: Durch dieses kleine Loch*

45 *Lehrer: Genau. Je mehr Licht durch das kleine Loch tritt... (9 sec) <Livia schreibt auf.>*

46 *Livia: ... desto besser kann man die... (.)*

47 *Lehrer: ... Querstange <Livia schreibt parallel mit.>*

48 *Livia: ... die Querstange sehen.*

49 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Das ist unsere erste Gesetzmäßigkeit für den heutigen Tag.*

50 06 min 30 s - 07 min 24 s: Livias Mutter verabschiedet sich kurz. Livia wollte, dass sie am Anfang kurz
 51 dabei ist. Im Anschluss wird die Aufgabenstellung der ersten Analyse vom Lehrer vorgelesen.

52 *Lehrer: Was sind für dich selbstleuchtende Gegenstände, was nichtselbstleuchtende Gegenstände?*

53 *Livia: Selbstleuchtend zum Beispiel, eigentlich nichtselbstleuchtend, doch die eine Lampe zum*
54 *Beispiel.*

55 *Lehrer: Ja, schreibst die Lampe. Ja. (5 sec) <Livia schreibt auf.> Fällt dir noch was ein? (..)*

56 *Livia: Eine T..., na ja, ist das Gleiche. Ähm...*

57 *Lehrer: Wolltest du Taschenlampe sagen.*

58 *Livia: Ja. Aber das ist das gleiche eigentlich.*

59 *Lehrer: Hmhmm. Irgendwas, was du hier siehst?*

60 *Livia: Ah Computer.*

61 *Lehrer: Was vom Computer?*

62 *Livia: Der Bildschirm.*

63 *Lehrer: Der Bildschirm. Ja. <Livia schreibt mit.> Und was vom Handy?*

64 *Livia: Display?*

65 *Lehrer: Das Display, Bildschirm. Ja. Das ist das gleiche, ja.*

66 *Livia: Ähm. Hmhmm.*

67 *Lehrer: Und wenn du am Boden schaust? (..) Woher kommt der Schatten und das Licht hier?*

68 *Livia: Von der Sonne?*

69 *Lehrer: Ja. Genau. Von der Sonne.*

70 *Livia: Und Mond. Mond?*

71 *Lehrer: Kann der Mond von alleine leuchten?*

72 *Livia: AH, nein. Das ist...*

73 *Lehrer: Also wäre der? Gehört zu...*

74 *Livia: ... den Nichtselbstleuchtenden.*

75 *Lehrer: Ganz genau. (..) Noch irgendwas am Himmel, dass der Sonne sehr ähnlich ist?*

76 *Livia: Sterne?*

77 *Lehrer: Hmhmm.*

78 *Livia: Ach ja, Sterne.*

79 *Lehrer: Die Sonne ist eigentlich nichts anderes als ein Stern, oder die Sterne sind viele Sonnen. Ja.*
80 *OK. Nichtselbstleuchtend. Da haben wir den Mond...*

81 *Livia: Holz zum Beispiel.*

82 *Lehrer: Das Holz, ja. Von dem Experiment?*

83 *Livia: Plastik?*

84 *Lehrer: Ja, jetzt genau von dem Experiment, da gibts mehrere Teile.*

85 *Livia: Ähm. (..)*

86 *Lehrer: Was hast du beobachtet beim Experiment?*

87 *Livia: Das sich dieser Lichtpunkt auf der Stange bewegt hat*

88 *Lehrer: Genau. Und was davon war nichtselbstleuchtend?*

89 *Livia: Ähm, diese, diese Röhre.*

90 *Lehrer: Die Röhre. Und die Querstange. Also die Vision Tube, Querstange kannst du schreiben, ja.*
91 *(10 sec) <Livia schreibt auf.> Das Papier, ist das nichtselbstleuchtend?*

92 *Livia: Ah ja, Papier.*

93 *Lehrer: Ok, passt, gut. Zweites Experiment. Kannst wieder die Röhre nehmen, ja. (..) schau durch, halt*
94 *irgendwann das kleine Loch zu und beobachte die Querstange. Ja. Gib den Finger weg wieder. Und*
95 *dann zuhalten. Was beobachtest du?*

96 *Livia: Der Punkt kommt und geht.*

97 *Lehrer: Der Punkt kommt und geht. Ja. Und wenn es ganz zu ist. Machs mal ganz zu.*

98 *Livia: Dann sieht man die (..) eigentlich fast gar nicht, die Stange.*

99 *Lehrer: Fast gar nicht?*

100 *Livia: Ganz, ganz, ganz, ganz schwach.*

101 *Lehrer: Und in welcher Farbe?*

102 *Livia: Ganz leicht grau.*

103 *Lehrer: Hmhmm. Und jetzt schau mal. Jetzt halt ich den Radiergummi da drauf. Und jetzt?*

104 *Livia: Man sieht mehr.*

105 *Lehrer: Mehr?*

106 *Livia: Also man sieht mehr von der Stange.*

107 *Lehrer: OK, warte. Da muss ich schauen. (..)*

108 *Livia: Dann sieht man es in einer anderen Farbe, ein bisschen anderes.*

109 *Lehrer: Aber schau. OK. Nehmen wir die Kamera da. (35 sec) <Die Webcam wird an den Laptop*
110 *angeschlossen.> So. Da hab ich die Kamera, die kann ich da drauf geben. <An die große Öffnung der*
111 *Vision Tube drücken.> Siehst du, wie das leuchtet?*

112 *Livia: Aha, ja.*

113 *Lehrer: So, jetzt siehst du diesen Lichtpunkt von vorhin.*

114 *Livia: Hmhmm.*

115 *Lehrer: Ja. (..) So, ein relativ scharfer Lichtpunkt und jetzt, wenn ich den Finger draufhalte.*

116 *Livia: Ist es schwarz...*

117 *Lehrer: Ist es schwarz.*

118 *Livia: ...und man sieht nix. Also der Punkt kommt und geht immer, wenn man, wenn man halt... Wenn*
119 *das Licht nicht durchscheint, dann ist er nicht da. Und wenn das Licht durchscheint, dann ist der Punkt*
120 *da.*

121 *Lehrer: Schau mal mit deinen Augen? Schau mal genau drauf. Konzentrier dich auf die Stange. Und*
122 *jetzt? <Hält das kleine Loch zu.>*

123 *Livia: Weg, schwarz nur mehr.*

124 *Lehrer: Hmhmm. OK. Manchmal ist es ein bisschen schwierig, das zu sehen, aber jetzt haben wir es.*
125 *OK. Also, wie kannst du deine Beobachtung erklären? Was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit*
126 *von nichtselbstleuchtenden Gegenständen daraus schließen?*

127 *Livia: Ähm. (8 sec)*

128 *Lehrer: Also was ist passiert?*

129 *Livia: Also ich, also ich hab ke..., den Punkt gesehen, also, wenn man quasi den Finger drauf*
130 *gegeben hat. Oder halt, wenn kein Licht draufgeschienen hat, dann war es ganz schwarz und dunkel.*

131 *Lehrer: Hmhmm. Und was kannst du daraus sch... Also schreiben wir das mal auf. Ja. Wenn... wie*
 132 *würdest du es sagen, wenn...*

133 *Livia: Wenn kein Licht durchkommt, dann sieht man nur schwarz.*

134 *Lehrer: Hmhmm. Wenn kein Licht durchkommt, sieht man nur schwarz... (22 sec) <Livia schreibt auf.>*
 135 *Was kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden Gegenständen schließen?*
 136 *Unter welcher Bedingung sind nichtselbstleuchtende Gegenstände sichtbar.*

137 *Livia: Wenn ein anderes Licht drauffällt.*

138 *Lehrer: Ganz genau.*

139 14 min 12 s - 15 min 05 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

140 *Lehrer: Passt, ja. OK. (.) <Das dritte Experiment beginnt.> Jetzt. Wir haben hier zwei Kategorien.*

141 *Livia: Hmhmm.*

142 *Lehrer: Ja, selbstleuchtende und nichtselbstleuchtende Gegenstände. Und jetzt wollen wir die*
 143 *nichtselbstleuchtenden Gegenstände näher untersuchen. Wir nehmen dafür (..) ein weißes Blatt*
 144 *Papier, halten das daher und schauen uns das an. Ja. (.) Das Loch, ist nach unten gerichtet...*

145 *Livia: Hmhmm.*

146 *Lehrer: ...knapp über das weiße Papier. Ja. Jetzt musst du dich ein bisschen bücken. Ja. Schauen,*
 147 *dass du gut drauf schaust, ja.*

148 *Livia: Man sieht trotzdem einen Punkt.*

149 *Lehrer: Man sieht trotzdem einen Punkt. Ganz genau. (.) Wie kannst du dir das erklären?*

150 *Livia: Vielleicht weils, weils weiß ist und das reflektiert dann vielleicht irgendwo von wo anderes das*
 151 *Licht drauffällt und dann rein.*

152 *Lehrer: Aha. Von wo kommt das Licht?*

153 *Livia: Vielleicht von der Lampe oder von draußen. Weil hier drinnen ist es ja auch hell.*

154 *Lehrer: Ganz genau. Das wissen wir in dem Fall nicht. Ja, weil die Fenster offen sind.*

155 *Livia: Ja.*

156 *Lehrer: Ja. Aber das Licht fällt da drauf, ja, schau ma mal, wenn wir die Lampe ausschalten, die*
 157 *Sonne können wir leider nicht ausschalten. Aber jetzt, schau ob du...*

158 *Livia: Noch immer da.*

159 *Lehrer: Noch immer da.*

160 *Livia: Weils von draußen auch kommt.*

161 *Lehrer: Jetzt hilft uns die Sonne, ja. Perfekt. Wie kannst du deine Beobachtung erklären?*

162 *Livia: Ähm.*

163 *Lehrer: Tipp: Versuche, den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen von Licht zu beschreiben.*
 164 *(6 sec)*

165 *Livia: Hmhmm. Ähm. (..) Das Papier reflektiert das Licht und dadurch kommt die Sonne in das Loch,*
 166 *das Licht in das Loch.*

167 *Lehrer: Hmhmm. Das ist vollkommen richtig. Ja. Reflektieren ist schon der Fachbegriff. Ja.*
 168 *Kompliziert. Ja. Und wenn du jetzt reflektieren in Bezug auf Senden und Empfangen beschreiben,*
 169 *ähm, würdest.*

170 *Livia: Die Sonne (..) dann (..) die (..)*

171 *Lehrer: Sendet die oder empfängt die das Licht?*

172 Livia: Ähm. Sie sendet, die Sonne sendet das Licht ans Papier.

173 Lehrer: Hmhmm. Schreiben wir das mal auf: die Sonne sendet das Licht ans Papier. (20 sec) <Livia
174 schreibt auf.> Was macht das Papier, dann? In Bezug auf Senden und Empfangen.

175 Livia: Das Papier (..) ähm, sendet, nein, ja, sendet das Licht weiter.

176 Lehrer: Und muss davor was passieren, dass das Licht vom Papier...

177 Livia: Ah, ähm, die Sonne sendet das Licht ans Papier, das Empi., das Papier empfängt es...

178 Lehrer: Hmhmm.

179 Livia: ...und sendet es...

180 Lehrer: ...zurück...

181 Livia: ...zurück.

182 Lehrer: Ja. Ganz genau.

183 18 min 37 s - 19 min 22 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

184 Lehrer: Perfekt. Wir haben jetzt drei wichtige Kat..., Begriffe. Empfangen, also Senden, Empfangen,
185 Zurücksenden. Ja.

186 Livia: Hmhmm.

187 Lehrer: Mit diesen Begriffen versuchen wir das zu erklären. <Das vierte Experiment beginnt.> So,
188 nehmen wir wieder das Li..., die Lampe, um es ein bisschen besser zu kontrollieren. Ja. <Schaltet die
189 Lampe wieder ein.>

190 Livia: Hmhmm.

191 Lehrer: Und hier hab ich einen Spiegel.

192 Livia: Hmhmm.

193 Lehrer: Ja. Und jetzt halten wir es wieder so wie da, wie vorhin. Schau gut rein. (.) <Livia
194 experimentiert.> Und sag mir ab wann du glaubst, dass der Spiegel unter dem Loch ist. (..)

195 Livia: Jetzt.

196 Lehrer: Und was siehst du?

197 Livia: Ich seh noch so einen, einen, einen hell... einen gelblichen Punkt.

198 Lehrer: Einen gelblichen Punkt. Ist er klein, ist er breit?

199 Livia: Also, es is, es ist, runderhum ist es noch weiß, also er ist klein.

200 Lehrer: Er ist klein. Und jetzt? <Schiebt das weiße Blatt darunter.>

201 Livia: Jetzt ist es nur weiß.

202 Lehrer: Und wie verteilt sich das Licht jetzt?

203 Livia: Ähm. Also es macht sich breit.

204 Lehrer: Es macht sich breit. Und jetzt? <Schiebt den Spiegel darunter.>

205 Livia: Jetzt ist nur ein Punkt.

206 Lehrer: Jetzt ist nur ein Punkt. OK. (.) Mit welchen der beiden, wir sind beim vierten Experiment, mit
207 welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen?

208 Livia: Hmhmm. Mit dem Spiegel.

209 Lehrer: Ganz genau. Also schreiben wir.

210 20 min 42 s - 21 min 33 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

211 *Lehrer: Zweite Frage: Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht...*

212 *Livia: Hähh.*

213 *Lehrer: ...bei dem Experiment?*

214 *Livia: Was heißt gerichtet und un...*

215 *Lehrer: Was verstehst du unter gerichtetes und ungerichtetes Zurücksenden?*

216 *Livia: Ähm. (..)*

217 *Lehrer: Beziehungsweise bei Zurücksenden haben wir gesagt, wenn Licht... (.)*

218 *Livia: Hmhmm.*

219 *Lehrer: ... zuerst... (..) empfangen wird und dann...*

220 *Livia: ... zurückgesendet wird.*

221 *Lehrer: Genau. Und wenn ich jetzt...*

222 *Livia: Beim Spiegel wirts auch, also, der Spiegel spiegelt natürlich das Licht und tuts dann wieder*

223 *zurück...*

224 *Lehrer: Ja.*

225 *Livia: ...senden.*

226 *Lehrer: Macht er das gerichtet oder ungerichtet?*

227 *Livia: Ähm. (..)*

228 *Lehrer: Gerichtet heißt in eine Vorzugsrichtung. Ja.*

229 *Livia: Gerichtet.*

230 *Lehrer: Und das Papier?*

231 *Livia: Ungerichtet.*

232 *Lehrer: Hmhmm. In alle möglichen Richtungen.*

233 *Livia: Hmhmm.*

234 22 min 34 s - 23 min 45 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

235 *Lehrer: Kann ich mit dem Papier Licht (.) wohinschicken?*

236 *Livia: Hmhmm. Ich glaub nicht.*

237 *Lehrer: Nein. Wenn ich das so halte, wenn ich das so umlenke. <Versucht mit dem Papier Licht von*

238 *der Lampe auf die Decke zu werfen.>*

239 *Livia: Doch. Ich glaub schon.*

240 *Lehrer: Ja. Wieso ist, wenn das ganz knapp ist, da, schau mal, siehst du es? (.) Kannst du das sehen?*

241 *Livia: Ja.*

242 *Lehrer: Da kann ja nur Licht von...?*

243 *Livia: ...unten kommen.*

244 *Lehrer: Vom Papier, ja.*

245 *Livia: Vom Papier.*

246 *Lehrer: Ganz genau. Es geht zwar nicht so stark wie beim Spiegel, aber eigentlich ist es das Gleiche,*

247 *oder?*

248 *Livia: Hmhmm. Ja.*

249 *Lehrer: Wenn ich jetzt schau, wir haben das hier <Tabea rückt weg>, bleib mal mit dem Sessel da.*
 250 *Schau mal, siehst du den Schatten?*

251 *Livia: Hmhm. (..)*

252 *Lehrer: Schau dir mal diese Stelle an. <Beleuchtet den Schattenbereich hinter dem Sessel mittels*
 253 *Papier.> Siehst du da was?*

254 *Livia: Nein.*

255 *Lehrer: Ist es da heller als da?*

256 *Livia: Ah ja, doch. Ach ja, da wirds heller an der Stelle.*

257 *Lehrer: Die Stelle wird heller, wenn ich mit dem weißen Papier komm. Und mit dem Spiegel, schau. (.)*

258 *Livia: Da kommt dann ein richtiger Punkt.*

259 *Lehrer: Ein richtiger Punkt...*

260 *Livia: ...den man sieht, am Boden.*

261 *Lehrer: Ja. Abgeschlossen, definiert, stark. Ja.*

262 *Livia: Hmhm.*

263 *Lehrer: Und mit dem weißen Papier?*

264 *Livia: Leicht.*

265 *Lehrer: Leicht und nicht gerichtet.*

266 *Livia: Ja.*

267 *Lehrer: Aber beide senden Licht zurück.*

268 *Livia: Ja.*

269 *Lehrer: Ist der Spiegel selbstleuchtend?*

270 *Livia: Nein.*

271 *Lehrer: Nein, der muss auch Licht empfangen und sendet es wieder zurück. Wunderbar läuft das.*
 272 *Wird doch gut. <lacht> Wir haben jetzt weißes Papier und Spiegel verglichen. Jetzt vergleichen wir (.)*
 273 *das weiße Blatt Papier und eine schwarze Oberfläche. <Das fünfte Experiment beginnt.> Ja. (6 sec)*
 274 *<Bereitet die Materialien vor.> Halten wir das knapp drüber. (.) Ja. Gehts vom Sehen her?*

275 *Livia: Ja.*

276 *Lehrer: Und du sagst, was sich zum einen verändert und ab wann welches, welche Fläche unterhalb*
 277 *ist. Geh mal bisserl runter. Ja. <Damit die Tube knapp über und parallel zu Oberfläche ist.> (..)*

278 *Livia: Jetzt ist es schwarz.*

279 *Lehrer: Siehst du gar nichts mehr?*

280 *Livia: Doch, ich seh noch ein bisschen.*

281 *Lehrer: Ein bisschen.*

282 *Livia: Also, ich seh noch da die Stange, aber ich seh sie nicht so beleuchtet.*

283 *Lehrer: Und jetzt ist das Weiße drunter und was siehst du?*

284 *Livia: Ja. Schaut dann so aus...*

285 *Lehrer: Und jetzt das Schwarze?*

286 *Livia: Ich seh die Stange aber eher grau und nicht so gut.*

287 *Lehrer: Eher grau und nicht so gut. Ja.*

288 *Livia: Hmhm.*

289 *Lehrer: Lustig, obwohl es schwarz ist. Also, erste Frage: Ist die Querstange noch sichtbar, wenn das*
 290 *kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet?*

291 *Livia: JAAA.*

292 *Lehrer: Ja.*

293 *Livia: Was soll ich hinschreiben?*

294 *Lehrer: Nehmen wir gleich die zweite Frage, die zweite Frage gleich dazu. Können beleuchtete dunkle*
 295 *Flächen Licht in die Vision Tube senden? (..)*

296 *Livia: Ja, bisschen schon.*

297 *Lehrer: Hmhm. Und welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden des*
 298 *Lichtes?*

299 *Livia: Ähm. Die Helligkeit... (..) Wenn man also, weils, wenn es dunkler ist, dann sieht man es weniger*
 300 *gut und wenns heller ist, dann besser.*

301 *Lehrer: Aber in Bezug auf das Zurücksenden von Licht?*

302 *Livia: Ähm. Da kann das Helle, das Helle kann die helle Oberfläche besser zurücksenden... (.)*

303 *Lehrer: ...als die dunkle.*

304 *Livia: Ja.*

305 *Lehrer: Also schreiben...*

306 *Livia: Ähm.*

307 *Lehrer: Ja.*

308 *Livia: Die dunkle ziehts an irgendwie, oder nimmts an. Oder nimmt sie... oder irgendwie nimmts sie es*
 309 *auf oder so.*

310 *Lehrer: Irgendwie nimmt sie auf. Aha!*

311 *Livia: Deswegen soll man im Sommer auch helle Sachen tragen.*

312 *Lehrer: Ja, das ist das, was wir dann beim zweiten <der nächsten Frage> uns anschauen. Aber das*
 313 *hast du ganz, ganz richtig gesagt. Ja.*

314 27 min 39 s - 27 min 59 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

315 *Livia: ...die schwarze Fläche...*

316 *Lehrer: ...sendet... <Livia schreibt parallel mit.>*

317 *Livia: ... sendet...*

318 *Lehrer: Wie würdest du es weitersagen?*

319 *Livia: Ja, auch die schwarze Fläche sendet... (..) Aber sie sendet ja gar kein Licht?*

320 *Lehrer: Gar keines? (..)*

321 *Livia: Ah... sendet, sendet Licht, aber nur wenig Licht.*

322 28 min 26 s - 29 min 32 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

323 *Lehrer: Je heller... Wie würdest du es weitersagen?*

324 *Livia: Je heller die Oberfläche, desto mehr Licht wird zurückgesendet.*

325 *Lehrer: Perfekt.*

326 29 min 45 s - 30 min 16 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

327 *Lehrer: Perfekt. 6. Experiment. (.) Dunkle Flächen können Licht nicht so gut zurücksenden. Das*
 328 *wissen wir schon.*

329 *Livia: Hmhmm.*

330 *Lehrer: Was geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird? Welche der beiden*
 331 *Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?*

332 *Livia: Ähm. <Liest sich die Fragen auf den Folien nochmals durch.> Das schwarze, die schwarze*
 333 *Oberfläche nimmt das Licht, zieht das Licht, also nimmt das Licht auf.*

334 *Lehrer: Hmhmm.*

335 *Livia: Verschluckt es...*

336 *Lehrer: Hmhmm.*

337 *Livia: ...nimmt das Licht auf.*

338 30 min 49 s - 31 min 55 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

339 *Lehrer: Was passiert dann mit dem Licht, dass auf der Oberfläche ist?*

340 *Livia: Auf der schwarzen?*

341 *Lehrer: Hmhmm. Bleibt das da oben? Die Energie vom Licht? (.)*

342 *Livia: Es wird warm.*

343 *Lehrer: Hmhmm. (.) Was heißt es ist warm? Wie kann man das spüren, dass es warm ist?*

344 *Livia: Ähm. Wenn man also. Wenn man hingreift, dann....*

345 *Lehrer: Muss man es direkt berühren, oder kann man es auch mit Abstand? (.)*

346 *Livia: Ich glaub, man muss es direkt berühren?*

347 *Lehrer: Hmhmm. Greif einmal zu der Lampe hin, nicht ganz drauf. Was merkst du da?*

348 *Livia: Nein, also. Es ist auch, ich spür, dass es warm ist. Das heißt, auch wenn man so drüberhält,*
 349 *kann man es spüren.*

350 *Lehrer: Das heißt, bleibt diese Energie am schwarzen oben, oder???*

351 *Livia: Nein.*

352 *Lehrer: Das wird in Form von Wärme...*

353 *Livia: ...ausgestrahlt.*

354 *Lehrer: Ausgestrahlt. Ganz genau.*

355 32 min 42 s - 33 min 43 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

356 *Lehrer: Überrascht dich das, wenn ich sag Licht und Wärme ist das Gleiche? Nur...*

357 *Livia: Ähm.*

358 *Lehrer: ...das eine ist nicht sichtbar.*

359 *Livia: Ähm. Bisschen, aber nicht wirklich.*

360 *Lehrer: Gibts irgendwo was sehr Helles, was nicht warm ist?*

361 *Livia: Hmhmm. Also, bei Lampen, aber nur am Anfang.*

362 *Lehrer: Nur am Anfang.*

363 *Livia: Danach werden die eh warm.*

364 *Lehrer: Ah.*

365 Livia: Am Anfang sind sie noch kühl.

366 Lehrer: Und die Sonne?

367 Livia: Die ist ganz heiß.

368 Lehrer: Die ist ganz heiß. <lacht>

369 Livia: <lacht auch> Sehr heiß.

370 Lehrer: Ja. Alles was mit Licht zu tun hat, hat in der Regel auch mit Wärme zu tun. Ja. Das ist im
371 Prinzip das gleiche, nur ist Wärme in einem Bereich, den man nicht sehen kann.

372 34 min 24 s - 35 min 07 s: Es wird kurz auf infrarotes Licht eingegangen und auf die Funktionsweise
373 einer Wärmebildkamera.

374 Lehrer: Wir haben Spiegel und Weiß verglichen, wie haben Schwarz und Weiß verglichen. Jeeetz
375 vergleichen wir farbige Oberflächen. <Das siebte Experiment wird vorbereitet.> Nimm jetzt die Röhre,
376 so wie wir das bisher immer schon machen und fahr da so drüber und überlege dir, ab welchen Punkt
377 du über dem Grünen und über dem Roten bist. Ja, fahr so nach links und rechts.

378 Livia: Jetzt bin ich beim Roten.

379 Lehrer: Hmhmm. (..) <Livia experimentiert.>

380 Livia: Jetzt bin ich beim Grünen.

381 Lehrer: Jetzt bist du beim Grünen, ja.

382 Livia: Und jetzt beim Schwarzen.

383 Lehrer: Und jetzt beim Schwarzen. (.) Und wie konntest du das beobachten, wann du beim Grünen
384 bist und wann beim Schwarzen?

385 Livia: Na, weil dann halt so ein roter, oder ein grüner, oder ein schwarzer... Also bei Rot, ein roter
386 Punkt, bei Grün, ein grüner Punkt und bei Schwarz war es schwarz.

387 Lehrer: Ganz dunkel, oder?

388 Livia: Ganz leicht, so wie vorher.

389 Lehrer: Wie wars vorher?

390 Livia: Dann so, so gräulich.

391 Lehrer: So gräulich, ganz schwach. Ganz genau. Ah. (.) Also. (..) Schau dir mal das an. <Das Bild
392 Regenbogenprisma wird gezeigt.> (..) Ich hab auch ein kleines Geschenk für dich, das hab ich aber
393 leider zu Hause vergessen, das kriegst du in den nächsten Tagen. Das ist zwar nicht so ein Prisma,
394 aber es ist so eine Kugel, die einen ähnlichen Effekt hat. <Eine tropfenförmige Kristallglaskugel mit
395 einer Vielzahl an Facetten.> Was passiert denn da? <Auf dem Bild Regenbogenprisma.>

396 Livia: Ähm. Das die, ähm... (..)

397 Lehrer: Prisma heißt das.

398 Livia: ...Prisma spiegeln quasi, glaub ich, das Licht so. Und dann ist noch, ein anderes Licht und so
399 entsteht ein Regenbogen.

400 Lehrer: So entsteht zum Beispiel ein Regenbogen. Ja. Wenn da jetzt am Himmel ganz, ganz viele
401 Wassertropfen sind.

402 Livia: Hmhmm.

403 Lehrer: Ja. Dann passiert das.

404 Livia: (?...) deswegen ist da so ein Regenbogen, wenns regnet und die Sonne scheint.

405 Lehrer: Ganz genau.

406 Livia: Und beim Gartenschlauch manchmal.

407 *Lehrer: Mit dem Gartenschlauch kann mans auch machen. Ja. Die Sonne ist in deinem Rücken und*
408 *wenn du nach vorne schaust, ja, kommt das dann so zu deinen Augen, entsteht das dann da. Ja. Das*
409 *weiße Licht kommt von da <beim Bild des Regenbogenprismas>, und man sagt nicht reflektiert, hier*
410 *spricht man von Brechung, ja...*

411 *Livia: Hmhmm.*

412 *Lehrer: ...weil das Licht so geknickt, gebrochen wird. Ja. Das kommt von der Richtung und dann wird*
413 *dann ein Teil in die Richtung gebrochen, ein Teil in die Richtung gebrochen, ein Teil wird auch hier,*
414 *siehst du, reflektiert.*

415 *Livia: Ohhh.*

416 *Lehrer: Ja. Von der Fläche ist das die Reflexion und das die Brechung. Und dann geht das hier rein*
417 *<ins zweite Prisma>. Und wenn wir es ein zweites Mal machen, ist es noch stärker. Ja.*

418 *Livia: Hmhmm.*

419 *Lehrer: Und dann wird das weiße Licht aufgeteilt in...?*

420 *Livia: ...drei Farben, paar Farben...*

421 *Lehrer: ...sieben sinds.*

422 *Livia: Sieben.*

423 *Lehrer: Sieben Regenbogenfarben, ich glaub, es sind sieben. Da ist violett, blau, <zählt> violett, blau,*
424 *grün...*

425 *Livia: ...grün, gelb, rot..*

426 *Lehrer: Rot?*

427 *Livia: Nein, orange...*

428 *Lehrer: ...orange, rot. Das heißt irgendeins fehlt uns noch, ich glaub es sind sieben. (..)*

429 *Livia: <lacht>*

430 *Lehrer: Nicht so wichtig.*

431 *Livia: Nein.*

432 *Lehrer: Ja. OK. Das heißt, du hast weißes Licht. Dieses weiße Licht kommt auf die grüne und auf die*
433 *rote Fläche. Welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang?*
434 *Wenn du jetzt da so sagst, über dem Roten, leuchtet die Querstange rot. Und über dem Grünen*
435 *leuchtet sie grün.*

436 *Livia: Hmhmm.*

437 *Lehrer: Welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang? (9*
438 *sec)*

439 *Livia: Also das Licht wird auf die, zum Beispiel auf die rote Fläche gesendet, da es aber rot ist, wirds*
440 *dann, ähm, rot zurückgesendet.*

441 *Lehrer: Hmhmm. Und was passiert mit dem Rest des Lichtes?*

442 *Livia: Ähm. (10 sec)*

443 *Lehrer: Schau mal, wenn dieses Licht da drauf fällt.*

444 *Livia: Wird vielleicht alles hingesendet und dann verschluckt, bisschen?*

445 *Lehrer: Wie?*

446 *Livia: Also, das Rote verschluckt ein bisschen Licht.*

447 *Lehrer: Welches Licht wird verschluckt und welches wird zurückgesendet? (..)*

448 *Livia: Ein Teil vom Licht wird zurück in das Loch eben gesendet und der andere Teil (.) ähm*
449 *verschluckt.*

450 *Lehrer: Hmhmm. Wie beim Schwarzen könnte man sagen. Denn da wird ja auch...*

451 *Livia: ...wie beim Schwarzen...*

452 *Lehrer: ...ein Teil verschluckt und ein Teil zurückgesendet, ja. Beim Roten, welche Teile werden*
453 *verschluckt und welche werden zurückgesendet? (..)*

454 *Livia: Welche Teile?*

455 *Lehrer: Welche Teile vom Licht. Wenn wir sagen, wir können das Licht in diese Teile auf..., in diese*
456 *Farben aufteilen, ja. Das sind unterschiedliche Wellenlängen.*

457 *Livia: Dann werden also, bei Rot wird die Farbe Rot, Rot wird zurückgesendet.*

458 *Lehrer: Hmhmm.*

459 *Livia: Und die anderen, also... (.)*

460 *Lehrer: Und alles andere?*

461 *Livia: Alles wird verschluckt.*

462 *Lehrer: Ganz genau. So entstehen die Farben.*

463 *Livia: AHHHH. Ja.*

464 *Lehrer: Ja, wenn weißes Licht, ja, das hat immer alle Farben gemischt, alle Farben zusammen*
465 *gemischt ergeben weißes Licht.*

466 *Livia: Hmhmm.*

467 *Lehrer: Ja. Und wenn dieses weiße Licht jetzt auf eine Farbe draufkommt, dann wird ein Teil des*
468 *Lichtes geschluckt und ein Teil des Lichtes zurückgesendet. Je nachdem, was für eine Farbe da ist,*
469 *ja.*

470 *Livia: Aha, ja.*

471 *Lehrer: Ist das klar.*

472 *Livia: Hmhmm.*

473 *Lehrer: Super, dann schreiben wir das auf.*

474 41 min 01 s - 45 min 17 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird Livia in
475 das Formulieren der Sätze eingebunden. Es gelingt ihr dabei, die elementarisierten Fachbegriffe zu
476 verwenden, um eine differenzierte Antwort auf die sokratischen Fragen zu formulieren. Im Anschluss
477 wird die Aufgabenstellung für die 2. Analyse und Zusammenfassung vorgelesen und betont, dass die
478 Fachbegriffe auf den ersten Eindruck etwas abstrakt erscheinen, aber die Übersetzungen der
479 lateinischen Begriffe eine Hilfestellung darstellen, um dem entgegenzuwirken.

480 *Lehrer: OK. Und wir wollen uns jetzt überlegen, in welchen Situationen in dem Experiment das*
481 *beobachtet werden konnte und welche Rolle die selbstleuchtenden und nichtselbstleuchtenden*
482 *Gegenstände gespielt haben. Ja. Also wir haben diese einzelnen Fachbegriffe, wir überlegen, wann*
483 *konntest du es beobachten und welche Rolle, welche Funktion hatten selbstleuchtende und*
484 *nichtselbstleuchtende Gegenstände dabei.*

485 *Livia: OK.*

486 *Lehrer: Ja.*

487 *Livia: Emission beobachte ich... (..) bei, bei, also bei Nichtselbstleuchtenden.*

488 *Lehrer: Hmhmm. Zum Beispiel jetzt, benenne es an einem Beispiel aus dem Experiment.*

489 *Livia: Weißes Papier.*

490 *Lehrer: Hmhmm. Kön... War das Aussenden oder war das Zurücksenden.*

491 *Livia: Ah, das war Zurücksenden.*

492 *Lehrer: Genau.*

493 *Livia: Beim Schwarzen. Beim Schwarzen?*

494 *Lehrer: Die schwarze Fläche hat auch Licht weggeschickt, aber war das Aussenden oder*
495 *Zurücksenden.*

496 *Livia: Ja, das war Zurücksenden, aber es hat Wärme ausgesendet.*

497 *Lehrer: Es hat Wärme ausgesendet. Aber stell dir vor, das Schwarze empfängt gar kein Licht.*

498 *Livia: Hmhmm.*

499 *Lehrer: Kann es dann Wärme zurücksenden.*

500 *Livia: Nein.*

501 *Lehrer: Nein. Das heißt von sich selbst aussenden können nur...?*

502 *Livia: Nur selbstleuchtende Gegenstände.*

503 *Lehrer: Ganz genau. Und wo hast du das beobachtet, im Experiment? Wo wurde das...*

504 *Livia: Selbstleuchtende?*

505 *Lehrer: Hmhmm.*

506 *Livia: Bei, wie, wie wir zum Beispiel bei (?...) der Lampe geschaut haben.*

507 *Lehrer: Bei der Lampe. Ganz genau.*

508 47 min 01 s - 47 min 50 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

509 *Lehrer: So. Jetzt beginnen wir mit dem Dritten und Vierten oder Dritten. Na, Vierten und Fünften. So.*
510 *Reflexion und Streuung haben was gemeinsam und haben aber auch einen Unterschied. Ja.*
511 *Reflexion, da steht zurücksenden, bei Streuung in alle Richtungen verteilen. Ja. Wo konntest du*
512 *Reflexion beobachten und wo konntest du Streuung beobachten, was war der Unterschied, was war*
513 *das Gemeinsame?*

514 *Livia: Also Reflexion konnte ich bei, bei, weißem Papier beobachten.*

515 *Lehrer: Hmhmm.*

516 *Livia: Und Streuung, nein, nein umgekehrt. Ref... Reflexion bei einem Spiegel zum Beispiel.*

517 *Lehrer: Hmhmm.*

518 *Livia: Streuung bei einem weißen Papier.*

519 *Lehrer: Ganz genau. Das ist nämlich der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung. Er liegt im...?*
520 *Wie haben wir das vorhin gesagt.*

521 *Livia: Lichtpunkt.*

522 *Lehrer: Lichtpunkt, das ist gerichtet.*

523 *Livia: Hmhmm.*

524 *Lehrer: Und das andere ist...*

525 *Livia: Ah, gerichtet und ungerichtet.*

526 *Lehrer: Ganz genau. Ja.*

527 48 min 49 s - 50 min 43 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

528 *Lehrer: Und gemeinsam haben sie was...?*

529 *Livia: Ähm. Sie geben beide Licht ab...*

530 *Lehrer: ...dass sie vorher.*

531 *Livia: ... also sie, dass sie vorher (..) also, sie senden beide Licht aus, dass sie vorher (..), dass sie*
532 *vorher (..)*

533 *Lehrer: Wie haben wir dazu gesagt, wenn das Licht von da <der Lampe> daher kommt <aufs Papier>,*
534 *dann wird das Licht?*

535 *Livia: Dann is das, dann wird das...*

536 *Lehrer: ...em...? Em...? Hast das glaub ich eh schon gesagt.*

537 *Livia: Ich hab das schon gesagt? (..)*

538 *Lehrer: Wir, wir haben, wir haben mehrere Begriffe verwendet, ja?*

539 *Livia: Hmhmm.*

540 *Lehrer: <seufzt> Wir haben Senden, Zurücksenden und Empfangen verwendet.*

541 *Livia: Ah, Empfangen!*

542 *Lehrer: Also nicht M mit einem M-Buchstaben, sondern mit einem em, ja.*

543 *Livia: Hmhmm.*

544 *Lehrer: Also, sie haben gemeinsam, dass sie Licht zurücksenden, dass sie vorher empfangen haben.*

545 51 min 53 s - 52 min 28 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

546 *Livia: Und dann Aus...*

547 *Lehrer: Aufsaugung, Absorption.*

548 *Livia: Beobachte ich...*

549 *Lehrer: Hmhmm.*

550 *Livia: Aufsaugung beobachte ich bei schwarzen Oberflächen.*

551 *Lehrer: Hmhmm. Wo noch? (..) Wir hatten zweimal Aufsaugung.*

552 *Livia: Ah bei, ähm, auch bei Rot zum Beispiel...*

553 *Lehrer: ...bei farbigen...*

554 *Livia: Also Aufsaugung beobachte ich bei farbigen Oberflächen...*

555 *Lehrer: ... bei farbigen und dunklen Oberflächen. Genau.*

556 53 min 03 s - 53 min 26 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

557 *Lehrer: Licht wird... (..) Unter welchen Umständen kann ich... (..) aufsaugen. Licht muss vorher...?*

558 *Livia: ...gesendet werden.*

559 *Lehrer: Genau. Licht muss vorher gesendet und von den Flächen empfangen werden...*

560 53 min 45 s - 54 min 22 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

561 *Lehrer: ...damit es verschluckt wird. (20 sec) <Livia schreibt auf.> Perfekt.*

562 54 min 44 s - 55 min 18s: Es wird eine kleine Pause gemacht und die Aufzeichnung gestoppt. Im
563 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Finsternis in deinem Alltag"
564 vorgelesen.

565 *Livia: Eigentlich stimmt für mich keines.*

566 *Lehrer: OK. Wie würd...*

567 *Livia: Weil da Lichtquellen, also die Gegenstände leuchten ja eigentlich nicht, weil sie ja nicht*
568 *leuchtend sind, also...*

569 *Lehrer: ...nichtselbstleuchtend...*

570 *Livia: ...nichtselbstleuchtend, aber auch wenn es dunkel ist gewöhnen sich die Augen irgendwann*
571 *dran und man sieht schon ein bisschen was, Umrisse.*

572 *Lehrer: Hmhmm. Und wie erklärst du dir das? Das du die Umrisse sehen kannst?*

573 *Livia: Ähm.*

574 *Lehrer: Wenn der Mond untergegangen ist und die Sonne. (.)*

575 *Livia: Eigentlich hab ich das noch nie versucht. Versucht, ich mein... ähm. Eigentlich kann, kann ich*
576 *mir das nicht erklären. Vielleicht stimmt dann doch das Erste. <Leuchtkraftkonzept>*

577 *Lehrer: Dass die von selbst leuchten.*

578 *Livia: Ja.*

579 *Lehrer: Stell dir vor, wir haben jetzt leider hier die Möglichkeit nicht, weil das alles so hell ist. Du gehst*
580 *mit dieser Röhre in eine ganz dunkle Ecke...*

581 *Livia: Hmhmm.*

582 *Lehrer: ...und siehst noch was.*

583 *Livia: Hmhmm.*

584 *Lehrer: Ja.*

585 *Livia: Hmhmm.*

586 *Lehrer: Und sobald ich den Finger drauf geb...*

587 *Livia: ...nix mehr. <nachdenklich>*

588 *Lehrer: Hmhmm. (.) Das heißt...*

589 *Livia: Das heißt, dass das da stimmt, wahrscheinlich.*

590 *Lehrer: Welches?*

591 *Livia: Das Erste, ah nein, ah das, das Zweite.*

592 *Lehrer: Hmhmm. Und woher könnte dieses Restlicht kommen?*

593 *Livia: Hmhmm. Wenn der Mond nicht aufgegangen ist?*

594 *Lehrer: Der Mond ist nicht sichtbar, Sonne ist nicht sichtbar...*

595 *Livia: Ähm. Man sieht einfach gar, auch nicht, wenn irgendwie Fenster leuchten.*

596 *Lehrer: Na ja, du bist draußen in der Natur. Ja, irgendwo am Land...*

597 *Livia: Ähm. (.)*

598 *Lehrer: ... du siehst aber trotzdem was. Siehst du das, weil...*

599 *Livia: (?...)*

600 *Lehrer: ...die Dinge von sich aus leuchten? Hmhmm?*

601 *Livia: Vielleicht vom Aug irgendwas?*

602 *Lehrer: Kann das Aug so Licht wegschicken?*

603 *Livia: Nein, glaub ich nicht.*

604 *Lehrer: Hmhmm. (.) Ist es möglich, dass du draußen in der Natur so eine Situation hast, wo gar, gar*
605 *kein Licht mehr vorhanden ist?*

606 *Livia: Ja.*

607 *Lehrer: Wo es ganz, ganz finster ist?*

608 *Livia: Ja.*

609 *Lehrer: Hmhm. Aber dann müsstest du so wie in der Vision Tube eigentlich gar nix mehr sehen.*

610 *Livia: Nein, ja. Ja. Nein*

611 *Lehrer: Aber du siehst die Umrisse.*

612 *Livia: Ja.*

613 *Lehrer: Woher könnte denn das Licht kommen? (.)*

614 *Livia: Viell... Hmhm.*

615 *Lehrer: Vielleicht doch von einem Fenster? (..)*

616 *Livia: Jo. W...*

617 *Lehrer: ...W...*

618 *Livia: Die Sonne hat noch geschienen und dann hat vielleicht was bisschen die Sonne gespeichert.*

619 *Lehrer: Geht das? Das man Licht speichert?*

620 *Livia: Es gibt solche Dings, solche Solardinger, da kann man eine Lampe, dann funktioniert die*

621 *Lampe.*

622 *Lehrer: Wie Solardinger?*

623 *Livia: Also...*

624 *Lehrer: Du kannst quasi elektrische Energie speichern und das...*

625 *Livia: Ja.*

626 *Lehrer: ...genau, das geht. Aber da wird elektrische Energie gespeichert. Kann man auch Licht*

627 *speichern?*

628 *Livia: Ähm. Nein.*

629 *Lehrer: Kennst du diese Dinger, die man im Kinderzimmer auf der Decke hat? Die leuchten im*

630 *Finstern?*

631 *Livia: AHHH, JA, JA! Ja, man kann Licht speichern, also. Das hab ich auch.*

632 *Lehrer: Das sind aber ganz spezielle Sachen. Das sind fluoreszierende, oder phosphoreszierende. Ich*

633 *weiß es nicht, eines von den beiden. Das ist eine spezielle chemische Substanz. Die kann das Licht*

634 *speichern und gibt es ein bisschen verzögert ab. Und irgendwann hört das aber auch auf zu leuchten,*

635 *also das musst du immer in die Sonne legen, sodass es in der Nacht nachleuchtet.*

636 *Livia: Ich hab da so einen Pyjama.*

637 *Lehrer: So ein Pyjama, ja.*

638 *Livia: Ja...*

639 *Lehrer: Genau. Ähm. Aber wenn du draußen in der Natur bist. Woher könnte das Licht kommen? Was*

640 *für Möglichkeiten gibts denn?*

641 *Livia: Hmhm. (..) Der Mond halt, aber der ist ja nicht zu sehen.*

642 *Lehrer: Und wenn die Sonne weg ist und der Mond weg ist, bleibt noch irgendwas über am Himmel?*

643 *Livia: STERNE!*

644 *Lehrer: Die Sterne. Und wenn die Wolken da sind und alles verdeckt ist? Du siehst noch immer was.*

645 *Was wäre noch eine Möglichkeit?*

646 *Livia: Da, ähhh, die Wolken sind dann...*

647 *Lehrer: Wenn die Wolken die Sterne verdecken?*

648 *Livia: Dann ist nix mehr da.*

649 *Lehrer: Du siehst trotzdem was.*

650 *Livia: Da sind noch Wolken da.*

651 *Lehrer: Woher kommt denn das Licht?*

652 *Livia: Vielleicht weil der Mond ist ja hinter den Wolken wahrscheinlich...*

653 *Lehrer: Hmhmm.*

654 *Livia: ...und die Sterne auch, vielleicht scheint es da durch?*

655 *Lehrer: Es könnte durchscheinen. Ja.*

656 *Livia: Die Wolken, oder, OHHH. Oder die Wolken reflektieren das Licht.*

657 *Lehrer: Hmhmm. Hast du schon mal was von Lichtverschmutzung gehört?*

658 *Livia: Ja.*

659 *Lehrer: Was ist das?*

660 *Livia: Ich, also was ich gehört habe, ist es glaub ich, wenn, wenn, ganz, wenn man weniger Sterne*
661 *sieht auch, wenn, wenn ganz viele Lichter an sind.*

662 *Lehrer: Hmhmm.*

663 *Livia: In der Stadt zum Beispiel.*

664 *Lehrer: Hmhmm. Und wenn du draußen am Land bist, sieht man dann das Licht von der Stadt noch?*

665 *Livia: Hmhmm. Ich glaub schon ein bisschen.*

666 *Lehrer: Hmhmm.*

667 *Livia: Hmhmm.*

668 *Lehrer: Wenn du, wenn du so in dem Süden bist, ganz weit unten <gemeint ist das Wiener Becken,*
669 *welches auch aus größerer Distanz einen Blick auf Wien ermöglicht>, dann siehst du Wien und so*
670 *eine richtige Lichtglocke drum herum. Ja. Das heißt, Finsternis in unserem Alltag bedeutet... (.)*

671 *Livia: Hmhmm.*

672 *Lehrer: Kann es in unserem Alltag ganz stockdunkel sein, ganz, ganz, ganz finster sein, so wie in*
673 *dieser Röhre?*

674 *Livia: Nein.*

675 *Lehrer: Das geht nicht.*

676 *Livia: Nein.*

677 *Lehrer: Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass immer ein bisschen Restlicht vorhanden ist. (26*
678 *sec) <Livia schreibt auf.> Zum Beispiel (.), Sterne, Lichtverschmutzung... (20 sec) <Livia schreibt auf.>*
679 *Mehr, Mond wäre auch eine Möglichkeit, aber in dem Beispiel wäre ja der Mond und die Sonne*
680 *untergegangen.*

681 *Livia: Stimmt.*

682 *Lehrer: Die Umrisse sehen wir, warum? (..)*

683 *Livia: Weil noch Restlicht da ist.*

684 *Lehrer: Und das Restlicht wird...? (..)*

685 *Livia: ...reflektiert. <flüstert ergriffen>*

686 *Lehrer: Ganz genau.*

687 1 h 02 min 40 s - 1 h 03 min 49 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im
688 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Funktionsweise deines Auges"
689 vorgelesen. Livia liest die Aussagen vor.

690 *Lehrer: Was denkst du dir ist davon richtig und was ist davon falsch.*

691 *Livia: Also, ich glaub drei, um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen, ist richtig.*

692 *Lehrer: Hmhmm. Und...*

693 *Livia: ...ich glaub es ist ein aktives Organ.*

694 *Lehrer: Hmhmm. Wenn dasteht es ist, ist ein aktives Organ, das einen Sehstrahl ausschicken kann,*
695 *sodass dieser Sichtbares abtastet. (.) Kann das dann funktionieren, dass das Auge Licht empfangen*
696 *muss, um etwas zu sehen? Ist das ein Widerspruch, oder kann beides wahr sein?*

697 *Livia: Eigentlich ist es ein Widerspruch.*

698 *Lehrer: Eigentlich ist es ein Widerspruch.*

699 *Livia: Es kann dann auch eins von beiden stimmen. Stimmt das, stimmt das alles, was da steht?*

700 *Lehrer: Das stimmt nicht alles und es ist ein Widerspruch, wie du richtigerweise gesagt hast. Also*
701 *entweder stimmt eins oder drei.*

702 *Livia: Hmhmm.*

703 *Lehrer: Entweder ist das Aug ein aktives Organ oder passives Organ.*

704 *Livia: Bei drei steht ja nicht passives Organ.*

705 *Lehrer: Ja, das ist drei und vier.*

706 *Livia: Aso.*

707 *Lehrer: Ja.*

708 *Livia: Eigentlich glaub ich, dass aktive... eher drei und vier.*

709 *Lehrer: Eher drei und vier? Das ist dann aber passiv.*

710 *Livia: Ja, aber es kann, also es, wir, wir, wir können ja das Licht ausschalten, dass wir was sehen*
711 *können. Wir müssen das Licht ausschalten und dann zu machen, die Augen.*

712 *Lehrer: Hmhmm.*

713 *Livia: Und da machen wir, da machen wir, wir nur das Licht zu und nicht die Augen...*

714 *Lehrer: Ja, das ist die Frage, wenn wir das, wenn wir die Augen zu machen, wieso sehen wir dann nix,*
715 *weil der Sehstrahl nicht mehr raus kann, oder sehen wir nix, weil das Licht nicht mehr rein kann?*

716 *Livia: Weil Licht nicht mehr rein kann.*

717 *Lehrer: Weil Licht nicht mehr rein kann. Ganz genau. Ja. Überleg einmal, du hast da ein paar Tipps*
718 *gehabt, ja, warum kannst du nicht gut riechen, wenn deine Nase verstopft ist? (.) Wo sind denn die*
719 *Gerüche? In der...*

720 *Livia: ...in der... (.)*

721 *Lehrer: ...Luft.*

722 *Livia: Ja. In der Luft.*

723 *Lehrer: Ja, und wenn die Nase verstopft ist, dann?*

724 *Livia: Kann man nicht mehr gscheit riechen.*

725 *Lehrer: Weil die Luft...?*

726 Livia: Weil die Luft nicht durch die Nase kommt.

727 Lehrer: Weil sie nicht hineinkommt.

728 Livia: ...nicht hineinkommt.

729 Lehrer: Ja. Und wenn du jetzt hier wissen willst, wie sich das anfühlt. <Stellt Livia den Spitzer mit
730 Abstand davor.> Kannst du das aus der Ferne abtasten?

731 Livia: Nein. (.) Also was, was?

732 Lehrer: Den Spitzer.

733 Livia: Nein.

734 Lehrer: Da muss der Spitzer auch zu dir, oder?

735 Livia: Hmhmm.

736 1 h 06 min 15 s - 1 h 6 min 42 s: Es wird kurz auf die unterschiedlichen Sinneszellen eingegangen, im
737 Anschluss das Modell des Auges aufgegriffen.

738 Lehrer: Welche Funktion haben denn die in Bezug auf das Sehen, die Pupille und die Netzhaut? Die
739 Netzhaut ist diese grüne Schicht. <Im Modell grün hervorgehoben.>

740 Livia: Also wie...?? Was? Hmhmm.

741 Lehrer: Zum Beispiel im Vergleich zu der Vision Tube, ja.

742 Livia: Hmhmm.

743 Lehrer: Ja, gibts im Modell des Auges Vergleichbares?

744 Livia: Hmhmm.

745 Lehrer: Wo ist da der Zusammenhang mit dieser Vision Tube? Zwischen dem Modell des Auges?

746 Livia: Ähm. (.) Es eine Öffnung gibt wo man drauf schauen, also es ist da eine Öffnung...

747 Lehrer: Hmhmm.

748 Livia: ...und da die Öffnung quasi.

749 Lehrer: Und schaut man da raus, oder?

750 Livia: Ja. Durch die Pupille raus.

751 Lehrer: Von da nach draußen?

752 Livia: Na ja, also, also es ist ja verkehrt, eigentlich. Das Auge drehts um.

753 Lehrer: Das Auge drehts um, das stimmt schon.

754 Livia: Und da kommts da rein ins Gehirn und...

755 Lehrer: Ja. Aber die Frage is, ob da was durch die Pupille raus geht, oder in die Pupille rein?

756 Livia: In die Pupille rein.

757 Lehrer: Genau und je nachdem...

758 Livia: Von da geht Licht rein. <Durchs kleine Loch in die Tube.>

759 Lehrer: Da geht auch Licht rein. Ja. Und wo wird es aufgenommen? (..)

760 Livia: Bei, bei was jetzt?

761 Lehrer: Hier bei der Röhre und hier beim Aug.

762 Livia: Also beim Aug wird das wahrscheinlich (..) auch in der Pupille aufgenommen, das Licht.

763 Lehrer: Und wenn die Pupille eigentlich nur ein Loch is?

764 Livia: Dann wirds vielleicht in der Linse, oder?

765 Lehrer: In der Linse..., das ist durchsichtig, da wird das scharf gestellt.

766 Livia: Aso. Dann, dann (.) Glaskörper?

767 Lehrer: Das ist auch durchsichtig. Deswegen heißt es Glaskörper, das ist...

768 Livia: Ähm. Entweder im Sehnerv, ich glaub im blinden Fleck, vielleicht?

769 Lehrer: Der blinde Fleck ist dort, wo der Sehnerv an diese grüne Schicht kommt. Ja.

770 Livia: Hmhmm.

771 Lehrer: Das ist der blinde Fleck. (.)

772 Livia: Und dann weiß ich nicht.

773 Lehrer: Wo können denn die Sensoren sitzen, die das Licht messen, in der Vision Tube und im Aug?

774 Livia: Da vielleicht in diesem, an der Stange... (.)

775 Lehrer: An der Querstange.

776 Livia: An der Querstange.

777 Lehrer: Da wird das Licht gemessen, kann man sagen. Wenn rotes Licht kommt, wird das rot.

778 Livia: Ja.

779 Lehrer: Wenn grünes Licht kommt, wird das grün. Wenn schwaches Licht kommt, wird das...?

780 Livia: Wird es, wird es...

781 Lehrer: ...schwach. Schwach sichtbar. Wenn viel Licht kommt, gut sichtbar. Und hier im Aug?

782 Welches, welche (..) da kommst hinein, da wirds scharf gestellt, da gehts hindurch, und wo könnten

783 die Sensoren stecken, für das Lichtmessen?

784 Livia: Bei der Netzhaut?

785 Lehrer: Bei der Netzhaut. Ganz genau.

786 1 h 03 min 30 s - 1 h 15 min 41 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird

787 Livia eingebunden. Sie erwähnt auch, dass die Pupille sich an die Helligkeit anpasst, größer wird, um

788 im Dunklen besser sehen zu können. Sie erwähnt zwar, dass die Netzhaut das Licht speichert, kann

789 das aber schnell korrigieren und ein adäquates Konzept anwenden. In der Schule hat sie das Auge

790 noch nicht besprochen. Der Lehrer erklärt deshalb weitere Details, erklärt, wie die Linse mithilfe des

791 Ringmuskels fokussiert. Auch wird auf die Funktion der Hornhaut und die beiden Sensoren Stäbchen

792 und Zäpfen eingegangen. Als Livia versteht, dass deshalb in dunkler Umgebung nur Grautöne

793 wahrgenommen werden können, gibt es einen Aha-Moment. Im Anschluss wird die Aufgabenstellung

794 des Anwendungsbeispiels "Mond und Äpfel im Sonnenlicht" vorgelesen.

795 Lehrer: In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne? (.)

796 Livia: Wo...?

797 Lehrer: Da, die drei Fragen. Ja. Beziehen sich auf das Bild. (6 sec) <Livia liest noch mal die Fragen

798 durch.> (.) Man sieht sie am Bild nicht, ja. Aber gibts in dem Bild Informationen, die dir sagen wo die

799 Sonne positioniert sein muss?

800 Livia: Ja, der Mond könnte das sagen.

801 Lehrer: Ja. Wo steht denn die Sonne auf dem Bild?

802 Livia: Hmhmm.

803 Lehrer: Schau mal, wie der Monde beleuchtet ist, ja. Schau ihn dir genau an.

804 Livia: Ähm, da. Das heißt, ähm, im linken oberen Eck.

805 *Lehrer: Ganz genau. (23 sec) <Livia schreibt auf.> Ist die Beleuchtungssituation von Apfel und Mond*
806 *gleich? (..)*

807 *Livia: Ja.*

808 *Lehrer: Warum, wie kannst du das feststellen?*

809 *Livia: Also, weil man sieht jetzt hier diesen Punkt und des ist ja da auch heller.*

810 *Lehrer: Hmhmm.*

811 *Livia: Und man weiß aber, hier da sieht man den Mond noch auf der Seite.*

812 *Lehrer: Genau. Und auf der anderen Seite ist er?*

813 *Livia: Nicht so, so, so dunkel...*

814 *Lehrer: Der Schatten...*

815 *Livia: ...der Schatten.*

816 *Lehrer: Genau. Das heißt, die beleuchtete Fläche ist gleich. Ja, und der Schatten ist auch gleich, ja.*
817 *Der Schatten ist da so gekrümmt und hier auch so gekrümmt, oder? <Identisch bei Mond und Apfel.>*

818 *Livia: Hmhmm.*

819 *Lehrer: Also können wir sagen, die Beleuchtungssituation ist gleich aufgrund des... (.) Schattens.*
820 *(35 sec) <Livia schreibt auf.> Hmhmm. Schau, das heißt, das Licht kommt von da oben, geht auf*
821 *diese Seite, deswegen ist es hier sehr hell.*

822 *Livia: Hmhmm.*

823 *Lehrer: Dritte Frage: Warum ist die Schattenseite des Apfels sichtbar?*

824 *Livia: Weil... diese Seite hier?*

825 *Lehrer: Hmhmm.*

826 *Livia: Weil so einfach noch hell ist. Und halt, weil die Son..., weil, weil man sieht, wenn man, wenn die*
827 *Sonne da rauf geht, sieht man auch die Schattenseite.*

828 *Lehrer: Wenn die Sonne direkt in dein Aug kommt, ist es sehr hell, oder?*

829 *Livia: Ja.*

830 *Lehrer: Das heißt...*

831 *Livia: ...sie kommt nicht direkt in mein Aug.*

832 *Lehrer: Nein. In erster Linie kommt sie da auf die helle Fläche...*

833 *Livia: Hmhmm.*

834 *Lehrer: ...deswegen, du siehst hier, also wie gesagt, da ist dieser Punkt. <Der glänzende Fleck auf*
835 *dem Apfel.> Da kommt die meiste Sonne hin, für dein Aug.*

836 *Livia: Hmhmm.*

837 *Lehrer: Das heißt, die Sonne kommt da drauf und an der Stelle in dein Aug, und an der Stelle am*
838 *meisten.*

839 *Livia: Hmhmm.*

840 *Lehrer: Hier, auf der Schattenseite...*

841 *Livia: Hmhmm.*

842 *Lehrer: ...kommt da auch Licht hin?*

843 *Livia: Nein, ja, doch.*

844 *Lehrer: Doch? Von wo?*

845 *Livia: Auch von der Sonne.*

846 *Lehrer: Direkt?*

847 *Livia: Nein. Nicht direkt, aber es ist auch beleuchtet, weils ja rundherum...*

848 *Lehrer: Das heißt, wenn gar keine Sonne ist, würde man beides nicht sehen. Ja.*

849 *Livia: Ja.*

850 *Lehrer: Hier kommt das Licht direkt hin und welche Rolle, steht da auch bei der Frage, welche Rolle*
851 *spielt die Umgebung?*

852 *Livia: Ähm. (..)*

853 *Lehrer: Sieht man die Schattenseite vom Mond?*

854 *Livia: Ja, nein, nein. Ah, weils vielleicht weiter-näher ist, weiter...*

855 *Lehrer: Hat der Mond eine Umgebung?*

856 *Livia: Nein, weil der... ja, nein, weil der, weil der, also...*

857 *Lehrer: Da ist eigentlich nix rundherum.*

858 *Livia: Ja.*

859 *Lehrer: Ja.*

860 *Livia: Schwarz rundherum eigentlich.*

861 *Lehrer: Hat der Apfel eine Umgebung?*

862 *Livia: Ja.*

863 *Lehrer: Nämlich?*

864 *Livia: Wahrscheinlich der Baum.*

865 *Lehrer: Ja, was ist denn da sichtbar?*

866 *Livia: Blätter?*

867 *Lehrer: Die Blätter. Und welche Rolle spielen die Blätter? In Bezug auf die Schattenseite?*

868 *Livia: Hmhmm. Vielleicht geben sie Licht, also weil, reflektieren die Licht? <leise, recht unsicher>*

869 *Lehrer: Ganz genau.*

870 *Livia: Auf die Schattenseite.*

871 *Lehrer: Hmhmm.*

872 *Livia: AHHH.*

873 *Lehrer: Und weil das nicht so hell ist, wie vorhin gesagt, schaut der Schatten ein bisschen grau aus.*

874 *Livia: Hmhmm. Ja.*

875 *Lehrer: Weil da die Sensoren für die Helligkeit funktionieren, bei wenig Licht. Ja. Und manchmal, ja,*
876 *sieht man sogar die Schattenseite vom Mond. Wenn der Tag sehr, sehr klar ist. Dann wird das Licht*
877 *von wo reflektiert? (..) Um auf die Schattenseite zu kommen?*

878 *Livia: Ähm. (..)*

879 *Lehrer: Von der Erde. Die Erde leuchtet.*

880 *Livia: AHHH.*

881 *Lehrer: Die hat ja auch Wolken und Atmosphäre, Oberflächen...*

882 *Livia: Ahhhh.*

883 *Lehrer: ...und die schicken dann das Licht auf die Schattenseite vom Mond, dann siehst du ganz, ganz*
884 *leicht auch die Schattenseite vom Mond. Ja. Musst einmal genau hinschauen. Genauso wie hier*
885 *<beim Apfel>, ja.*

886 *1 h 21 min 04 s - 1 h 22 min 19 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im*
887 *Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Lichtausbreitung einer Kerze"*
888 *vorgelesen.*

889 *Lehrer: In welche Richtungen breitet sich das Licht aus? Stelle den Weg des Lichtes mithilfe von*
890 *Linien und Pfeilen dar! (.)*

891 *Livia: Hmhmm. Also... (..) Also, das ist das Auge...*

892 *Lehrer: Hmhmm.*

893 *Livia: ...und das Licht fällt vielleicht so auf den Stein.*

894 *Lehrer: Hmhmm.*

895 *Livia: Und der Stein macht das ins Auge. <Zeichnet die Linien etwas gebogen.>*

896 *Lehrer: Hmhmm. Ja. (..) Geht das so schief, oder geht das...? (..)*

897 *Livia: Gerade?*

898 *Lehrer: Weiß ich nicht? Gehts gerade oder gehts schief?*

899 *Livia: Ich glaub eher so. Wenn zum Beispiel eine Kerze...*

900 *Lehrer: Ja.*

901 *Livia: ...also so mehrere.*

902 *Lehrer: Ganz genau. Also zeichnen wir das mal ein. Schau, da hast du einen Radiergummi, da kannst*
903 *du das ausbessern. Ja. (6 sec) <Livia zeichnet.> Auch in andere Richtungen? (.)*

904 *Livia: Ja. Also eigentlich in alle.*

905 *Lehrer: Ja. (12 sec) <Livia zeichnet.>*

906 *Livia: Fast alle.*

907 *Lehrer: Hmhmm.*

908 *Livia: So.*

909 *Lehrer: Nach unten gehts auch?*

910 *Livia: Nein.*

911 *Lehrer: Warum? (..)*

912 *Livia: Nein, weil, weil die Kerze, die ist ja da, da...*

913 *Lehrer: Da Kerze ist im Weg. Da wirft die Kerze einen Schatten, ja.*

914 *Livia: Da ist die Kerze im Weg und wirft einen Schatten.*

915 *Lehrer: Hmhmm. Und dann... (12 sec)*

916 *Livia: Und dann wirds von da ins Aug rein.*

917 *Lehrer: Hmhmm. (..) Hmhmm. Nur von der Stelle?*

918 *Livia: Eigentlich von allen.*

919 *Lehrer: Hmhmm. (..) <Livia zeichnet.>*

920 *Livia: Aber nur von da in die Augen. (..) <Livia zeichnet.>*

921 *Lehrer: Hmhmm. Wäre da, müsste das gerade sein, oder ist das...? (.)*

922 *Livia: Ich glaub, das ist egal.*

923 *Lehrer: Das ist egal?*

924 *Livia: Ja, solange Licht kommt ist, dann ist es...*

925 *Lehrer: Und würde es mehr Sinn machen, wenn das quasi von hier so geht? <Zeichnet geradlinige*

926 *Linien von mehreren Stellen des Steins ins Auge.>*

927 *Livia: Ja, das würde mehr Sinn machen.*

928 *Lehrer: Das kommt alles sozusagen in einem Punkt zusammen, von mehreren Orten. (8 sec) <Lehrer*

929 *zeichnet.> Oder? So.*

930 *Livia: Hmhmm. (..)*

931 *Lehrer: Gut, stell dir statt dem Stein einen Spiegel vor. Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel*

932 *blenden?*

933 *Livia: Hmhmm. Wenn Licht auf ihn fällt?*

934 *Lehrer: NUR, wenn Licht auf ihn fällt? Oder muss noch was Zweites sein? (..)*

935 *Livia: Na, wenn es so ausgerichtet ist, dass es in die Pupille fällt.*

936 *Lehrer: Ganz genau. Ja.*

937 1 h 25 min 44 s - 1 h 26 min 37 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

938 *Lehrer: Wieso kann der Stein dich nicht blenden?*

939 *Livia: Ähm, weil es von mehreren Orten, vielleicht weils nicht nur von einem Punkt kommt.*

940 *Lehrer: Hmhmm.*

941 *Livia: Sondern weil es von mehreren draufkommt?*

942 *Lehrer: Hmhmm. Wie war das mit gerichtet und ungerichtet.*

943 *Livia: AH, weils ungerichtet kommt, weils Licht ungerichtet in die Pupille fällt.*

944 *Lehrer: Genau. Das heißt, wenn das Licht daherkommt, dann gehts...? (.)*

945 *Livia: Hmhmm.*

946 *Lehrer: Wie gehts weiter?*

947 *Livia: Dann gehts oben einfach weg.*

948 *Lehrer: Ja, aber in welche Richtung?*

949 *Livia: Das ist eigentlich egal, weil es ja ungerichtet ist.*

950 *Lehrer: Genau. In alle möglichen Richtungen. (..) Ja. (..) So. Aber eben auch in diese Richtung. <In*

951 *Richtung des Auges.> Ja. Das heißt der Stein kann dich nicht blenden, weil...?*

952 *Livia: Der Stein blendet einen nicht, kann einen nicht blenden, weil er ungerichtet, weil er das Licht*

953 *ungerichtet sendet.*

954 *Lehrer: Hmhmm.*

955 1 h 27 min 46 s - 1 h 28 min 40 s: Livia wiederholt das Erarbeitete selbstständig, um es

956 aufzuschreiben.

957 *Lehrer: Deswegen geht nicht so viel, schau, wenn das Licht da darauf kommt, geht es in alle*

958 *möglichen Richtungen, auch in dein Aug. Wenn es nicht dorthin gehen würde, würdest du es nicht*

959 *sehen.*

960 *Livia: Ja.*

961 *Lehrer: Aber du kannst beim Spiegel, ja, beim Spiegel, ja... (..) <Bereitet das Experiment vor.>*
 962 *Schalten wir das Licht ein. Wenn du jetzt in den Spiegel schaust, was siehst du? (..)*

963 *Livia: Mich.*

964 *Lehrer: Dich selbst. Und wenn das jetzt so ist? Was siehst du jetzt?*

965 *Livia: Oben die Decke? Weil das Licht die Decke reflektiert <ganz enthusiastisch> und von der Decke*
 966 *runter.*

967 *Lehrer: Genau. Das heißt, in diesem Winkel kommt genau das Licht...*

968 *Livia: ...so wäre das dann doch eigentlich.*

969 *Lehrer: Na ja, genau. Das Licht geht da <von der Lampe>, darauf, oder von der Sonne, ja. Und wenn*
 970 *es dann, ja, und jetzt geht das Licht... <Blendet kurz Livia.>*

971 *Livia: Von der Sonne, von dort direkt.*

972 *Lehrer: Ganz genau. Dann kommt es direkt. Also du siehst im Spiegel immer das dort, wo der Winkel*
 973 *ist, wo das Licht hinkommt. Ja. Das heißt, wenn es hier blendet, weil nicht so viel Licht da ist, ja. Aber,*
 974 *aber wenn du jetzt die Decke siehst, kriegst du genau die Lichtinformation daher <auf den Spiegel>*
 975 *und dann in dein Auge.*

976 *Livia: Hmhm.*

977 *Lehrer: Ja. Und das blendet dich nicht, weils nicht so stark ist. Aber das ist sehr stark, ja. Das sieht*
 978 *man eh, da kann ich richtig einen Lichtpunkt erzeugen. (?...)*

979 *Livia: Auf dem Ding drauf.*

980 *Lehrer: Sieht man gar nicht so stark, weil die Sonne ja auch so stark ist. Ja. So funktioniert das mit*
 981 *dem Sehen. Immer wenn du Licht empfängst von einer bestimmten Quelle, dann siehst du das, weil*
 982 *das Licht in deine Augen fällt. Gut, wir sind fertig.*

983 01 h 30 min 46 s

4. Unterrichtseinheit mit Manu

1 00 min 00 s - 06 min 07 s: Die Unterrichtseinheit beginnt und das Thema der Unterrichtseinheit wird
 2 grob erklärt. Der Lehrer erklärt den Aufbau der Materialien, den Zusammenhang zwischen den Inputs
 3 der Folien, dem Experimenten und dem Arbeitsblatt. Im Anschluss wird das Arbeitsblatt hergezeigt
 4 und beschriftet. Manu liest den ersten Absatz des Arbeitsblattes vor. Zusätzlich werden die einzelnen
 5 Elemente der Vision Tube kleines Loch, Querstange und große Öffnung vorgestellt. Auch wird auf die
 6 Bauweise bzw. durch welche Elemente die Lichtundurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die
 7 Tatsache, dass das Licht rechtwinkelig zur Sichtachse einfällt, eingegangen.

8 Manu braucht ein wenig, um zu verstehen, wie die Vision Tube gehalten werden muss, damit er den
 9 Lichteinfall unter rechtem Winkel beeinflussen kann. Darauf folgen erste Beobachtungen in
 10 unterschiedlichen Situationen, unter anderem in einem recht dunklen Raum, einem angrenzenden
 11 WC. Die Aufgabenstellung des 1. Experiments wird vom Lehrer vorgelesen.

12 *Lehrer: Wie beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung? Unter welcher Bedingung ist die*
 13 *Querstange besser oder schlechter sichtbar? Das sind zwei Fragen, aber du kannst es in einem...*

14 *Manu: Also das da innen, also dieses, dieser weiße Stab da.*

15 *Lehrer: Genau. Den weißen Stab bezeichne ich als Querstange. Genau. Unter welcher Bedingung ist*
 16 *die Querstange besser oder schlechter sichtbar? Wie beeinflusst das Licht deine Beobachtung?*

17 *Manu: Das Licht, soll ich das aufschreiben?*

18 *Lehrer: Sags einmal in deinen eigenen Worten.*

19 *Manu: Also ich glaub das Li... das meine Beobachtung, also beim Licht, da seh ich das besser,*
 20 *irgendwie glaub ich auch, dass das flackert da innen irgendwie so bisschen. <Bei guter Beleuchtung*

21 wandert je nach Eintrittswinkel ein Lichtpunkt in der Vision Tube.>

22 Lehrer: Hmhmm.

23 Manu: Und ähm...

24 Lehrer: Wann flackerts?

25 Manu: Wenn Licht da ist, also wenn ich, wenn ich jetzt da hinschau, oder ich steh vorm Fenster, dann
26 seh ich von draußen die Sonne flackern oder so irgendwie.

27 Lehrer: Hmhmm.

28 Manu: Und wenn ich jetzt da im Klo oder dem Badezimmer da war, da hab ich überhaupt nichts...

29 Lehrer: Gar nichts, gar nichts?

30 Manu: Doch, also ich hab diesen weißen Strich <die Querstange> gesehen und wie ich auf den Boden
31 geschaut habe, wars bisschen heller, aber sonst eigentlich hab ich (.) nicht...

32 Lehrer: Und welchen Einfluss hat das Licht auf diese Beobachtung?

33 Manu: Hmhmm. Na ja, wenn ich diese, wenn ich Licht, wenn ich mehr Licht irg... auf diese Stange
34 bekommen habe, konnte ich sie mehr untersuchen.

35 Lehrer: Hmhmm.

36 Manu: Und wenn weniger Licht dort war, dann konnte ich sie halt nicht so gut untersuchen oder
37 sehen.

38 Lehrer: Sehen. Ja. Wir versuchen auch immer, das ist eine zentrale Aufgabe bei diesen
39 Experimenten, möglichst präzise Worte zu verwenden.

40 Manu: OK.

41 Lehrer: Ja. Und da ist ein... Sichtbarkeit ist quasi ein Fachbegriff. Ja. Und wenn wir jetzt sagen, je
42 mehr Licht, ja, in Bezug auf die Sichtbarkeit, wie würdest du den Satz vervollständigen?

43 Manu: Desto mehr Licht ich sehen kann, desto besser kann ich das (.) Teil hier sehen.

44 Lehrer: Aber kannst du Licht sehen? Was hat das, was war der Unterschied, wenn ich jetzt zum
45 Fenster gegangen bin, unter die Lampe, ins WC. Gings darum, das Licht zu sehen, oder gings
46 darum... Was hat das Licht gemacht?

47 Manu: Das Licht hat diesen weißen Querstab heller gemacht und dunkler.

48 Lehrer: Genau. Und wie, wie hat es das gemacht?

49 Manu: Ja, vom Licht.

50 Lehrer: Ja. Aber wie ist es, ist es in diese Röhre hineingekommen?

51 Manu: Durch dieses kleine Loch hier.

52 Lehrer: Genau. Das heißt, man kann sagen: Je mehr Licht in das kleine Loch kommt,...

53 Manu: ...desto mehr seh ich.

54 Lehrer: ...desto besser ist die...

55 Manu: ...Sichtbarkeit...

56 Lehrer: ...der Querstange. Kann man das so sagen?

57 Manu: OK. Ja.

58 08 min 40 s - 09 min 17 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

59 *Lehrer: Ja, weil vorhin hast du gesagt: Je mehr Licht du sehen kannst. Weißt du, ver... verstehst du*
60 *den Unterschied zwischen deiner Formulierung und der Formulierung, die wir jetzt aufgeschrieben*
61 *haben? (.) Was heißt, je mehr Licht du sehen kannst? Was heißt das?*

62 *Manu: Na ja, desto besser kann ichs halt untersuchen, kann ich diese Stange sehen.*

63 *Lehrer: Aber woher kommt denn das Licht?*

64 *Manu: Von draußen oder halt von der Lampe.*

65 *Lehrer: Genau. Und wohin gehst?*

66 *Manu: Da rein...*

67 *Lehrer: Genau. Also eigentlich müsste man sagen: Je mehr Licht da hineinkommt und nicht je mehr*
68 *Licht ich sehen kann. Da ist ein Unterschied in der Formulierung. Ja. Verstehst du das?*

69 *Manu: Ja. Ich hab das so formuliert, weil ich draußen ja, wenn ich ja, wenn ich so in das Loch schau,*
70 *ja nicht draußen was sehe.*

71 *Lehrer: Genau. Aber wenn beim Fenster, da kommt Licht, viel Licht und hier ist es wenig Licht. Ja.*

72 *Manu: Hmhmm.*

73 *Lehrer: Und geht hier hinein. Also die Formulierung ist ein bisschen eine, eine präzisere. Ja.*

74 *Manu: Hmhmm.*

75 *Lehrer: Und das ist, was wir hier üben wollen.*

76 *Manu: Hmhmm.*

77 *Lehrer: Wir wollen möglichst präzise Formulierungen üben.*

78 *Manu: Hmhmm. OK.*

79 *Lehrer: Und bei der nächsten Aufgabe ist zum Beispiel zu unterscheiden in zwei wi... unterschiedliche*
80 *Kategorien. In selbstleuchtende und nichtselbstleuchtende Gegenstände. Ja. Das ist auch wieder so*
81 *ein Fachbegriff. Ja. Selbstleuchtend, nichtselbstleuchtend. Ziemlich langes Wort, aber leider is es halt*
82 *in Deutsch oft so, dass es, dass die Wörter aneinandergereiht werden, um dann möglichst präzise zu*
83 *sein. Ja.*

84 *Manu: Also, soll ich jetzt irgendwie nur die, die Sachen aufschreiben, die wirklich ohne Strom und*
85 *ohne gar nix leuchten?*

86 *Lehrer: Ja, die Frage ist, was brauchts zum Leuchten?*

87 *Manu: Ja, die Sonne braucht nichts, um zu leuchten.*

88 *Lehrer: Braucht sie, macht sie das einfach so?*

89 *Manu: Nein, also, aber sie braucht jetzt nichts irgendwie, sie braucht nichts, was WIR ihr raufleiten.*

90 *Lehrer: Genau, sie braucht keinen Strom.*

91 *Manu: Ja.*

92 *Lehrer: Also wir geben ihr keine Energie, ja. Aber sie hat sehr viel Energie in sich gespeichert.*

93 *Manu: Ja.*

94 *Lehrer: Ja. Ganz streng genommen ist es Kernenergie. Die Sonne macht genau das gleiche wie ein*
95 *Atomkraftwerk.*

96 *Manu: Hmhmm.*

97 *Lehrer: Also sehr ähnlich. Sie macht zwar keine Kernspaltung, aber Kernfusion. Sie verschmilzt*
98 *Atomkerne miteinander, dadurch wird sehr viel Energie frei. Ja, das heißt, die hat dort schon Energie*
99 *von den einzelnen Atomen...*

100 *Manu: Hmhmm.*

101 *Lehrer: ...die vorhanden sind und wenn die zusammen, durch hohen Druck und viel Temperatur, ja,*
102 *also hohe Temperatur, hoher Druck...*

103 *Manu: Hmhmm.*

104 *Lehrer: ...schmelzen sie zusammen und dann wird dann Licht freigesetzt.*

105 *Manu: OK.*

106 *Lehrer: Also, aber es ist selbstleuchtend. Auf jeden Fall, oder?*

107 *Manu: Hmhmm. Die Sonne ist selbstleuchtend.*

108 *Lehrer: Also können wir die Sonne als Beispiel aufschreiben als selbstleuchtenden Gegenstand. Was*
109 *fällt dir noch ein, als selbstleuchtenden Gegenstand?*

110 *Manu: Wirklich leuchten oder auch glitzern?*

111 *Lehrer: Von sich aus glitzern. (.) Das Wichtige ist, dass es von sich aus... Ein Diamant zum Beispiel.*

112 *Manu: Hmhmm.*

113 *Lehrer: Der glitzert, oder???*

114 *Manu: Ja.*

115 *Lehrer: Glitzert der von sich aus?*

116 *Manu: Ja.*

117 *Lehrer: Ja?*

118 *Manu: Hmhmm.*

119 *Lehrer: Einfach so.*

120 *Manu: Ja, wegen dem Glas.*

121 *Lehrer: Und wenn ich jetzt, ähm, einen Diamanten da rein geb <in die Vision Tube>.. ...*

122 *Manu: ASO NEIN, weil man das Glitzer ja draufgegeben hat.*

123 *Lehrer: Was ist das, was rauf kommt auf den Diamanten, wenn es dann glitzert?*

124 *Manu: Das glitzert einfach. Oder Glas.*

125 *Lehrer: Diamant ist in der Regel ganz durchsichtig, ähnlich wie Glas.*

126 *Manu: Ja.*

127 *Lehrer: Ja, ist ganz durchsichtig, wenn der rein ist, dann ist das einfach durchsichtig ähnlich wie Glas.*

128 *Manu: Hmhmm.*

129 *Lehrer: Ja. Da hab ich auch so ein Glasteilchen hier. <Eine tropfenförmige Kristallgaskugel mit einer*
130 *Vielzahl an Facetten.>*

131 *Manu: Hmhmm.*

132 *Lehrer: Wenn du durchschaust, ist das an und für sich (.) hmhmm, alles durchsichtig.*

133 *Manu: Hmhmm.*

134 *Lehrer: Aber es glitzert ein bisschen, ja.*

135 *Manu: Hmhmm.*

136 *Lehrer: Und wenn ich es in das Licht halte, schau jetzt da mal durch. Da. (..)*

137 *Manu: Dann glitzert das viel.*

138 *Lehrer: Ja. (..) Glitzert das von sich selbst?*

139 *Manu: Nein, nur wenn die Lampe an ist.*

140 *Lehrer: Kann es was Selbstglitzerndes sein?*

141 *Manu: Die Glitzerkeit wird verstärkt.*

142 *Lehrer: Hmhmm. Ist ein Diamant oder so ein Glasprisma, ist das jetzt selbstleuchtend oder*
 143 *selbstglitzernd.*

144 *Manu: Ne.*

145 *Lehrer: Nein!*

146 *Manu: Nein!*

147 *Lehrer: Es braucht nämlich (.) Licht...*

148 *Manu: ...Licht...*

149 *Lehrer: ...damits glitzert. Ganz genau. Also können wir das aufschreiben. Ja. Schreibst hin,*
 150 *nichtselbstleuchtend, ein Diamant, Glasprisma (..) <Manu schreibt parallel mit.> Das ist eine wichtige*
 151 *Unterscheidung die wir heute treffen wollen.*

152 *Manu: OK.*

153 *Lehrer: Ja. Dinge, die von sich leuchten können...*

154 *Manu: Ähm.*

155 *Lehrer: ...und Dinge, die nicht von sich aus leuchten können.*

156 *Manu: Ich, ich...*

157 *Lehrer: Was fällt dir noch ein?*

158 14 min 01 s - 14 min 15 s: Es wird kurz über einen Nachbarsjungen gesprochen.

159 *Lehrer: Also, was noch, was ist noch selbstleuchtend und was ist noch nichtselbstleuchtend?*

160 *Manu: Nichtselbstleuchtend ist eine Lampe.*

161 *Lehrer: Was...*

162 *Manu: Weil sie durch Strom (.) leuchtet. (.)*

163 *Lehrer: Hmhmmmm. <Überrascht von der Antwort.> Ja, aber, also bgb, bei selbstleuchtend sagen*
 164 *wir: mithilfe von... Bei der Sonne sagen wir ja auch, die Sonne leuchtet mithilfe von den Atomen. Und*
 165 *die Lampe leuchtet mit Hilfe von...?*

166 *Manu: Strom.*

167 *Lehrer: Also würden wir sie unter selbstleuchtend...*

168 *Manu: Ah, OK.*

169 *Lehrer: ...einfügen. Ja. Die Lampe. (.) oder genau genommen die Glühbirne, müsste man sagen. Ja.*

170 *Manu: OK.*

171 *Lehrer: Ja, weil der Fuß von der Lampe zum Beispiel, ist der selbstleuchtend?*

172 *Manu: Ne.*

173 *Lehrer: Ne. (.) Ja. (..) Also können wir schreiben, der Fuß der Lampe ist nichtselbstleuchtend.*

174 *Manu: Hmhmm.*

175 *Lehrer: Ja. Ja, selbstleuchtend, da hast du recht, das geht nicht alleine, das braucht Energie. Ja,*
176 *elektrische Energie oder wie im Fall der Sonne, ja. Was fällt dir noch ein, was leuchtet noch?*

177 *Manu: Von...*

178 *Lehrer: Von sich aus?*

179 *Manu: ...selber.*

180 *Lehrer: Oder mithilfe von Energie? (8 sec) Das heißt mithilfe...*

181 *Manu: Darf ich kurz im Raum herum gehen?*

182 *Lehrer: Ja, mach das. (30 sec) <Manu experimentiert.>*

183 *Manu: Ah, eine nicht leuchtend, ähm, wenn man den Blitz bei der Kamera einschaltet.*

184 *Lehrer: Ah, der Blitz bei der Kamera ist (.) selbstleuchtend?*

185 *Manu: Ja.*

186 *Lehrer: Selbstleuchtend heißt, dass es Licht aussenden kann, von sich aus.*

187 *Manu: Hmhmm. Ja.*

188 *Lehrer: Ja. Mithilfe von Energie. Ja. Schreibst mal hin Blitz. Ein Blitz von der Kamera. Ja. Noch*
189 *irgendwas, was hier am Tisch ist? (6 sec) Was von sich aus Licht ausschickt?*

190 *Manu: Dieses Gold? <Der Schminkspiegel, welcher eine goldfarbige Außenseite hat.>*

191 *Lehrer: Das da?*

192 *Manu: Hmhmm.*

193 *Lehrer: Wenn ich damit in einen ganz, ganz finsternen Raum gehe, leuchtet das von sich aus?*

194 *Manu: Darf ich es mal probieren?*

195 *Lehrer: Hmhmm. (..) Geh rein und macht die Türe zu. (8 sec) <Manu experimentiert im recht dunklen*
196 *Raum.>*

197 *Manu: Nein, es leuchtet nicht?*

198 *Lehrer: Nein, es leuchtet nicht. Das heißt, es braucht auch...?*

199 *Manu: Energie. Oder? Licht...*

200 *Lehrer: Licht! Ja, genau. Licht ist auch Energie, da hast du recht.*

201 *Manu: Hmhmm.*

202 *Lehrer: Aber es braucht, um, um zu, zu, zu glänzen, braucht es Licht.*

203 Manu: Licht.

204 Lehrer: Ja. Wenn du es daher haltest... <Unter die Lampe.>

205 Manu: Ja.

206 Lehrer: ...wie sehr das glänzt. Ja. Also schreibs auf.

207 Manu: Ähm.

208 Lehrer: Ein Spiegel. Ja. (..) <Manu schreibt parallel mit.> Was leuchtet von sich aus hier? Was, was
 209 könntest du mit in den dunklen Raum nehmen und es würde von sich aus Licht produzieren, was hier
 210 am Tisch ist? (11 sec)

211 Manu: Fuhh. Hier am Tisch?

212 Lehrer: Ja. (.) Was würde in einem sehr, sehr dunklen Raum von sich aus Licht ausschicken? (..)

213 Manu: Computer?

214 Lehrer: Was vom Computer?

215 Manu: Der Display.

216 Lehrer: Display. Ganz genau. Also, selbstleuchtend, Display. (..) <Manu schreibt parallel mit.> Ja. Und
 217 was ist nichtselbstleuchtend? Ist das <die Vision Tube> selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?

218 Manu: Nichtselbstleuchtend!

219 Lehrer: OK. Also schreiben wir hin Vision Tube oder die Querstange. Ja, ist nichtselbstleuchtend. (..)
 220 Vision Tube, Querstange (..) <Manu schreibt parallel mit.> Leuchtet die <Querstange> von sich aus?
 221 Oder nicht? Die ist sehr...

222 Manu: Ne.

223 Lehrer: ...weiß.

224 Manu: Die leuchtet nicht von sich aus.

225 Lehrer: Aber sie ist sehr hell, oder?

226 Manu: Nein, weil weiß keine Farbe ist. (..)

227 Lehrer: Weiß, kann man sagen, ist alle Farben zusammen. Ja. Und Schwarz sind keine Farben. (.) So
 228 kann man das ungefähr, ja also, ob das jetzt eine Farbe ist oder nicht, das... Ja. Das eine ist sehr,
 229 sehr hell, das andere ist sehr, sehr dunkel. Aber, es ist auf jeden Fall hell. Ja. Wenn man ein Buch am
 230 Strand liest oder so, dann kann es dich blenden, weil es sehr hell ist, oder?

231 Manu: Hmhmm.

232 Lehrer: Dann brauchst du eine Sonnenbrille.

233 Manu: Hmhmm.

234 Lehrer: Aber leuchtet das von sich aus?

235 Manu: Nein, von der Sonne aus.

236 Lehrer: Ganz genau. Also, können wir sagen, die Querstange oder ein Blatt Papier...

237 Manu: ...nichtselbstleuchtend.

238 Lehrer: Nichtselbstleuchtend. Ganz genau. (6 sec) <Manu schreibt auf.>

239 Manu: Was ist noch nichtselbstleuchtend?

240 *Lehrer: Das reicht einmal, wir haben, schreiben wir noch auf. Ein Blatt Papier, können wir noch*
241 *aufschreiben.*

242 *Manu: Nichtselbstleuchtend. (8 sec) <Manu schreibt auf.>*

243 *Lehrer: Gut, zweites Experiment. Ja.*

244 *Manu: Vision, verdunkelte Vision Tube.*

245 *Lehrer: Halte nun das kleine Loch zu und beobachte die Querstange! Ja. Halts, schau rein, schau, ob*
246 *du die Querstange siehst, zuerst gib den Finger runter, ja, und jetzt halts zu. (..)*

247 *Manu: Ich seh die Querstange. (..) <schaut noch mal> Ja. Ich seh sie. (..)*

248 *Lehrer: Und wenn du mit dem einen, mit der einen Hand schaust, ja, dass gar kein Licht reinkommt...*

249 *Manu: OK.*

250 *Lehrer: ...bei der Röhre. <Die Hand soll um die große Öffnung gelegt werden, sodass seitlich kein*
251 *Licht eindringen kann.> Ja. Und jetzt halt ich <das kleine Loch> zu. Siehst du noch was?*

252 *Manu: Ja. (..)*

253 *Lehrer: OK. Und wenn ich das jetzt so mach. (.) Noch immer was? (..) <Das kleine Loch wird mit dem*
254 *Finger möglichst gut zugehalten.>*

255 *Manu: Leichter als vorher, aber ja.*

256 *Lehrer: Warte. So mit dem Radiergummi gehts besonders gut. <Bei starkem Licht wird der Finger*
257 *durchleuchtet und eine leicht rötliche Färbung der Querstange ist sichtbar.> Ja. Also. Halts dran,*
258 *schau das auf der Seite kein Licht hineinkommt. Und jetzt?*

259 *Manu: Nicht mehr.*

260 *Lehrer: Und schau, was ich gemacht hab. (.) Ich habe wirklich geschaut, dass das Loch...*

261 *Manu: ...verdeckt ist.*

262 *Lehrer: Ja. Und wenn du es jetzt so hältst. Was kannst du sehen? <Es wird statt dem Radiergummi*
263 *der Finger auf das Loch gehalten.> Halts auf den Seiten zu. (.)*

264 *Manu: Nichts.*

265 *Lehrer: Gar nix?*

266 *Manu: Ah doch, jetzt, jetzt. Jetzt hab ich kurz was gesehen.*

267 *Lehrer: Ja, weil ichs runter gegeben hab. Und jetzt? Siehst du es vielleicht ein bisschen rötlich oder*
268 *so?*

269 *Manu: Ähm. (.)*

270 *Lehrer: Warte. Jetzt, ja. Schau. (..)*

271 *Manu: Nein, ich seh nichts.*

272 *Lehrer: Siehst nichts. OK. Ja. Aber wenn das Licht sehr stark ist, ja, das hab ich auch vorhin gehabt,*
273 *bei der Sonne oder so, dann ham, ähm, kannte, konnte man sehen, dass die, dass die, äh,*
274 *Querstange leicht rötlich sichtbar ist, wenn der Finger oben ist. Wie kannst du dir das erklären zum*
275 *Beispiel? (..) Wenn der Finger da oben ist, am und über dem kleinen Loch und die Querstange...*

276 *Manu: Ähm.*

277 *Lehrer: ...zum Beispiel leicht rötlich ist?*

278 *Manu: Weil, dass das Sonnenlicht ist. Oder...*

279 *Lehrer: Aber wenn der Finger darüber ist?*

280 *Manu: So... (..) Blut.*

281 *Lehrer: Aha.*

282 *Manu: Haut, Fleisch.*

283 *Lehrer: Ja. Kannst du dir vorstellen, dass das Licht durch den Finger durchgeht?*

284 *Manu: Ja, natürlich.*

285 *Lehrer: Ja, das geht durch. Und wenn man dann den Radiergummi nimmt, dann gings nicht mehr, ja.*

286 *Manu: Weil weiß ist durch...*

287 *Lehrer: Probieren wir es noch einmal, schau. Halts gut zu, auf den Seiten auch. Ja. Und jetzt nimm*
 288 *deinen kleinen Finger und halt ihn drauf. (.) Warte, so hier. (.) Siehst du was leicht rötlich, oder siehst*
 289 *du gar nix?*

290 *Manu: Äh, ich kann mit dem linken, ich kann das irgendwie fast nur so (..) <Manu braucht ein wenig,*
 291 *um die Vision Tube gut zu halten.> Ja, ja. Ja, ja, es ist rötlich.*

292 *Lehrer: Ja.*

293 *Manu: Hmhmm.*

294 *Lehrer: Is komisch, geht durch den ganzen Finger durch. (..)*

295 *Manu: Ja, das ist ur cringe. Das ist rot.*

296 *Lehrer: Ja. (.) Und wenn ich jetzt den Radiergummi drüber geb. Wart, geh auf die Seite. Siehst du jetzt*
 297 *noch was? (..)*

298 *Manu: Ne.*

299 *Lehrer: Ne! Jetzt sieht man nix mehr.*

300 *Manu: Nein.*

301 *Lehrer: Da geht das Licht nicht so gut durch, durch einen Radiergummi. Aber durch den Finger ist es*
 302 *durchgegangen.*

303 *Manu: Ja.*

304 *Lehrer: Wenn das Licht stark genug ist.*

305 *Manu: Das ist ur cool!*

306 *Lehrer: OK. Passt. (.) Also. (..) <schnauft>. Wenn kein Licht, also wenn das zugehalten ist, sagen wir*
 307 *mal mit dem Radiergummi. Ja.*

308 *Manu: Hmhmm.*

309 *Lehrer: Was konntest du beobachten? Wie kannst du die Beobachtung erklären?*

310 *Manu: Wie ich die Beobachtung mit dem Radiergummi erklären kann?*

311 *Lehrer: Genau. Wenn das zu ist: Was hast du gesehen?*

312 *Manu: Die Sichtbarkeit war (.) null.*

313 *Lehrer: Null. Aha. Und wenn ein bisschen Licht reingekommen ist? (.)*

314 Manu: Sagen wir jetzt, von hundert Prozent, war die Sichtbarkeit dreißig bis vierzig Prozent.

315 Lehrer: Wenig auf jeden Fall.

316 Manu: Ja...

317 Lehrer: Oder?

318 Manu: ...wenig, aber nicht v..., aber nicht so, dass man es gar nicht sieht.

319 Lehrer: Nicht so, dass man es gar nicht sieht. Aber man konnte noch was sehen.

320 Manu: Ja!

321 Lehrer: Ja. OK. Das heißt, (.) Was kannst du auf..., in Bezug auf die Sichtbarkeit von
322 nichtselbstleuchtenden Gegenständen schließen? (..) Was brauchen wir, um nichtselbstleuchtende
323 Gegenstände sehen zu können.

324 Manu: Licht!

325 Lehrer: Ganz genau. Das heißt, (.) ohne Licht...

326 Manu: Ohne Licht können nichtselbstleuchtende Gegenstände nicht leuchten...

327 Lehrer: ...nicht...? (.)

328 Manu: ...gesehen werden.

329 Lehrer: Ganz genau. (30 sec) <Manu schreibt auf.> Ja. Das ist der wesentliche Unterschied. Wenn du
330 mit diesem Spiegel in den dunklen Raum gehst...

331 Manu: Hmhmm.

332 Lehrer: ...dann siehst du ihn nicht. Wenn du mit dem Laptop reingehst, dann siehst du den Bildschirm
333 noch immer.

334 Manu: Hmhmm.

335 Lehrer: Ja. Weil es von sich Licht ausschickt.

336 Manu: Hmhmm.

337 Lehrer: Zwar nicht einfach so alleine, es braucht elektrische Energie.

338 Manu: Hmhmm.

339 Lehrer: Du musst das vollladen.

340 Manu: Hmhmm.

341 Lehrer: Du musst den Akku vollladen, da hast du vollkommen recht, dass das nicht von sich aus ganz
342 alleine geht, es braucht immer eine Energiequelle. Aber wenn es die Energiequelle zur Verfügung hat,
343 kann es Licht...

344 Manu: ...von alleine, wirds, ohne Licht bezeug..., erzeugen.

345 Lehrer: Genau. Kann es von sich alleine Licht erzeugen...

346 Manu: Hmhmm.

347 Lehrer: ...und wegschicken.

348 Manu: Hmhmm.

349 Lehrer: Passt. 3. Experiment. Ja. (..) <Manu blättert im Handout.> Ja, wir sind eh noch auf der ersten

350 Seite.

351 25 min 36 s - 26 min 25 s: Die Aufgabenstellung des dritten Experiments wird vorgelesen. Es wird eine
 352 geeignete Position für die Beobachtung gesucht, sodass das kleine Loch knapp über dem Papier und
 353 die Röhre parallel dazu positioniert ist.

354 Lehrer: Was kannst du beobachten?

355 Manu: Ich seh da, wo das Licht reinkommt, seh ich auf jeden Fall Licht. Und den, der weißen Streifen
 356 <die Querstange>, ist auch stark beleuchtet.

357 Lehrer: Hmhmm. Ganz genau. Ja. Wie kannst du deine Beobachtung erklären?

358 Manu: Wie ich sie erklär? <murmelt.> Ähm. (..) Papier, eigentlich alle nichtselbstleuchtenden
 359 Gegenstände, mit Licht können die leuchten. (..)

360 Lehrer: Hmhmm.

361 Manu: Dann ist die Sichtbarkeit besser.

362 Lehrer: Ist die Sichtbarkeit besser. Aber was, was passiert zum Beispiel hier beim weißen Blatt Papier,
 363 dass die Sichtbarkeit der Querstange gegeben ist? (.)

364 Manu: Licht scheint aufs Papier, das spiegelt das wider oder so...

365 Lehrer: Hmhmm.

366 Manu: ...und dann sieht man das durch diese kleine Öffnung <das kleine Loch>.

367 Lehrer: Ganz genau. Das weiße Papier gibt das Licht wieder, ja. <etwas stockend>

368 Manu: Hmhmm.

369 Lehrer: Und daher das kein Spiegel ist...

370 Manu: Hmhmm.

371 Lehrer: ...ja, reden wir sehr allgemein von Zurücksenden.

372 Manu: Hmhmm.

373 Lehrer: Ja?

374 Manu: Hmhmm.

375 Lehrer: Das heißt, es empfängt das Licht und sendet es zurück... (.) in das...

376 Manu: ...in den...

377 Lehrer: ...das kleine Loch.

378 Manu: ...in das kleine Loch.

379 Lehrer: Ja. Also. Steht eh da. Tipp: Versuche, den Vorgang in Bezug auf Senden und Empfangen, (.)
 380 ja, zu beschreiben. Also, wie kannst du die Beobachtung erklären. Beginnen wir bei der Lampe,
 381 Papier, Querstange. Ja.

382 Manu: Das Papier (.) sendet... (.)

383 Lehrer: Beginnen wir bei der Lampe. Ja.

384 Manu: Die Lampe sendet das Licht auf das Papier und das sendet, und das Papier sendet es zurück
 385 in diese, in das kleine Loch.

386 Lehrer: Ganz genau. Richtig.

387 28 min 16 s - 30 min 22 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird
388 zusätzlich das Empfangen betont, welches notwendig ist, damit das Papier Licht zurücksenden kann.
389 Im Anschluss wird das nächste Experiment "Spiegel vs. weißes Blatt" vorbereitet.

390 *Lehrer: So. Und deine Aufgabe ist mir zu sagen, ab wann der Spiegel unterhalb vom kleinen Loch ist,*
391 *ja? (6 sec) <Manu experimentiert.>*

392 *Manu: Jetzt.*

393 *Lehrer: Jetzt?*

394 *Manu: Hmhmm.*

395 *Lehrer: Und wie würdest du die Situation beschreiben, im Vergleich zu vorher?*

396 *Manu: Vorher war es irgendwie noch heller.*

397 *Lehrer: Schau mal.*

398 *Manu: Ja. Ist noch heller jetzt.*

399 *Lehrer: Beim weißen Blatt.*

400 *Manu: Nein, aber es ist sehr hell.*

401 *Lehrer: Ja. (..) Die eine Frage ist: Mit welchen der beiden Oberflächen kannst du einen Lichtpunkt auf*
402 *der Querstange erzeugen? (..) <Schiebt wieder den Spiegel drunter.>*

403 *Manu: Ah, ah. Jetzt war grad ein Lichtpunkt.*

404 *Lehrer: Ja.*

405 *Manu: Ja.*

406 *Lehrer: Und wenn ich es jetzt weggeb?*

407 *Manu: Kein Lichtpunkt.*

408 *Lehrer: Und wie ist die Stange sichtbar? In der jetzigen Situation?*

409 *Manu: Na durch das Papier.*

410 *Lehrer: Durch das Papier. Aber ist die ganze Stange breit sichtbar oder ein kleiner Bereich?*

411 *Manu: Ein mittl..., nein, eigentlich ein großer Bereich.*

412 *Lehrer: Ein großer Bereich, weil mit dem Spiegel ist er...?*

413 *Manu: ...kleiner Bereich.*

414 *Lehrer: Ein kleinerer Bereich. Ja.*

415 *Manu: Hmhmm.*

416 *Lehrer: Ein Punkt, ja, könnte man sagen, oder ein Kreis eigentlich genau genommen, ja.*

417 *Manu: Hmhmm.*

418 *Lehrer: Da ist die Frage: Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht*
419 *bei dem Experiment? (..)*

420 *Manu: (?...) <Rutscht mit dem Sessel.> Welche Rolle spielt das gerichtete und das ungerichtete*
421 *Zurück... (..) Na ja. Es, es. Ungerichtete ist das Papier, wahrscheinlich.*

422 *Lehrer: Hmhmm.*

423 *Manu: Und das, ähm, das ist nicht so hell, aber es ist breiter. Und...*

424 *Lehrer: Hmhmm. Es ist nicht so hell und breiter...*

425 *Manu: Des, der Spiegel ist hell, aber nicht so breit.*

426 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Und schickt das Licht gerichtet zurück, ja.*

427 *Manu: Hmhmm.*

428 *Lehrer: Auf einen Punkt.*

429 *Manu: Hmhmm.*

430 *Lehrer: Sehr hell, aber schmal.*

431 *Manu: Hmhmm.*

432 32 min 27 s - 36 min 27 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird Manu in
 433 das Formulieren der Sätze eingebunden und es gelingt ihm, die passenden Fachbegriffe dabei
 434 einzusetzen. Nach dem Aufschreiben wird noch mal die Gemeinsamkeit und der Unterschied betont
 435 und auch im Schattenbereich hinter der Deckenkante gezeigt, dass das weiße Blatt Papier Licht
 436 gestreut an die Decke wirft. Im Anschluss wird das nächste Experiment vorbereitet, welches das
 437 weiße Blatt mit der schwarzen Fläche vergleicht.

438 *Manu: Da sieht man wahrscheinlich eh nix.*

439 *Lehrer: Sieht man gar nix?*

440 *Manu: Beim Schwarzen.*

441 *Lehrer: OK. Dann überprüfen wir die Hypothese. Schau mal zuerst aufs Weiße, ja, halt links und*
 442 *rechts das gut zu, dass auf der Seite <durch die große Öffnung> kein Licht reinkommt. Ja. (..) Siehst*
 443 *du was?*

444 *Manu: Ja...*

445 *Lehrer: Hmhmm.*

446 *Manu: ...ich seh den weißen Strich <die Querstange> so mittelgroß und unten das Loch.*

447 *Lehrer: Hmhmm. Und jetzt? <Schiebt die schwarze Fläche darunter>*

448 *Manu: Eine mini, mini, mini, mini, mini, Minifläche auf der linken Seite.*

449 *Lehrer: Ah. Und schau mal was unterhalb is.*

450 *Manu: Hä (?...)*

451 *Lehrer: Ja. Schau mal auf diese Fläche.*

452 *Manu: Ja, die können genauso senden und..., empfangen und senden.*

453 *Lehrer: Das Schwarze?*

454 *Manu: Ja.*

455 *Lehrer: Kann auch, pff, ja. Aber was, schau mal ganz genau. Welches kanns besser? (..) Jetzt ist das*
 456 *Schwarze drunter. (.) <Zieht die schwarze Fläche weg.>*

457 *Manu: Und jetzt das Weiße.*

458 *Lehrer: Hmhmm.*

459 *Manu: Ja, das Weiße kann es besser.*

460 *Lehrer: Aber das Schwarze kanns...?*

461 *Manu: Auch.*

462 *Lehrer: Kanns auch, aber nicht so gut. Also...*

463 *Manu: Ja, das ist ganz, ganz, ganz cringe. Ich hab gedacht, dass das Schwarze gar nix is. Also, dass*
464 *man da nix sieht.*

465 *Lehrer: Hmhmm. Also. Ist die Querstange noch sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der*
466 *schwarzen Fläche befindet? (.) Ja!*

467 *Manu: Hmhmm.*

468 *Lehrer: Ja. Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden? (.)*

469 *Manu: Ja. <verblüfft>.*

470 *Lehrer: Ja. Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden des Lichtes?*
471 *Machen wir einen Je-mehr-desto-Satz. Ja.*

472 *Manu: Je mehr... (.)*

473 *Lehrer: Oder je größer, ja.*

474 *Manu: Je größer man die weiße Stange sieht, desto heller ist die, ist der Untergrund.*

475 *Lehrer: Hmhmm. Aber drehen wir es um. Je heller der Untergrund ist, ja...*

476 *Manu: Je heller der Untergrund, desto mehr sieht man.*

477 *Lehrer: ...desto besser ist die Querstange sichtbar. Ja.*

478 38 min 24 s - 38 min 59 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Statt Untergrund
479 wird der Begriff Oberfläche verwendet.

480 *Lehrer: Und in Bezug auf das Zurücksenden von Licht? Ja. (..)*

481 *Manu: Wie Zurücksenden?*

482 *Lehrer: Welchen Einfluss hat die Helligkeit auf das Zurücksenden von Licht? Ja. (.) Je heller die*
483 *Oberfläche ist, umso...?*

484 *Manu: ...umso mehr sieht man die Weiße... (.)*

485 *Lehrer: Ja, aber in Bezug auf das Zurücksenden. Wie geht das? Besser oder schlechter?*

486 *Manu: Schlechter.*

487 *Lehrer: Also je dunkler, also schreiben wir hin, dunkle Flächen senden auch zurück, jedoch nicht so*
488 *gut.*

489 39 min 29 s - 41 min 18 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Für den Zweck des
490 Vertiefens wird im Anschluss darauf eingegangen, dass auf der schwarzen Tischfläche eine sehr helle
491 und glänzende Fläche zu sehen ist, sich in diesem Bereich die Glühbirne sozusagen spiegelt. Der Ort,
492 an dem dies zu beobachten ist, ist abhängig von Betrachtungsposition und wandert mit. Alle anderen
493 Flächen senden jedoch auch Licht in unser Auge, an der einen Stelle, abhängig vom
494 Reflexionswinkel, jedoch am meisten. Im Anschluss wird das 6. Experiment begonnen.

495 *Lehrer: Wir wissen, dunkle Flächen können Licht nicht so gut zurücksenden.*

496 *Manu: Hmhmm.*

497 *Lehrer: Was geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird? Welche der beiden*
498 *Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden? (..)*

499 *Manu: Die Frage versteh ich nicht?*

500 *Lehrer: Was geschieht mit dem Licht, dass nicht zurückgeschickt wird? Wenn das, das ist auch die*
501 *Schwarze, wenn du die Weiße, wenn es Weiß drunter ist...*

502 *Manu: ...Weiß..*

503 *Lehrer: ...dann geht mehr Licht zurück. Und wenn Schwarz drunter ist, geht nicht so viel Licht zurück.*

504 *Manu: Ja, und hier...*

505 *Lehrer: Noch immer ein bisschen.*

506 *Manu: ...aber da ist ja immer. Hö, da kommt ja immer gleich v...*

507 *Lehrer: Was passiert denn mit dem Licht?*

508 *Manu: Hä? Mit welchem Licht, mit dem das rauskommt? Was...*

509 *Lehrer: Na schau, auf das Schwarze und auf das Weiße kommt gleich viel Licht, wenn ich es da*
510 *hinhalte. Ja? Oder?*

511 *Manu: Ja. Hmhmm.*

512 *Lehrer: Nur wenn ich die Vision Tube drüberhalte ko..., wird auf dem Weißen mehr Licht*
513 *zurückgeschickt.*

514 *Manu: Hmhmm.*

515 *Lehrer: Deswegen ist die Sichtbarkeit ja auch höher.*

516 *Manu: Hmhmm.*

517 *Lehrer: Und beim Schwarzen ist nicht so viel.*

518 *Manu: Hmhmm.*

519 *Lehrer: Ein bisschen...*

520 *Manu: Hmhmm.*

521 *Lehrer: ...aber nicht so viel. Was geschieht denn mit dem Licht, das draufkommt? (.) Verschwindet das*
522 *einfach?*

523 *Manu: Nein, das wird, das ist ein dunkler Untergrund oder eine dunkle Oberfläche, deswegen sieht*
524 *man es nicht so gut.*

525 *Lehrer: Kann es das einfach verschlucken wie ein schwarzes Loch? Das ist einfach weg und auf*
526 *Nimmerwiedersehen. (.)*

527 *Manu: Nein, nur. Das ist genau gleich wie bei der Sonne. (.)*

528 *Lehrer: Wie ist denn das, wenn du eine dunkle und eine helle Oberfläche in die Sonne legst?*

529 *Manu: Na die, da kommt ja Sonne drauf. (.) Oder da...*

530 *Lehrer: Es kommt gleich viel Sonne drauf, wenn (?...)*

531 *Manu: Ja, aber da wird einem schneller heiß.*

532 *Lehrer: Da wird einem schneller heiß. Ganz genau. (..) Kann das einen Zusammenhang haben? (.)*
533 *Das Erwärmen und die Helligkeit?*

534 *Manu: Erwärmen und Helligkeit?*

535 *Lehrer: Welche der beiden Oberflächen würde sich schneller erwärmen? (.) Und warum? (.)*

536 *Manu: Die Schwarze, weil (.) hell und dunkel. Weil hell und dunkel... (.) Warum? Weil hell und dunkel*
537 *besser zusammenpassen? (.)*

538 *Lehrer: Also, wenn ich sag: Dunkle Flächen können Licht nicht so gut zurücksenden, ja.*

539 *Manu: Hmhmm.*

540 *Lehrer: Wie müsst ich sagen? In Bezug auf das Erwärmen? Dunkle Flächen... (.) erwärmen sich*
541 *besser oder schlechter?*

542 *Manu: Sch... Besser.*

543 *Lehrer: Besser.*

544 *Manu: Dunkle Flächen erwärmen sich (.) besser...*

545 *Lehrer: ...schneller...*

546 *Manu: als helle, schneller als helle.*

547 43 min 54 s - 44 min 23 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

548 *Lehrer: Da steht auch ein Tipp: Greife neben Senden und Empfangen auch auf den Begriff*
549 *Verschlucken zurück.*

550 *Manu: Weiß verschluckt das (.) Licht.*

551 *Lehrer: Weiß verschluckt das Licht?*

552 *Manu: Äh, schwarz. Schwarz.*

553 *Lehrer: Hmhmm. Ganz genau.*

554 *Manu: Die schwarze Farbe oder...*

555 44 min 41 s - 45 min 21 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird ergänzt,
556 dass das verschluckte Licht in Form von Wärme abgegeben wird. Manu fragt, ob es sich um das letzte
557 Experiment handelt, was verneint wird.

558 *Lehrer: Ist es für dich überraschend, dass Licht und Wärme zusammenfallen, also dass das sehr eng*
559 *miteinander verbunden ist?*

560 *Manu: Hmhm. <verneinend>.*

561 *Lehrer: Warum ist es nicht überraschend?*

562 *Manu: So ist mir wärmer. <Hält die Hand zur Glühbirne.>*

563 *Lehrer: Also, wenn die Hand weiter oben ist, dann ist es dir wärmer, also wenn die Hand nahe bei der*
564 *Lichtquelle ist.*

565 *Manu: Und wenn es nicht so nah ist, das ist, das ist ganz normal.*

566 *Lehrer: Und die Sonne, ist die heiß oder kalt, oder?*

567 *Manu: Die ist über fünf (.) Millionen Grad heiß.*

568 *Lehrer: Die ist sehr, sehr heiß. Wie, wie heiß sie genau ist, weiß ich nicht, das müsste ich*
569 *nachschauen. Auf jeden Fall ist sie sehr, sehr heiß. Licht und Wärme kommt immer miteinander,*
570 *zusammen.*

571 *Manu: Also, wenn ich jetzt die Glühbirne angreife, würde ich mich verbrennen.*

572 *Lehrer: Ganz genau. Ja. Eigentlich ist Licht und Wärme physikalisch gesehen das Gleiche. (.) Das ist*
573 *eine elektromagnetische Welle. Nur das eine können wir sehen und das andere können wir nur*
574 *erfühlen. Ja. (.) Das sind unterschiedliche Sensoren. Die Wärme kannst du womit spüren?*

575 *Manu: Jetzt...*

576 *Lehrer: Erfassen?*

577 *Manu: ...jetzt, zum Beispiel sieht man da unten dieses Rote vom Sonnenuntergang.*

578 *Lehrer: Hmhmm. Mit was kannst du die Wärme erfassen?*

579 *Manu: Die Wärme erfassen?*

580 *Lehrer: Ja, wie kannst du die Wärme spüren?*

581 *Manu: Wenn ich ein schwarzes T-Shirt anhab?*

582 *Lehrer: Ja, aber mit was für, w..., w...*

583 *Manu: Mit der Haut!*

584 *Lehrer: Mit der Haut, ganz genau. Mit der Haut kannst du die Wärme erfassen. Ja, und das Licht*
585 *erfasst du wie? (.)*

586 *Manu: Mit den Augen.*

587 *Lehrer: Mit den Augen. Das Licht kann man mit der Haut nicht sehen...*

588 *Manu: Sinnesorgane.*

589 *Lehrer: Genau. Das sind unterschiedliche Sinnesorgane, die Wärme, ja ...*

590 *Manu: Hmhmm.*

591 *Lehrer: ...wird mir der Haut erfasst.*

592 *Manu: Hmhmm.*

593 *Lehrer: Und das Licht mit den... (.) Augen.*

594 *Manu: Hmhmm.*

595 *Lehrer: Genau. Je nachdem wie die, wie die gebaut sind, biologisch.*

596 *Manu: Hmhmm.*

597 *Lehrer: Ja. Aber eigentlich ist es das Gleiche.*

598 *Manu: Hmhmm.*

599 *Lehrer: Nur ist das eine halt ein Sensor für diesen Bereich.*

600 *Manu: Hmhmm.*

601 *Lehrer: Und das andere ein Sensor für einen anderen Bereich.*

602 *Manu: Hmhmm.*

603 *Lehrer: Ja. Und Tiere, das hast du wahrscheinlich oft gesehen in Dokumentationen, die haben auch*
604 *eine ganz andere Wahrnehmung als wir. Ja.*

605 *Manu: Hmhmm.*

606 *Lehrer: Die sehen nicht in den gleichen Farben wie wir zum Beispiel. Ja.*

607 *Manu: Hmhmm.*

608 *Lehrer: OK. Letztes. Jetzt kommen wir zu den Farben. <Bereitet das siebente Experiment vor.>*

609 *Manu: Uff. Ich muss erst mal meine Hand ausschütteln. <Vom Schreiben.>*

610 *Lehrer: Ja. Wir machen die Zusammenfassung und dann machen wir eine kleine Pause. Ja.*

611 *Manu: OK.*

612 47 min 49 s - 47 min 59 s: Das Experiment "Zurücksenden unterschiedlicher Farbflächen" wird fertig
613 vorbereitet und eine gute Position zum Beobachten gesucht. Die Farbflächen liegen nebeneinander.

614 *Lehrer: Fahr links und rechts mit dieser T..., mit dieser Röhre und sag mir selber ab wann du über*
615 *dem grünen und ab wann du über dem roten Bereich bist.*

616 *Manu: Ich seh, ich hab schon ganz am Anfang was gesehen, und zwar das ist rot.*

617 *Lehrer: Aha. Und jetzt?*

618 *Manu: Grün, ich seh es. Das, die grüne Farbe spiegelt sich im weißen Strich <der Querstange>.*

619 *Lehrer: Ah.*

620 *Manu: Jetzt warst du kurz da drüber, also über beide.*

621 *Lehrer: Hmhmm. Ja. Und jetzt ist es. Ganz genau. Wunderbar. Was kannst du an der Querstange*
622 *beobachten? Rotes und grünes Licht hast du gesagt.*

623 *Manu: Hmhmm.*

624 *Lehrer: Ja. Und jetzt ist die Frage. Schau dir dieses Bild an. <Das Bild Regenbogenprisma wird*
625 *gezeigt.>*

626 *Manu: Hmhmm. Dieses Biiild. <wirkt müde>.*

627 *Lehrer: Schau, und da ist das Licht, das kommt von der Richtung.*

628 *Manu: Hmhmm.*

629 *Lehrer: Ja. Auf das Glasprisma.*

630 *Manu: Hmhmm.*

631 *Lehrer: Das ist dreieckig. Ja. Und das hier ist eine Kugel mit vielen Ecken und Flächen. <Eine*
632 *tropfenförmige Kristallglaskugel mit einer Vielzahl an Facetten.>*

633 *Manu: Ich weiß eh, was ein Prisma ist.*

634 *Lehrer: Genau. Und da wird das Licht nach links geri..., nach links gelenkt. Und noch mal auf ein*
635 *zweites, damit das verstärkt wird. Und hier ist was sichtbar? (..)*

636 *Manu: Hmhmm. Regenbogenfarben.*

637 *Lehrer: Die Regenbogenfarben. Ganz genau. Das heißt, wir können Licht in...?*

638 *Manu: ...Farben verwandeln.*

639 *Lehrer: ...in Farben...*

640 *Manu: ...sehen...*

641 *Lehrer: ...aufteilen. Können wir sie verwandeln oder...?*

642 *Manu: Aufteilen!*

643 *Lehrer: Aufteilen, das ist ein Aufteilen. Weil der Effekt des Wegbrechens von Licht...*

644 *Manu: Ist ein 3-D-Effekt eigentlich.*

645 *Lehrer: ...ist... Na ja, dreidimensional, ja, kann man, würd ich jetzt so nicht sagen, dass es ein 3-D-*
646 *Effekt ist. Aber wir haben einen Effekt von Brechen. Ja. Und dieses Brechen ist abhängig von der*
647 *Farbe.*

648 *Manu: Hmhmm.*

649 *Lehrer: Und schau, wir können mit diesem Ding <der tropfenförmige Kristallglaskugel> auch... (.)*
650 *Siehst du an einigen Stellen...*

651 *Manu: Ja, da unten.*

652 *Lehrer: Am, am...*

653 *Manu: Ja, das sind Regenbogenfarben.*

654 *Lehrer: Ganz genau. An einigen Stellen ist es weiß, an anderen Stellen sind...?*

655 *Manu: Farben, Regenbogenfarben.*

656 *Lehrer: Regenbogenfarben. Ganz genau. Ja. <Verändert die Brechungerscheinung nochmals>*

657 *Manu: Ja, jetzt seh ichs gut.*

658 *Lehrer: Ja. (..) Das heißt, an einigen Stellen ist das sehr gut sichtbar. (.) Und was passiert jetzt zum*
659 *Beispiel, wenn dieser Strahl <der in Farben aufgeteilte> auf eine rote Fläche trifft.*

660 *Manu: Welcher Strahl?*

661 *Lehrer: Der Strahl, der schon in Regenbogenfarben aufgeteilt ist.*

662 *Manu: Wenn der auf nen Roten...*

663 *Lehrer: Auf eine rote Fläche trifft. Was passiert dann? Mit dem Licht?*

664 *Manu: Es wird rot.*

665 *Lehrer: Wie, wird rot? Wird das ganze Licht rot angemalt? (.)*

666 *Manu: Na eigentlich bleiben die Regenbogenfarben, weil ja mehr Farben sind als das eine Rot.*

667 *Lehrer: Hmhmm. Aber es, was passiert mit den, mit... Wenn wir, du das da drüber hältst, siehst du das*
668 *die weiße Querstange rot leuchtet.*

669 *Manu: Hmhmm.*

670 *Lehrer: Ja.*

671 *Manu: Hmhmm.*

672 *Lehrer: Und was passiert, wenn ich jetzt diesen Farbstrahl auf (.) die rote Fläche geb, in Bezug auf*
673 *Zurücksenden und Verschlucken?*

674 *Manu: Die rote Farbe wird verschluckt. (..)*

675 *Lehrer: Wenn das auf eine rote Fläche trifft, wird die rote Farbe verschluckt? (..)*

676 *Manu: Ich versteh die Frage nicht ganz.*

677 *Lehrer: Na ja. Stell dir vor, dieses Licht, dass all diese Farben drinnen hat, trifft auf eine rote Fläche.*
678 *Ja. Und, das kannst auch beobachten, dass diese weiße Querstange dann rot leuchtet. Ja. (.) Was*
679 *geschieht nun mit diesem Licht, wenn es auf die rote Fläche trifft, in Bezug auf Verschlucken und*

680 *Zurücksenden.*

681 *Manu: Geht weg.*

682 *Lehrer: Was geht weg?*

683 *Manu: Das Regenbogenlicht.*

684 *Lehrer: Genau. Und was wird zurückgesendet und was verschluckt? (.) Man sieht nicht mehr alle*
685 *Farben.*

686 *Manu: Nur noch Rot.*

687 *Lehrer: Nur noch Rot. Also wird das Rote geschluckt oder zurückgesendet?*

688 *Manu: Zurückgesendet.*

689 *Lehrer: Und alle anderen Farben?*

690 *Manu: Verschluckt.*

691 *Lehrer: Ganz genau.*

692 *Manu: Also Rot wird verschluckt und alle anderen...*

693 *Lehrer: Ja. Eine rote Oberfläche...? (.) ...sendet nur rotes Licht zurück und verschluckt alle anderen*
694 *Farben.*

695 51 min 57 s - 52 min 25 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

696 *Lehrer: Ja. Ist das klar?*

697 *Manu: Ja.*

698 *Lehrer: Bei Schwarz und Weiß ist es die Frage der Helligkeit.*

699 *Manu: Hmhmm.*

700 *Lehrer: Da werden alle Farben gleichmäßig schlecht verschluckt, ähm, gleichmäßig gut verschluckt...*

701 *Manu: Hmhmm.*

702 *Lehrer: ...oder schlecht zurückgesendet.*

703 *Manu: Hmhmm.*

704 *Lehrer: Bei farbigen Flächen ist es so, dass manche Teile vom Licht besser zurückgesendet werden*
705 *und manche Teile verschluckt werden. Und dadurch entstehen die Farben in deiner Wahrnehmung.*
706 *Ja. Das hast du eigentlich gut gesehen. Weil, wenn du die Vision Tube übers Rote hältst, dann ist die*
707 *weiße Querstange...?*

708 *Manu ...rot.*

709 *Lehrer: Ganz genau. Weil nur rotes Licht...*

710 *Manu: ...rote Farben spiegelt.*

711 *Lehrer: ...rote Farbe widerspiegelt, zurücksendet.*

712 *Manu: Und grünes Licht spiegelt nur grüne Farbe und blaues Licht spiegelt nur blaue Farbe.*

713 *Lehrer: Na, blaue Fläche...*

714 *Manu: ...ja, blaue Fläche spiegelt nur blaues Licht.*

715 *Lehrer: Genau. Spiegeln oder Zurücksenden ist, ist das Gleiche, ja.*

716 53 min 20 s - 53 min 50 s: Die Aufgabenstellung der zweiten Analyse und Zusammenfassung wird
717 vorgelesen.

718 *Lehrer: Was heißt Emission...*

719 *Manu: ...das weiß ich nicht...*

720 *Lehrer: ...bzw. wo beobachtest du Emission, Aussenden?*

721 *Manu: Also, (.) bei Oberflächen?*

722 *Lehrer: Na, jetzt in den ganzen Experimenten. Ja. Wir fassen jetzt alles, was wir gemacht haben*
723 *zusammen. Wo kannst du Emission beobachten?*

724 *Manu: Emission?*

725 *Lehrer: Genau. Und Emission heißt so was wie Aussenden.*

726 *Manu: Bei Licht!*

727 *Lehrer: Aber wie? Also bei welchen, in welchen Situationen? (..)*

728 *Manu: Bei Rückspiegelungen. (..)*

729 *Lehrer: Und wenn ich da Reflexion und Zurücksenden hab? (.) Wäre das eigentlich eher die*
730 *Rückspiegelung, oder?*

731 *Manu: Rückspiegelung, Vorspiegelung. (.)*

732 *Lehrer: Was ist Vorspiegelung?*

733 *Manu: Vor-Spiegelung.*

734 *Lehrer: Was meinst du mit Vorspiegelung? (..)*

735 *Manu: Vor, zurück. Vor, zurück. (.)*

736 *Lehrer: Was ist vor dem Zurücksenden? (.) Bevor...*

737 *Manu: Hinsenden.*

738 *Lehrer: Ja, genau. Hinsenden. Ja. (.) Aber wo, wo wird Licht weggesendet? Ja.*

739 *Manu: Hmhmm. Und da wird Licht weggesendet.*

740 *Lehrer: Na, bei der Emission wird Licht...*

741 *Manu: ...ah Spiegel.*

742 *Lehrer: Gespiegelt?*

743 *Manu: Zurücksenden.*

744 *Lehrer: Ja, aber wo wird, wenn ich sag Hinsenden, ja, Aussenden. Hinsenden, Aussenden, ist ja*
745 *Gleiche. In welchen Situationen hast du das beobachtet? Bei welchen Gegenständen? (..)*

746 *Manu: Beim Papier. (.) Bei den Oberflächen? Bei den Flächen.*

747 *Lehrer: Von sich aus aussenden?*

748 *Manu: Nein vom Licht.*

749 *Lehrer: Das musste ja immer zurücksenden, das Papier.*

750 *Manu: Hmhmm.*

751 *Lehrer: Aber die Glühbirne, oder?*

752 *Manu: Hmhmm.*

753 *Lehrer: Die Glühbirne kann Emission machen.*

754 *Manu: Hmhmm.*

755 *Lehrer: <seufzt> Schau, ich hab hier Emission, Reflexion, Streuung. Absorption.*

756 *Manu: Hmhmm.*

757 *Lehrer: Ja, das sind Fachbegriffe. Die ich definieren möchte. Und du sollst dir genau überlegen, was*
758 *ist denn der Unterschied hier. Ja.*

759 *Manu: Hmhmm.*

760 *Lehrer: Überall spielt Licht eine Rolle.*

761 *Manu: Hmhmm.*

762 *Lehrer: Ja. Auch beim Zurücksenden, wie du gesagt hast, beim weißen Papier. Ja. Wird Licht*
763 *weggeschickt.*

764 *Manu: Hmhmm.*

765 *Lehrer: Aber genau genommen kann es sich um Emission handeln?*

766 *Manu: Hmhmm.*

767 *Lehrer: Oder ist es eine Frage von Reflexion und Streuung? Was glaubst du? Beim weißen Blatt*
768 *Papier? (.) Ist es...*

769 *Manu: Reflexion und Streuung.*

770 *Lehrer: Genau. Das ist eher etwas, das zurücksendet. Und Emission habe ich, wo????*

771 *Manu: Beim Schwarzen?*

772 *Lehrer: Das ist Absorption, beim Schwarzen.*

773 *Manu: Äh. Beim Licht.*

774 *Lehrer: Ja. Was schickt mir Licht aus?*

775 *Manu: Emission.*

776 *Lehrer: Ja. Aber welche Dinge? In Bezug auf selbstleuchtende und nichtselbstleuchtend*
777 *Gegenstände? (..)*

778 *Manu: Energie. (6 sec)*

779 *Lehrer: Kann ich sagen, Emission beobachte ich bei... (.) selbstleuchtenden Gegenständen? (.)*

780 *Manu: Nein, bei nichtselbstleuchtenden Gegenständen. (..)*

781 *Lehrer: Wo findet Emission statt bei nichtselbstleuchtenden Gegenständen? Emission heißt*
782 *Aussenden. Nicht Zurücksenden.*

783 *Manu: Vom Licht.*

784 *Lehrer: Welche Objekte können Licht aussenden und nicht nur zurücksenden?*

785 *Manu: Lampe.*

786 *Lehrer: Die Lampe. Ist die Lampe selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?*

787 *Manu: Selbstleuchtend.*

788 *Lehrer: Ganz genau. Also, Emission kann ich immer nur bei selbstleuchtenden Gegenständen bel, äh,*
789 *äh, ähm, beobachten. Ja. (13 sec) <Manu schreibt auf.>*

790 *Manu: Und bei Streuung und Reflexion nichtselbstleuchtende Gegenstände.*

791 *Lehrer: Ja. Genau. (33 sec) <Manu schreibt auf.>*

792 57 min 58 s - 58 min 32 s: Das Erarbeitete wird aufgeschrieben. Ein Versuch, Beispiele für Reflexion
793 zu sammeln, wird abgebrochen, damit Manu fertig aufschreiben kann.

794 *Lehrer: Also. Selbstleuchtende Gegenstände, zum Beispiel...?*

795 *Manu: ...die Lampe:*

796 *Lehrer: Die Lampe. Schreiben wir es hin. Ja. Selbstleuchtend, zum Beispiel die Lampe. <Manu*
797 *schreibt parallel mit.> Hmhmm. Die hat Emission gemacht.*

798 *Manu: Hmhmm.*

799 *Lehrer: Reflexion und Streuung ist jeweils bei nichtselbstleuchtenden Gegenständen, ja...*

800 *Manu: Also.*

801 *Lehrer: ...und hier hab ich zwei Sachen.*

802 *Manu: Hmhmm.*

803 *Lehrer: Einmal möchte ich den Unterschied zwischen beiden wissen.*

804 *Manu: Hmhmm.*

805 *Lehrer: Und einmal, was sie gemeinsam haben. Was ist denn der Unterschied zwischen Reflexion und*
806 *Streuung, wenn da steht Reflexion ist Zurücksenden und Streuung ist in alle Richtungen verteilen? Wo*
807 *hat sich denn, wo konnten wir denn das beobachten?*

808 *Manu: Haben wir das schon gemacht?*

809 *Lehrer: Ja. Wo, wo wurde Licht in alle Richtungen verteilt.*

810 *Manu: Beim weißen Papier.*

811 *Lehrer: Beim weißen Papier, ganz genau. (12 sec) <Manu schreibt auf.> Und Reflexion genau*
812 *genommen? Wo hast denn du Reflexion...*

813 *Manu: ...schwarzes Papier.*

814 *Lehrer: Hmhmm. Das war beim Spiegel oft der Fall. Ja.*

815 *Manu: Hah.*

816 *Lehrer: Der Spiegel, das, das Spiegelgesetz, Reflexionsgesetz. Also streng genommen re... redet man*
817 *von Reflexion (.) nur bei Spiegelungsvorgängen.*

818 *Manu: Hmhmm.*

819 *Lehrer: Ja. Und Streuung ist sehr ähnlich. Ja.*

820 *Manu: Hmhmm.*

821 *Lehrer: Wie Reflexion, nur dass es alle Richtungen geht. Also was könnte dann der Unterschied sein?*
822 *Haben wir vorhin benannt.*

823 *Manu: Hmhmm.*

824 *Lehrer: Der Unterschied liegt im...? (.) Gerichteten und ungerichteten Zurücksenden. Ja. (13 sec)*
825 *<Manu schreibt auf.> Und was haben sie gemeinsam? (.) Was haben der Spiegel und das weiße*
826 *Papier gemeinsam? (..)*

827 *Manu: Sie können alle beide senden.*

828 *Lehrer: Von sich aus senden?*

829 *Manu: Nein...*

830 *Lehrer: Können sie Emission machen? Nein.*

831 *Manu: Nein, sie können einfach so senden.*

832 *Lehrer: Einfach so. <schnippst> Ohne nix, oder brauchen sie vorher was?*

833 *Manu: Licht.*

834 *Lehrer: Sie müssen vorher Licht empfangen. Sie haben beide gemeinsam, dass sie Licht*
835 *empfangen...?*

836 *Manu: ...dass, dass sie Licht empfangen und es dann zu..., wegsenden wieder.*

837 *Lehrer: ...dann wieder zurücksenden. Genau.*

838 1 h 01 min 03 s - 1 h 01 min 29 s: Manu schreibt das Erarbeitete auf und fragt danach, in welcher
839 Klasse die Inhalte in der Regel unterrichtet werden.

840 *Lehrer: Absorption, Aufsaugung, beobachte ich wo? (..)*

841 *Manu: Beim Schwarzen...*

842 *Lehrer: Ja.*

843 *Manu ...Untergrund. (8 sec) <Manu schreibt auf.>*

844 *Lehrer: Nur beim Schwarzen?*

845 *Manu: Ja.*

846 *Lehrer: Wie war das mit den Farben?*

847 *Manu: Doch, bei den Farben auch.*

848 *Lehrer: Hmhmm.*

849 1 h 01 min 53 s - 1 h 02 min 05 s: Manu schreibt das Erarbeitete auf: Im Anschluss wird eine Pause
850 gemacht und die Transkription gestoppt. Nach der Pause wird mit den vier Anwendungsbeispielen
851 weiter gemacht und Manu wendet ein, dass da noch recht viel zu schreiben ist. Nur Stichwörter
852 aufzuschreiben, wird als Gegenangebot eingebracht. Danach wird die Aufgabenstellung des
853 Anwendungsbeispiels "Die Finsternis in deinem Alltag" von Manu vorgelesen.

854 1 h 02 min 05 s - 1 h 05 min 06 s: Es wird nachgefragt, ob Manu eine solche Situation in der Natur
855 kennt und er verneint dieses. Auch kann er sich diese nicht so recht vorstellen. Es werden andere
856 ähnlich Situationen angeboten, im Urlaub, bei einem Nachspaziergang oder in einem Haus in der
857 Nacht am Gang. Er meint, dass er solche Situationen weder kennt noch sich vorstellen kann, wendet
858 jedoch ein, dass es am Gang dann schwarz sein müsste. Die Situation, dass dennoch
859 unterschiedliche Grautöne wahrgenommen werden, wird als Tatsache in den Raum gestellt und die
860 beiden Aussagen des Anwendungsbeispiels vorgelesen. Es wirkt so, als würde er nicht mehr wirklich
861 mitmachen wollen.

862 *Lehrer: Was glaubst du ist davon zutreffend?*

863 *Manu: Das da. <sehr leise>*

864 *Lehrer: Das Zweite?*

865 *Manu: Nein, das Erste. <Das Leuchtkraftkonzept.>*

866 *Lehrer: Das Erste?*

867 *Manu: Ja, ich glaub.*

868 *Lehrer: Es gibt keine Lichtquellen. Wenn du in der Nacht durch den Gang gehst, gibts keine*
869 *Lichtquellen.*

870 *Manu: Nein. Wenn ich das Licht nicht einschalte, dann nicht.*

871 *Lehrer: Hmhmm. Und wenn du aber davon ausgehst, dass du ein paar Sachen sehen kannst, in*
872 *leichten Grautönen verschiedene Dinge wahrnehmen kannst. Schau, gehen wir, gehen wir ins WC.*

873 1 h 05 min 40 s - 1 h 07 min 14 s: Es werden in einem relativ dunklen Raum mit einem Blatt Papier
874 verschiedene Beobachtungen gemacht. Befindet sich das Blatt Papier in Bodennähe, ist es sichtbar,
875 da durch den Schlitz am Boden Licht auf das Papier fällt. Weiter oben im Raum ist es nicht mehr
876 sichtbar. Das Gleiche war bei den weißen Fliesen zu beobachten, die nur im unteren Bereich des
877 Raumes wahrgenommen werden konnten.

878 *Lehrer: Also, wir waren jetzt am Klo. Ja. Die Tür zugemacht und wir haben ein paar Sachen sehen*
879 *können und ein paar nicht.*

880 *Manu: Hmhmm.*

881 *Lehrer: Ja.*

882 *Manu: Also die Zweite ist es. <Restlichtkonzept> (.) Stimmt. (.)*

883 *Lehrer: Was ist die zweite Aussage?*

884 *Manu: Das ist irgendwie weil, (..) unsere Augen gut sind.*

885 *Lehrer: Na, na, schau. Wir sind bei den oberen beiden Sachen. Und dann füllen wir das aus. <Das*
886 *nächste Anwendungsbeispiel, bei dem es um die Funktionsweise des Auges geht.> Ja. Wir haben hier*
887 *zwei Situationen, ja. Zwei Aussagen. In dieser Situation gibt es keine Lichtquellen. Die Gegenstände*
888 *leuchten von sich aus. Die helleren Gegenstände besitzen eine eigene Leuchtkraft. Ist das richtig?*
889 *Oder ist die andere Sache richtig? Auch in der Finsternis gilt: ohne dass ein bisschen Restlicht*
890 *vorhanden ist, können die Umrisse nicht gesehen werden. (.) Welches von den beiden ist richtig?*

891 *Manu: Na, das.*

892 *Lehrer: Wir sind aber da oben, wir sind noch nicht da unten. (.) Wir haben hier Aussage eins...*

893 *Manu: Da oben, oben.*

894 *Lehrer: ...und hier Aussage zwei. Einmal die Aussage, dass es im WC keine Lichtquellen gibt und die*
895 *Fliesen, die ja hell waren, eine eigene Leuchtkraft haben. Oder die zweite Sache...*

896 *Manu: Nummer zwei ist richtig.*

897 *Lehrer: Nummer zwei ist richtig. Ja. Das heißt, Finsternis, ja, die Situation im WC, zu dem sagen wir*
898 *Finsternis.*

899 *Manu: Hmhmm.*

900 *Lehrer: Wenn du in der Nacht irgendwo spazieren gehst...*

901 *Manu: Hmhmm.*

902 *Lehrer: ...bedeutet was? Dass gar kein Licht vorhanden ist, ist das zutreffend? (.) Können wir in*
903 *unserem Alltag eine Situation herstellen wo gar kein Licht vorhanden ist? (..) War im WC gar kein Licht*
904 *vorhanden?*

905 *Manu: Nein. Da war Licht vorhanden.*

906 *Lehrer: Wie viel?*

907 *Manu: Wenig.*

908 *Lehrer: Sehr, sehr wenig. Das heißt, Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass sehr, sehr wenig*
 909 *Restlicht vorhanden ist. Ja. Schreiben wir das auf. (21 sec) <Manu schreibt auf.> Und warum konnten*
 910 *wir das, ah, den Umriss von der Kloschüssel sehen?*

911 *Manu: Weil es weiß war, weil es hell ist?*

912 *Lehrer: Was war hell, die Kloschüssel oder das Drumherum?*

913 *Manu: Die Fliesen waren hell.*

914 *Lehrer: Die Fliesen, ja. <Der Spalt hat relativ gut den Boden beleuchtet und im hinteren Bereich auch*
 915 *die untere Fliesenreihe. Die vorgelagerte Kloschüssel, welche zwar auch weiß war, hat durch den*
 916 *größeren Winkel nicht so viel Licht empfangen können.> Das heißt Umrisse sehen wir, weil...? (.)*
 917 *...das Restlicht...*

918 *Manu: ...weil das Restlicht hell...*

919 *Lehrer: ...von den hellen Flächen noch reflektiert wird. Ja. (30 sec) <Manu schreibt auf.> Das heißt,*
 920 *eine Situation, wo gar, gar kein Licht vorhanden ist, ist für uns sehr schwer herzustellen. Ja. Wenn du*
 921 *in der Nacht spazieren gehst, du hast, die Sonne ist weg, der Mond ist weg. Was für Möglichkeiten*
 922 *gibts denn, das noch Restlicht vorhanden ist? (..)*

923 *Manu: Taschenlampe.*

924 *Lehrer: Taschenlampe wurde vergessen, so haben wirs geschrieben, in dem Beispiel. (.)*

925 *Manu: Glühwürmchen.*

926 *Lehrer: Glühwürmchen! Ganz genau. Was kommt noch infrage? Was sind noch Möglichkeiten für*
 927 *Restlicht? (10 sec)*

928 *Manu: Nichts.*

929 *Lehrer: Kommt Licht aus dem Nichts heraus?*

930 *Manu: Nein.*

931 *Lehrer: Nein, muss ja irgendwas sein.*

932 *Manu: Feuerwerk.*

933 *Lehrer: Feuerwerk. Die Umgebung von einer Stadt. Ja. Lichtverschmutzung. Die Sterne. Ja. Wenn ich*
 934 *irgendwo draußen am Land bin, dann seh ich von der Weite eine Stadt. Weil über der Stadt so eine*
 935 *Lichtglocke ist. Ja.*

936 *Manu: Hmhmm.*

937 *Lehrer: Das nennt man dann Lichtverschmutzung.*

938 *Manu: Hmhmm.*

939 *Lehrer: Oder da, beim WC war die Tür zwar zu, aber wo ist das Licht reingekommen? (..)*

940 *Manu: Unten, durch den Spalt.*

941 *Lehrer: Durch den Spalt! Ganz genau. Den müsstest du abkleben, ja. Alle Spalte müsstest du*
 942 *abkleben, genauso wie da <bei der Vision Tube>, schau, da hab ich ganz viel abgeklebt, das ja kein*
 943 *Licht hindurchkommt. Ja.*

944 *Manu: Hmhmm.*

945 *Lehrer: Und deswegen glaubt man manchmal, dass diese hellen Sachen von sich aus ein bisschen*
946 *leuchten, aber eigentlich reflektieren sie nur Restlicht...*

947 *Manu: Hmhmm.*

948 *Lehrer: ...das noch vorhanden ist.*

949 1 h 12 min 02 s - 1 h 12 min 30 s: Manu wirkt ein wenig müde. Es wird ihm das Angebot gemacht,
950 dass der Lehrer für die kommenden drei Beispiele das Schreiben übernimmt. Im Anschluss wird die
951 Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Funktionsweise deines Auges" vorgelesen.

952 *Lehrer: Vier Aussagen haben wir.*

953 *Manu: Hmhmm.*

954 *Lehrer: Und du musst überlegen, welche dieser vier Aussagen richtig sind. Bei manchen Aussagen,*
955 *die können gleichzeitig nicht richtig sein, weil sie sich widersprechen.*

956 *Manu: Hmhmm.*

957 *Lehrer: Ja. Das Gegenteil voneinander aussagen. Deswegen muss man sich festlegen. Erste*
958 *Aussage: Dein Auge ist ein aktives Organ. Von ihm geht ein Sehstrahl aus, welcher Sichtbares*
959 *abtastet.*

960 *Manu: Ja, das stimmt.*

961 *Lehrer: Das stimmt.*

962 *Manu: Da brauch ich gar nichts anderes.*

963 *Lehrer: OK.*

964 *Manu: Also das stimmt.*

965 *Lehrer: Um einen Blick durchs Fenster zu werfen, muss mein Auge aktiv den Sehstrahl durch das*
966 *Fenster schicken.*

967 *Manu: (?...)*

968 *Lehrer: Dritte Aussage: Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen.*

969 *Manu: Ja.*

970 *Lehrer: Ist auch richtig?*

971 *Manu: Nein, das Dritte ist nicht richtig, aber das Zweite schon.*

972 *Lehrer: Das Zweite schon, OK. Das heißt, das Auge empfängt kein Licht, sondern es sendet einen*
973 *Sehstrahl aus. Kann man das so sagen?*

974 *Manu: Doch, es empfängt Licht, es sendet keinen Sehstrahl aus. (..)*

975 *Lehrer: Die vierte Aussage ist: Das Auge ist ein passives Organ, es kann keinen Sehstrahl absenden.*

976 *Manu: Ja, das ist richtig. (..)*

977 *Lehrer: Aber vorhin hast du bei der Frage eins gesagt, dass das richtig ist, dass das Auge ein aktives*
978 *Organ ist...*

979 *Manu: Nein! Das stimmt nicht.*

980 *Lehrer: Das stimmt nicht.*

981 *Manu: Hmhmm.*

982 *Lehrer: Das heißt, drei und vier...*

983 *Manu: ...sind richtig.*

984 *Lehrer: Drei und vier sind richtig. Ganz genau. Ja.*

985 *Manu: Hmhmm.*

986 *Lehrer: Wenn wir jetzt hier das Auge uns anschauen, ja.*

987 *Manu: Hmhmm.*

988 *Lehrer: Überlege dir die Funktion der Netzhaut. Welche Bestandteile sind im Modell des Auges der*
989 *Vision Tube ähnlich? (.) Schau mal hier die einzelnen Sachen die beschriftet sind. Welche (.) Teile*
990 *dieses Modelles entsprechen der Vision Tube?*

991 *Manu: Das ist der Querstrich <die Querstange>.*

992 *Lehrer: Was ist der Querstrich?*

993 *Manu: Die Linse.*

994 *Lehrer: Die Linse?*

995 *Manu: Hmhmm.*

996 *Lehrer: Die Linse ist ein durchsichtiges Objekt. Da geht Licht einfach durch, wird aber gebündelt...*

997 *Manu: Ja, nein, dann ist es die Pupille.*

998 *Lehrer: ...wie bei einer Lupe.*

999 *Manu: Dann ist es die Pupille.*

1000 *Lehrer: Die Pupille. Wir, Pup..., Pup..., Pupille entspricht was, diesem Querstrich?*

1001 *Manu: Nein.*

1002 *Lehrer: Sondern?*

1003 *Manu: Dem, ähm, dem, ähm, allgemein, dem, der Vision Tube.*

1004 *Lehrer: Dem... Sagen wir mal Vision Tube ist das ganze Auge. Und die Pupille entspricht... Wo*
1005 *kommt, wo kommt das Licht hinein? (.)*

1006 *Manu: In die Pupille.*

1007 *Lehrer: Durch die Pupille. Und in der Vision Tube?*

1008 *Manu: Durch die Öffnung.*

1009 *Lehrer: Welche Öffnung?*

1010 *Manu: Die. <Die große Öffnung>*

1011 *Lehrer: Und wenn ich das so zu halte...*

1012 *Manu: Da.*

1013 *Lehrer: Das heißt? (.) Das kleine Loch.*

1014 *Manu: Hmhmm.*

1015 *Lehrer: Ja. Das heißt, die Pupille ist das kleine Loch.*

1016 *Manu: Hmhmm.*

1017 *Lehrer: Was ist die Netzhaut? (..) Hier in der Vision Tube? (..)*

1018 *Manu: Das. (..)*

1019 *Lehrer: Die äußere Hülle?*

1020 *Manu: Hmhmm.*

1021 *Lehrer: Aber wenn hier das Licht hineinkommt?*

1022 *Manu: Nein, dann ist es das hier. (..)*

1023 *Lehrer: Das Innere. Hmhmm. Beziehungsweise, wie wäre es mit dem hier?*

1024 *Manu: (?...)*

1025 *Lehrer: Die Querstange? Also der innere Teil der Querstange, könnten wir sagen, dass das Innere der*
1026 *Querstange die Netzhaut ist? (.)*

1027 *Manu: Netzhaut ist immer um das ganze Auge herum. Und das <die Querstange> ist nicht die ganze*
1028 *Vision Tube.*

1029 *Lehrer: Ja. Das stimmt schon. Ja. Also es ist nicht das ganze Runderhum. Aber im Wesentlichen*
1030 *empfängt hier diese Querstange das Licht.*

1031 *Manu: Hmhmm.*

1032 *Lehrer: Ja. Und wenn rotes Licht hineinkommt, dann scheint es hier rot auf.*

1033 *Manu: Hmhmm.*

1034 *Lehrer: Ja. Also es könnte so eine Art Sensor sein. NATürlich ist das ein Stab und das ist hier <die*
1035 *Netzhaut> so gewölbt. Ja. Da hast du vollkommen recht. Ja.*

1036 *Manu: Hmhmm.*

1037 *Lehrer: Aber wir könnten sagen. Ja. Die Pupille bestimmt ähnlich wie das kleine Loch, wieviel Licht in*
1038 *das Auge fällt.*

1039 *Manu: Hmhmm.*

1040 *Lehrer: Oder?*

1041 *Manu: Genau.*

1042 1 h 16 min 23 s - 1 h 16 min 46 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

1043 *Lehrer: Was ist denn, wenn die Pupille groß ist und was, wenn sie klein ist. Unter welchen Situationen*
1044 *ist sie groß und in welchen klein?*

1045 *Manu: Wenns dunkel is groß, wenns hell ist, ist sie klein.*

1046 *Lehrer: Ganz genau. Ja.*

1047 1 h 16 min 55 s - 1 h 18 min 02 s: Das Thema wird vertieft, in dem der Zusammenhang mit der Größe
1048 des kleinen Lochs hergestellt wird. Manu bringt das Beispiel ein, dass die Pupille sich öffnet, wenn er
1049 in die dunkle Vision Tube schaut. Danach stellt er die Frage, ob die Vision Tube kaputt ist, da er einen
1050 Schlitz sieht, dabei handelt es sich aber bloß um die Querstange.

1051 *Lehrer: Also, die Netzhaut entspricht... (..)*

1052 *Manu: ...dem, (..) der Querstange.*

1053 *Lehrer: ...der Querstange, sie empfängt das Licht.*

1054 *Manu: Hmhmm.*

1055 1 h 18 min 46 s - 1 h 19 min 07 s: Manu schreibt den Satz auf. Im Anschluss wird die
 1056 Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Mond und Äpfel im Sonnenlicht" vorgelesen.

1057 *Lehrer: In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne? (6 sec) Wo muss die Sonne...*

1058 *Manu: Da drüben. (.) Im Osten.*

1059 *Lehrer: Im Osten, rechts?*

1060 *Manu: Ja.*

1061 *Lehrer: Und wo ist der Apfel beleuchtet? Auf welcher Seite? (..)*

1062 *Manu: (?Süd) (..)*

1063 *Lehrer: Auf der linken Seite?*

1064 *Manu: Nein. Auf der Seite.*

1065 *Lehrer: Auf der Seite?*

1066 *Manu: Ja, also wenn, dann so...*

1067 *Lehrer: Das Licht kommt von so? <von unten> (..) Wenn das... (..) Wenn das da unten ist, ist es hell*
 1068 *oder dunkel?*

1069 *Manu: Nein, ich mein jetzt hier. Nicht da unten, sondern da.*

1070 *Lehrer: Und wenn hier die helle Fläche ist. Wo müsste dann die Sonne stehen? (..)*

1071 *Manu: Da.*

1072 *Lehrer: So direkt, direkt drauf? <mittig, zentral>*

1073 *Manu: Nein, natürlich viel weiter weg vom Apfel.*

1074 *Lehrer: Ja, viel, viel weiter weg vom Apfel. Aber wenn die Sonne direkt oberhalb ist, wäre die Fläche*
 1075 *dann beleuchtet oder nicht beleuchtet? (.)*

1076 *Manu: Nicht beleuchtet, weil das wär oben beleuchtet, der Stängel beleuchtet.*

1077 *Lehrer: Aha. (8 sec) Das heißt, wenn die Sonne so direkt draufkommt, wird das hier beleuchtet.*

1078 *Manu: Hmhmm.*

1079 *Lehrer: Auch das untere wo der Schatten ist? (..) Aber wenn die Sonne so kommt <mittig, zentral>*
 1080 *müsste das ja dann da, da draufkommen, oder?*

1081 *Manu: Mhmm. <verneinend>.*

1082 *Lehrer: Schau dir das mal an.*

1083 *Manu: Es scheint nach oben.*

1084 *Lehrer: Also ich würd sagen, die Sonne kommt von links oben. Nicht von direkt oben. Weil wenn die*
 1085 *Sonne von links oben kommt, dann geht das Licht hier drauf und wirft auf der Unterseite einen*
 1086 *Schatten.*

1087 *Manu: OK. <leicht genervt>.*

1088 *Lehrer: Ja.*

1089 *Manu: Hmhmm.*

1090 *Lehrer: Und beim Mond? Weil, wenn es von vorne kommt, von oberhalb vom Bild, dann wäre ja die*
1091 *ganze Fläche sichtbar und hell.*

1092 *Manu: Hmhmm, hmhmm.*

1093 *Lehrer: Hier ist aber nur ein Teil der Fläche sichtbar.*

1094 *Manu: Hmhmm.*

1095 *Lehrer: Weil auf der Unterseite kein Licht hinkommt.*

1096 *Manu: Hmhmm.*

1097 *Lehrer: Ja. Also. Die Sonne steht im linken Eck, im links oberen Eck. (..) <Der Lehrer schreibt für*
1098 *Manu auf.> Bist heute ein bisschen unruhig, gell? Oder, war der Tag lang, oder?*

1099 *Manu: Ja, Mittwoch ist immer relativ anstrengend.*

1100 *Lehrer: Ist ein anstrengender Tag gewesen. Wir sind eh bald fertig. Ja. Die Sonne steht im links*
1101 *oberen Eck. Inwiefern ist Beleuchtungssituation des Apfels und des Mondes gleich? (..)*

1102 *Manu: Die Sonne ist da und die leuchtet den Apfel und den Mond an.*

1103 *Lehrer: Unterschiedlich oder gleich?*

1104 *Manu: Gleich.*

1105 *Lehrer: Gleich. Ja. Das heißt, auch von da muss die Sonne von der Richtung kommen, oder?*

1106 *Manu: Hmhmm. Ja.*

1107 *Lehrer: Ja. Weils hier meisten beleuchtet ist.*

1108 *Manu: Genau.*

1109 *Lehrer: Wenn sie von da kommen würde, dann wäre es ja da unten auch beleuchtet. Ja.*

1110 *Manu: Hmhmm. (..)*

1111 *Lehrer: Das heißt, die Beleuchtungssituation ist gleich, die Flächen sind links oben beleuchtet, ja.*

1112 *Manu: Hmhmm.*

1113 *Lehrer: (15 sec) <überlegt> Beides (..) wird von links oben beleuchtet.*

1114 *Manu: Hmhmm.*

1115 *Lehrer: Jetzt ist es aber so, dass auf dem Bild (..) die Schattenseite vom Apfel sichtbar ist. (..)*

1116 *Manu: Hmhmm.*

1117 *Lehrer: Da wo eigentlich kein Licht hinkommt von der Sonne.*

1118 *Manu: Hmhmm.*

1119 *Lehrer: Direkt, oder? So. <klackt>*

1120 *Manu: Hmhmm.*

1121 *Lehrer: Also, ist ja quasi die Rückseite, wo das nicht beleuchtet wird.*

1122 *Manu: Hmhmm.*

1123 *Lehrer: Wieso ist das trotzdem sichtbar? (..)*

1124 *Manu: Weil der Schatten nicht so dunkel ist.*

1125 *Lehrer: Der Schatten ist nicht ganz schwarz. Ja.*

1126 *Manu: Hmhmm.*

1127 *Lehrer: Das stimmt, ist nicht so dunkel. Von dem her kommt ein bisschen Licht in dein Auge.*

1128 *Manu: Genau.*

1129 *Lehrer: Aber wenn die Sonne das nicht produziert, woher kommt denn, wie, wie, woher kommt den*
 1130 *das Licht, dass von dieser Schattenseite aus kommt?*

1131 *Manu: Das kommt vom Apfel.*

1132 *Lehrer: Wie vom Apfel? Von welchem Apfel?*

1133 *Manu: Von dem.*

1134 *Lehrer: Kann der Apfel von sich selber Licht ausschicken?*

1135 *Manu: Nein!*

1136 *Lehrer: Nein.*

1137 *Manu: Aber das sendet das zurück.*

1138 *Lehrer: Ja. Die helle Seite sendet das Licht direkt von der Sonne zurück.*

1139 *Manu: Hmhmm.*

1140 *Lehrer: Und die Schattenseite? Kann die auch Licht zurücksenden?*

1141 *Manu: Ja, weil so wie die schwarze Oberfläche.*

1142 *Lehrer: So wie die schwar..., ja, so wie die schwarze Oberfläche. Das heißt nicht so gut wie die helle.*

1143 *Manu: Hmhmm. Aber die schickt trotzdem..*

1144 *Lehrer: Ja, aber wo kommt denn das Licht her, das von der Schattenseite kommt? (.) Zurückgesendet*
 1145 *wird? (.) Welche Rolle spielt die Umgebung?*

1146 *Manu: Na sie ist hell! <enthusiastisch> Die Umgebung ist hell.*

1147 *Lehrer: Die Umgebung ist hell. Ja.*

1148 *Manu: Ohne Wolken.*

1149 *Lehrer: Siehst du, ohne Wolken, ist die Rückseite des Mondes <gemeint ist die Schattenfläche> nicht*
 1150 *sichtbar.*

1151 *Manu: Hmhmm.*

1152 *Lehrer: Ja, ohne Wolken. Ohne etwas, dass die, die Rückseite beleuchtet. Ja.*

1153 *Manu: Hmhmm.*

1154 *Lehrer: Aber hier, die Blätter, ja, schicken Licht dorthin zurück.*

1155 *Manu: Hmhmm.*

1156 *Lehrer: Das heißt, die ganze Umgebung beleuchtet die Schattenseite.*

1157 *Manu: Hmhmm.*

1158 1 h 24 min 29 s - 1 h 25 min 08 s: Der Lehrer schreibt für Manu das Erarbeitete auf. Auch wird drauf

1159 eingegangen, dass die Schattenseite des Mondes an sehr klaren Tagen leicht sichtbar ist und dafür
1160 das Licht von der Erdoberfläche auf den Mond gestreut wird. Es wird betont, dass nur noch ein
1161 Anwendungsbeispiel, "Die Lichtausbreitung einer Kerze", zu erledigen ist, jedoch diesmal Manu
1162 wieder selbst zeichnen soll. Die Aufgabenstellung wird vorgelesen.

1163 *Manu: Was ist das?*

1164 *Lehrer: Das ist das Auge.*

1165 *Manu: Und das ist das Licht.*

1166 *Lehrer: Das ist die Kerze, ja. Und das ist der Stein. (..) <Manu zeichnet.>*

1167 *Manu: Fertig. <zeichnet einen Strich von der Kerze zum Stein und dann weiter in das Auge>*

1168 *Lehrer: Nur in die eine Richtung?*

1169 *Manu: Nein, in alle, nur dieses Auge kann es nicht sehen.*

1170 *Lehrer: Hmhmm. Welches... Was sieht das Auge?*

1171 1 h 26 min 02 s - 1 h 27 min 07 s: Es wird der Versuch gestartet, die Situation mit Hilfe der Lampe und
1172 der beleuchteten Tischfläche zu verdeutlichen. Manu kann das Sender-Empfänger Konzept ganz gut
1173 anwenden. Die Sequenz kann leider nicht transkribiert werden, da nicht mehr alle Schritte
1174 nachvollziehbar sind.

1175 *Lehrer: Also, eins nach dem anderen. Da ist die Kerze, in welche Richtungen schickt die Kerze das*
1176 *Licht aus.*

1177 *Manu: Überall.*

1178 *Lehrer: Überall. Das heißt, ich zeichne das in alle Richtungen.*

1179 *Manu: Genau.*

1180 *Lehrer: Und wenn ich einen Pfeil mach, in welche Richtung muss der Pfeil gemacht werden? In*
1181 *welche Richtung bereitet sich das Licht aus?*

1182 *Manu: Na überall. Also einfach einen runden Pfeil.*

1183 *Lehrer: Einen runden Pfeil? Runden Pfeil gibts nicht. Wenn ich jetzt diesen, diese Linie hab.*

1184 *Manu: Hmhmm.*

1185 *Lehrer: Und da einen Pfeil einzeichnen würde.*

1186 *Manu: Na dann machst einen da vorne.*

1187 *Lehrer: Da vorne?*

1188 *Manu: Hmhmm.*

1189 *Lehrer: In welche Richtung?*

1190 *Manu: In die.*

1191 *Lehrer: So rum? <Am Ende der Linie, von der Kerze weg>*

1192 *Manu: Ja.*

1193 *Lehrer: Ja.*

1194 *Manu: Hmhmm.*

1195 *Lehrer: Ja. Es geht also weg.*

1196 *Manu: Rundherum.*

1197 *Lehrer: Rundherum, weg von der Kerze.*

1198 *Manu: Weg von der Kerze, genau.*

1199 *Lehrer: Das heißt auch hier.*

1200 *Manu: Hmhmm.*

1201 *Lehrer: Und hier drauf. <Auf eine andere Stelle am Stein.>*

1202 *Manu: Hmhmmm, genau.*

1203 *Lehrer: Und bleibt das Licht dann jetzt da oben liegen??*

1204 *Manu: Nein, ein Teil versinkt und ein Teil bleibt.*

1205 *Lehrer: Bleibt einfach oben?*

1206 *Manu: Nein, so wie vorher? Er... (.) Wie hab ich das vorher gesagt? (9 sec) Er bewegt sich.*

1207 *Lehrer: Der Pfeil, genau. Es bewegt sich. Je nachdem wo du stehst, ja, ist der Lichtfleck da oder dort.*

1208 *Manu: Genau.*

1209 *Lehrer: Weil immer an jener Stelle, so zu sagen das Licht den richtigen Winkel hat um...? (.) ...in dein*
1210 *Auge reinzukommen.*

1211 *Manu: Hmhmm.*

1212 *Lehrer: Ja. Das heißt, dass Licht fällt hier wieder in dein Auge hinein.*

1213 *Manu: Ah, ja, weils spiegelt.*

1214 *Lehrer: Weils spiegelt. Ja. Das ist das Wichtige, dass das Licht auch vom Stein wieder zurück in dein*
1215 *Auge geht.*

1216 *Manu: OK.*

1217 *Lehrer: Ja.*

1218 *Manu: Hmhmm.*

1219 *Lehrer: Das heißt, wir müssen das so zeichnen. <Zeichnet auch an einer zweiten Stelle einen*
1220 *Lichtstrahl, der von der Kerze auf den Stein und dann ins Auge fällt.>*

1221 *Manu: Hmhmm.*

1222 *Lehrer: Und jetzt eine letzte Sache. Stell dir statt dem Stein einen Spiegel vor. Unter welcher*
1223 *Bedingung könnte der Spiegel blenden? Machen wir einen (?...) Spiegel.*

1224 *Manu: Wenn extra, wenn das Licht extrem nah am Spiegel ist.*

1225 *Lehrer: Ja. So, jetzt geb ich den Spiegel extrem nah hin. <Positioniert den Schminkspiegel direkt bei*
1226 *der Glühbirne.> Blendet es dich? (.)*

1227 *Manu: Wenn ich jetzt in den Spiegel reinschauen würde, ja.*

1228 *Lehrer: Wenn du in den Spiegel schaust. Das heißt...*

1229 *Manu: Ochhh.*

1230 *Lehrer: Hats dich erwischt?*

1231 *Manu: Hmhmm?*

1232 *Lehrer: Was, was passiert mit dem Licht? Wenns dich blendet.*

1233 *Manu: Es reflektiert.*

1234 *Lehrer: Wohin?*

1235 *Manu: Zu mir, dort wo es hin, dort wo der Spiegel halt hingeht. Wo die Fläche halt... (.) hinscheint.*

1236 *Lehrer: Und in dem Moment wo es dich blendet geht das Licht wohin?*

1237 *Manu: In mein Auge.*

1238 *Lehrer: In dein Auge hinein! Ganz genau. Ja. Ist das klar?*

1239 *Manu: Hmhmm.*

1240 *Lehrer: Dann blendets dich. Und das Gleiche passiert auch mit dem Stein. So wie bei dem Papier, wir*
1241 *konnten das Licht da raufschicken. Ja.*

1242 *Manu: Hmhmm.*

1243 *Lehrer: Das heißt, um den Stein hier sehen zu können, wird Licht von ihm ausgeschickt und fällt in*
1244 *dein Auge.*

1245 *Manu: Hmhmm.*

1246 *Lehrer: Wenn du geblendet wirst, ja, wird Licht nur in dein Auge hineingeschickt.*

1247 *Manu: Hmhmm.*

1248 *Lehrer: Ja. Das erklärt auch das was wir vorhin gesagt haben, mit dem passiven und dem aktiven*
1249 *Organ.*

1250 *Manu: Ja.*

1251 *Lehrer: Ja. Wir sehen immer nur etwas, wenn das in dein Auge hineinkommt.*

1252 *Manu: OK.*

1253 *Lehrer: Von allen Gegenständen. Nicht nur vom Spiegel wird Licht weggeschickt und kommt in dein*
1254 *Auge. Dann kannst du es sehen.*

1255 *Manu: OK.*

1256 *Lehrer: Ja, du kannst die Fläche sehen, weil von dort drüben Licht kommt und es fällt in dein Auge. Ja.*

1257 *Manu: Hmhmm.*

1258 *Lehrer: Alle Dinge, ja. Überall wird Licht ausgeschickt und fällt in dein Auge. Ja. Kann man das so*
1259 *erklären.*

1260 *Manu: Ja!*

1261 1 h 30 min 20 s - 1 h 31 min 07 s: Der Lehrer schreibt für Manu das Erarbeitete auf.

1262 *Lehrer: Warum kann der schwarze Stein dich nicht blenden?*

1263 *Manu: Weil der schwarze Stein...*

1264 *Lehrer: ...der graue Stein mein ich.*

1265 *Manu: Weil er keine Leuchtkraft hat. Weil er nichtselbstleuchtend ist.*

1266 *Lehrer: Der Spiegel ist aber auch nichtselbstleuchtend.*

1267 *Manu: Ja, also, weil er auch gar nicht mit Strom selbst leuchten kann.*

- 1268 *Lehrer: Und der Spiegel, kann der mit Strom leuchten?*
- 1269 *Manu: Nein, aber der Spiegel hat irgendwie... (.) etwas, wo er halt leuchten kann. Wenn eine, ach...*
- 1270 *Lehrer: Wieso kann der Spiegel dich blenden und der...*
- 1271 *Manu: Ah! Die Farbe. Der Stein ist meistens grau oder weiß...*
- 1272 *Lehrer: Ist grau, ja.*
- 1273 *Manu: Und der Spiegel halt durchsichtig.*
- 1274 *Lehrer: Jaaa, ist nicht ganz durchsichtig, weil sonst könntest du ja hindurchschauen.*
- 1275 *Manu: Also, der ist rück..., aussendend.*
- 1276 *Lehrer: Ja, der sendet auch aus. Besser oder schlechter?*
- 1277 *Manu: Besser.*
- 1278 *Lehrer: Ganz genau.*
- 1279 *Manu: Viel besser.*
- 1280 *Lehrer: Ja, der Unterschied zwischen Spiegel und Stein ist, der Spiegel sendet Licht viel besser*
 1281 *zurück.*
- 1282 *Manu: Ahh...*
- 1283 1 h 32 min 07 s - 1 h 32 min 34 s: Der Lehrer schreibt für Manu das Erarbeitete auf. Anschließend wird
 1284 die Unterrichtseinheit beendet.

5. Unterrichtseinheit mit Agnes

- 1 00 min 00 s - 03 min 27 s: Die Unterrichtseinheit beginnt und Agnes liest den ersten Absatz des
 2 Arbeitsblattes vor. Das Wort präzise wird in einfachen Worten mit "so genau wie möglich" erklärt. Im
 3 Anschluss wird die Vision Tube vorgestellt. Dabei wird auf die einzelnen Elemente kleines Loch,
 4 Querstange und große Öffnung eingegangen. Da Vision Tube für Agnes nicht so leicht auszusprechen
 5 ist, wird Sehröhre als alternative Bezeichnung vorgeschlagen. Auch wird auf die Bauweise bzw. durch
 6 welche Elemente die Lichtundurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die Tatsache, dass das Licht
 7 rechtwinkelig zur Sichtachse einfällt, eingegangen. Agnes beginnt gleich erste Experiment zu machen.
 8 Auch in einem dunklen Vorraum, wo Agnes zunächst nichts zu erkennen scheint. Bei genauerem
 9 Hinschauen kann sie die Querstange jedoch wahrnehmen. Die Aufgabenstellung des 1. Experiments
 10 wird vom Lehrer vorgelesen. Zusätzlich wird am Beispiel der Sichtbarkeit betont, dass es zentral um
 11 die Erarbeitung neuer Begriffe und ihre exakte Bedeutung geht.
- 12 *Lehrer: Wie beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung? Unter welcher Bedingung ist die*
 13 *Querstange besser oder schlechter sichtbar? Das sind jetzt zwei Fragen, aber du kannst ruhig eine*
 14 *Antwort draufgeben.*
- 15 *Agnes: Ähm. Bei der, äh wo es mehr sichtbar sind, wo nicht?*
- 16 *Lehrer: Ja, unter welcher Bedingung ist es besser beziehungsweise schlechter sichtbar.*
- 17 *Agnes: Also bei der Lampe ist es... (.) Beim Fenster ist es besser als...*
- 18 *Lehrer: ...dort. <Im Vorraum.>*
- 19 *Agnes: Hmhmm.*
- 20 *Lehrer: Und welche Rolle hat das Licht gespielt dabei?*
- 21 *Agnes: Also, dass es da rein geleuchtet, geschienen oder gestrahlt hat.*
- 22 *Lehrer: Ja.*

23 Agnes: Und dass dann das Licht dann auf die Querstange gefallen sind, dann hab ich sie gesehen.

24 Lehrer: Aha. Dann hast du sie gesehen. Und wann ging es besser?

25 Agnes: Also bei der Lampe und beim Fenster.

26 Lehrer: Ja. Und war da mehr oder weniger Licht? (.)

27 Agnes: Mehr Licht als dort...

28 Lehrer: ... als im kleinen Kammerl, Kammerl. Ja. Und wenn ich jetzt, wenn du jetzt einen Satz machen

29 müsstest, ja das ist so die erste Gesetzmäßigkeit, die wir heute machen, ja. Die Wissenschaftler, die

30 machen immer Wenn-dann-Sätze, ja. Oder Je-mehr-desto-Sätze. Ja. Also wenn du jetzt einen Satz

31 machen müsstest, je mehr oder je weniger Licht... In Bezug auf die Sichtbarkeit. Wie würdest du

32 diesen Satz formulieren?

33 Agnes: Ähm. Je (.) mehr Licht auf das Loch scheint... (.)

34 Lehrer: Auf oder...?

35 Agnes: ...ähm, in das Loch scheint...

36 Lehrer: ...in das Loch, ja...

37 Agnes: ...desto besser seh ich die Querstange.

38 Lehrer: Ganz genau. Das ist das erste Gesetz von heute. Ja. Je mehr Loch, ah, je mehr Licht in das

39 kleine Loch scheint, desto besser seh ich die Querstange. Ja. Schreiben wir das auf.

40 06 min 53 s - 07 min 52 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

41 Agnes: Warum ist die <Querstange> eigentlich weiß und das <Äußere> schwarz?

42 Lehrer: Ja, das werden wir uns noch anschauen, nachher.

43 Agnes: Damit man es besser sieht?

44 Lehrer: Damit man es besser sieht, ja.

45 08 min 00 s - 08 min 37 s: Agnes setzt fort, um das Erarbeitete aufzuschreiben.

46 Lehrer: Zum Schwarzen und Weißen: Was sieht man besser?

47 Agnes: Weiß.

48 Lehrer: Was sieht man besser, das Schwarze oder das Weiße.

49 Agnes: Das Weiße.

50 Lehrer: Und warum?

51 Agnes: Weil das heller ist?

52 Lehrer: Weil es heller ist. Und wodurch, also, was, was ist dann, wenn es heller ist?

53 Agnes: Sieht man das besser, wenn es, äh, wenn es heller ist, sieht man besser.

54 Lehrer: Hmhmm. Wir werden uns nachher gleich anschauen, warum man eigentlich helle Sachen

55 besser sieht. Ja, das kommt dann im Experiment nachher. Aber zuerst haben wir eine kleine Analyse.

56 Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine wichtige Rolle: selbstleuchtende und

57 nichtselbstleuchtende Gegenstände. Ja.

58 Agnes: Also die Lampe leuchtet nicht von selber, oder? Weil man sie andrehen muss, oder wie ist das

59 gemeint?

60 Lehrer: Jaaa. Selbstleuchtend heißt hier, also wenn ich damit in einen dunklen Raum gehe, kann es

61 selber Licht...

62 Agnes: Ah.

63 Lehrer: ...produzieren mithilfe von Energie. Ja. Mithilfe von Energie, ja. Ähm, wenn ich jetzt mit dieser

64 *Röhre in einen dunklen Raum gehe und da eine Steckdose dran mach, würde das leuchten.*

65 *Agnes: Nein.*

66 *Lehrer: Nein. Das kann, kann das mithilfe von Energie leuchten?*

67 *Agnes: Nein.*

68 *Lehrer: Nein. Aber?*

69 *Agnes: Die Lampe.*

70 *Lehrer: Die Lampe. Ganz genau. Also selbstleuchtend heißt: mithilfe von Energie Licht ausschicken.*

71 *Ja. (...) Das ist ganz richtig, dass es nicht von alleine geht, da brauchen wir Energie dafür. Also, was*

72 *für ein Beispiel, ah, hast du noch neben Lampe für selbstleuchtende Gegenstände? Kannst dahin*

73 *schreiben. Lampe mal als Erstes, ja. Was leuchtet noch von selbst? Oder mithilfe von Energie?*

74 *Agnes: Also das, selbst... Energie, selbstleuchtend... (..) nichtselbstleuchtende. Die, die nicht*

75 *leuchten?*

76 *Lehrer: Was leuchtet nicht von alleine?*

77 *Agnes: Also die, das, was wir vorhin gesagt haben. Das...*

78 *Lehrer: Die Vision Tube.*

79 *Agnes: Ja.*

80 *Lehrer: Ja. Beziehungsweise, was du vorhin, was wolltest du gerade sagen mit "Q", was wolltest du*

81 *sagen?*

82 *Agnes: Nein, ich wollte das sagen.*

83 *Lehrer: Vision Tube? Ja.*

84 *Agnes: Ja. Vi si on Tu be <Betont die Silben einzeln.>*

85 *Lehrer: Und die Querstange, leuchtet die von selbst?*

86 *Agnes: Nein.*

87 *Lehrer: Nein, obwohl sie sehr hell ist?*

88 *Agnes: Nein, die leuchtet trotzdem nicht...*

89 *Lehrer: ...die leuchtet trotzdem nicht von selbst. Also kannst aufschreiben, Vision Tube, ja,*

90 *Querstange, bei nichtselbstleuchtend. (14 s) <Agnes schreibt auf.>*

91 *Agnes: Soll ich einfach irgendwelche Dinge aufschreiben, die nicht leuchten.*

92 *Lehrer: Hmhm. Schreib noch Querstange auf, ja. (16 s) <Agnes schreibt auf.> Was fällt dir noch ein?*

93 *Agnes: Stift zum Beispiel.*

94 *Lehrer: Stift, genau. (6 s) <Agnes schreibt auf.> Was glaubst gibts öfters? Nichtselbstleuchtend oder*

95 *leucht... selbstleuchtend?*

96 *Agnes: Nichtselbstleuchtend.*

97 *Lehrer: Gibts ganz, ganz viele, gell?*

98 *Agnes: Ja.*

99 *Lehrer: Könnte man ewig viele hinschreiben, ja. Aber bei selbstleuchtend, was könnte man*

100 *hinschreiben? Was leuchtet noch von selbst?*

101 *Agnes: Also die Lampe.*

102 *Lehrer: Die Lampe.*

103 *Agnes: Man könnte sagen die Sonne, oder?*

104 *Lehrer: Die Sonne, ganz genau. Ja. (..) <Agnes schreibt auf.> Noch was am Himmel? (.) Was*
105 *leuchtet?*

106 *Agnes: Also andere Sonnen, Sterne.*

107 *Lehrer: Andere Sonnen, nämlich Sterne. Ganz genau.*

108 *Agnes: Na trotzdem Sterne, weil Sonne, das hab ich da schon hergeschrieben.*

109 *Lehrer: Ja. SonneN, Querstrich Sterne, kannst auch schreiben. Ja. Dann ist das ein bisschen klarer.*
110 *Aber das ist schon ziemlich gut, dass du das weißt, dass Sterne Sonnen sind. Und der Mond? Kann*
111 *der von sich leuchten?*

112 *Agnes: Also wenn die Sonne ihn bestrahlt, dann ist nicht er nicht von sich, aber doch glaub ich. Aber*
113 *selbstleuchtende Gegenstände, so hätte ich es (?...), die von selber leuchten.*

114 *Lehrer: Die von selber leuchten, ja.*

115 *Agnes: Ja, der Mond dann auch.*

116 *Lehrer: Hmhm. Und wenn ich den Mond jetzt, stell dir vor, in einen ganz finsternen Raum geb...*

117 *Agnes: ...dann nicht!*

118 *Lehrer: Dann nicht!*

119 *Agnes: Oder wenn die Erde ihn halt, durch die Mond..., die Mondfinsternis.*

120 *Lehrer: Ganz genau. Dann kommt das Licht von der Sonne...*

121 *Agnes: ...nicht auf den Mond.*

122 *Lehrer: Also ist der Mond jetzt selbstleuchtend oder nichtselbstleuchtend?*

123 *Agnes: Selbstleuchtend, oder? Wenn die Sonne ihn bestrahlt, dann schon. Aber, nein,*
124 *nichtselbstleuchtend.*

125 *Lehrer: Eigentlich nichtselbstleuchtend, weil er kann ja nur mithilfe der Sonne... ja.*

126 *Agnes: Hmhm.*

127 *Lehrer: Irgendwas am Tisch hier noch?*

128 *Agnes: Der Computer?*

129 *Lehrer: Was vom Computer?*

130 *Agnes: Also der Bildschirm.*

131 *Lehrer: Der Bildschirm, ja, ganz genau. Wenn ich mit dem Bildschirm ins Finstere geh, dann leuchtet*
132 *der von sich aus. Ja. Kannst (?hinschreiben), Display, Bildschirm. (9 s) <Agnes schreibt auf.>*
133 *Hmhm. Super. Also nächstes Experiment. (.) Nimm die Querstange <gemeint ist die Vision Tube>,*
134 *schau rein und dann, schau gut rein, und jetzt halt das kleine Loch zu.*

135 *Agnes: Da seh ich natürlich nix, weil kein Licht reinkommt.*

136 *Lehrer: Ganz genau. Schreiben wir das auf. Wie kannst du deine Beobachtung erklären? (.) Ich seh*
137 *nichts weil kein Licht...*

138 *Agnes: ...durch das kleine Loch kommt.*

139 *Lehrer: Ganz genau. (40 s) <Agnes schreibt auf.> Ja, und da die zweite Frage, die dasteht: Was*
140 *kannst du in Bezug auf die Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden Gegenständen schließen? Ist ein*
141 *langer Satz. Kann auch kürzer sein: Unter welcher Bedingung, oder wann kann man*
142 *nichtselbstleuchtende Gegenstände sehen?*

143 *Agnes: Da kann man, also, wenn es von einem selbstleuchtend, ähm, Ding beleuchtet wird.*

144 *Lehrer: Genau. Ja. Also schreiben wir hin, nichtselbstleuchtende Gegenstände kann man nur sehen,*
145 *wenn...*

146 *Agnes: ...wenn es von selbstleuchtenden Dingen beleuchtet wird.*

147 *Lehrer: Ganz genau. Perfekt.*

148 15 min 41 s - 17 min 53 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im Anschluss wird
 149 die Aufgabenstellung des dritten Experiments „Beleuchtung nichtselbstleuchtender Flächen“
 150 vorgelesen und eine geeignete Position für die Beobachtung gesucht. Das kleine Loch ist nach unten,
 151 knapp über und parallel zum weißen Blatt gerichtet.

152 *Agnes: Ich seh es ja trotzdem ein bisschen.*

153 *Lehrer: Du siehst es trotzdem ein bisschen.*

154 *Agnes: Ja.*

155 *Lehrer: Aha, ist das komisch?*

156 *Agnes: Na, weil das ja auch beleuchtet, ja weil da Licht ist überall.*

157 *Lehrer: Wo ist das Licht?*

158 *Agnes: Also es schneit auf das Papier und, aber wenn es, wenn ich da bin, das Papier ist ja*
 159 *beschienen...*

160 *Lehrer: ...das Papier ist beschienen. Und was passiert mit dem Licht, das auf das Papier kommt?*

161 *Agnes: Also ist das Papier hell. Also, das Papier...*

162 *Lehrer: Aber was heißt, dass Papier ist hell? Bleibt das Licht am Papier oben liegen, oder macht das*
 163 *irgendwas anderes?*

164 *Agnes: Äh, es beleuchtet es dann... (.)*

165 *Lehrer: Was beleuchtet das Papier?*

166 *Agnes: Das Licht.*

167 *Lehrer: Das Licht beleuchtet das Papier.*

168 *Agnes: Hmhmm.*

169 *Lehrer: Und kann das Papier auch etwas beleuchten?*

170 *Agnes: Nein.*

171 *Lehrer: Nein?*

172 *Agnes: Ist nichtselbstleuchtend.*

173 *Lehrer: Ist nichtselbstleuchtend. Schau mal, geh mal daher. Geh zurück, mit dem Sessel und jetzt*
 174 *halts ganz knapp drüber. Und schau rein, sodass kein Licht von der Lampe reinkommt. (..) Siehst du*
 175 *was?*

176 *Agnes: Aber das Loch ist ja hell und scheint.*

177 *Lehrer: Das Loch ist hell und scheint, warum? Warum ist das Loch hell?*

178 *Agnes: Weil es hier unter dem Loch hell ist.*

179 *Lehrer: Ja, aber woher kommt das Licht? Kanns von der Lampe kommen, direkt?*

180 *Agnes: Nein.*

181 *Lehrer: Das geht nicht. (..)*

182 *Agnes: Ja, aber das Pa..., aber die Lampe nicht so runter scheint.*

183 *Lehrer: Die Lampe kommt da nicht hin, das siehst du eh, da ist ein Schatten.*

184 *Agnes: Ja.*

185 *Lehrer: Da kommt auf die Unterseite das Licht nicht hin. Woher, woher kommt denn das Licht in die*
186 *Röhre, das in die Röhre kommt? Wo du diesen kleinen Ring rundherum siehst? <Das kleine Loch*
187 *leuchtet aufgrund der seitlichen Einstrahlung und des ausgefranstes Umrisses wie ein Ring auf.> Und*
188 *auch die Querstange? (.) Woher könnte das kommen?*

189 *Agnes: Das Papier kann ja nicht leuchten.*

190 *Lehrer: Es kann nicht selbst leuchten.*

191 *Agnes: Aber wenn es beleuchtet wird, kann es dann leuchten? Oder das geht ja gar nicht.*

192 *Lehrer: Schau mal, siehst du diesen Schatten da oben? <Den Schattenbereich hinter der*
193 *Deckenkante.>*

194 *Agnes: Hmhmm.*

195 *Lehrer: Schau mal, was ich mach, mit dem weiße Papier. <Beleuchtet den Schattenbereich mit dem*
196 *weißen Papier.> Siehst du das?*

197 *Agnes: Ah, ja, ja, ja.*

198 *Lehrer: Was verändere ich denn?*

199 *Agnes: Der Schatten wird kleiner und größer. Also geht bei der dort hin und kommt wieder zurück.*

200 *Lehrer: Ja, schau, jetzt ist das Papier weg von der Lampe.*

201 *Agnes: Ja.*

202 *Lehrer: Jetzt ist es drunter. (..) Also was macht das Papier jetzt?*

203 *Agnes: Also es wird, es wird (..) die Lampe, also es leuchtet.*

204 *Lehrer: Das Papier leuchtet. Aber kann es von sich aus leuchten?*

205 *Agnes: Nein.*

206 *Lehrer: Nein. Das heißt, das Licht geht da drauf und dann...*

207 *Agnes ...beleuchtet das auch.*

208 *Lehrer: Schau mal, wie ist das denn mit dem Spiegel? <Beleuchtet den Schattenbereich mit dem*
209 *Spiegel.>*

210 *Agnes: Mit dem Spiegel ist jetzt ein Kreis, ja. Er geht...*

211 *Lehrer: Und, und kann das weiße Papier das Gleiche wie der Spiegel?*

212 *Agnes: Das Gleiche?*

213 *Lehrer: Schau, wenn der Spiegel das Licht da raufschickt, schau.*

214 *Agnes: Hmhmm.*

215 *Lehrer: Und das Papier?*

216 *Agnes: Schickt es auch rauf.*

217 *Lehrer: Das schickt es auch rauf. (..)*

218 *Agnes: Also das kann, das, der Spiegel kanns von, weil es beleuchtet wird, auch leuchten.*

219 *Lehrer: Ganz genau. Wir verwenden jetzt drei Begriffe, wir verwenden die Begriffe Senden,*
220 *Empfangen, Zurücksenden.*

221 *Agnes: Senden, Empfangen, Zurücksenden. Aber (?was ist) dann?*

222 *Lehrer: Ja. Also, wie kannst du dir das erklären, ja, dass das Licht von da, nach da, nach da kommt, in*
223 *Bezug auf...*

224 *Agnes: Also.*

225 *Lehrer: ...auf Senden, Empfangen, Zurücksenden.*

226 *Agnes: Also das Gleiche. <enthusiastisch> Die Lampe sendet Licht auf das Papier, das Papier tut es*
 227 *empfangen und es sendet das Licht zur Decke.*

228 *Lehrer: ...zurück. Ganz genau. Schreiben wir das auf, ja.*

229 21 min 53 s - 24 min 59 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird
 230 erwähnt, dass das Papier in dem Experiment das Licht auf die Decke sowie in die Vision Tube
 231 zurückgesendet hat. Im Anschluss wird das vierte Experiment begonnen, welches Spiegel und weiße
 232 Papier vergleicht und erwähnt, dass dies an der Decke schon gemacht wurde, die Beobachtung nun
 233 in der Vision Tube folgt.

234 *Lehrer: Du siehst die Querstange. <Unter dem kleinen Loch befindet sich das weiße Papier.>*

235 *Agnes: Genau.*

236 *Lehrer: Und jetzt sag mir, wann hab ich den Spiegel drunter. <Schiebt den Spiegel drunter.>*

237 *Agnes: Jetzt.*

238 *Lehrer: Und was siehst du anders?*

239 *Agnes: Es ist bisschen dünkler geworden.*

240 *Lehrer: Wann ist es dünkler?*

241 *Agnes: Das, wenn du den Spiegel drunter gegeben hast.*

242 *Lehrer: Hmhmm. Welcher Bereich ist dunkel?*

243 *Agnes: Also (..) (?...) das Loch und das, also das Loch und die Querstange.*

244 *Lehrer: Ist alles dunkel, oder ist ein Bereich ganz, ganz hell?*

245 *Agnes: Also das Loch ist eh hell.*

246 *Lehrer: Das Loch ist hell. Und die ganze Querstange?*

247 *Agnes: Die ist nicht so hell wie das Loch.*

248 *Lehrer: Hmhmm. Siehst du irgendwo einen Lichtpunkt auf der Querstange?*

249 *Agnes: Ja.*

250 *Lehrer: Und ist der hell, dieser Lichtpunkt?*

251 *Agnes: Ja, also nicht ganz so hell, aber man sieht ihn. <In Summe wirkt die Querstange dunkler, weil*
 252 *es einen sehr hellen Bereich gibt, der Rest im Kontrast dazu recht dunkel wirkt.>*

253 *Lehrer: Das heißt, der Lichtpunkt ist heller als jetzt, oder? <Schiebt das weiße Papier darunter.> Wenn*
 254 *nur das weiße drunter ist?*

255 *Agnes: Ja.*

256 *Lehrer: Aha. Aber jetzt is, aber ist es jetzt breit oder schmal, wenn das weiße Blatt Papier drunter ist.*

257 *Agnes: Ist breiter.*

258 *Lehrer: Ist breiter. Und wenn es mit dem Spiegel ist, ist es?*

259 *Agnes: (?Schmäler).*

260 *Lehrer: Schmal, auf einen Punkt. Ganz genau. Das ist wie da oben. <Bei der Beleuchtung des*
 261 *Schattenbereichs an der Decke.> Ja. Das ist, kann man sagen, dass sie das Gleiche machen, dass*
 262 *sie Licht empfangen und weitersenden?*

263 *Agnes: Ja, schon.*

264 *Lehrer: Und da ist die Frage: Welche Rolle spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von*
 265 *Licht? (..)*

266 Agnes: Welche Rolle, also der Spiegel, aber das hängt ja auch damit zusammen, dass der Spiegel
 267 kleiner ist als das Papier?

268 Lehrer: Ich würd nicht sagen kleiner. Wir könnten das auch mit einem kleinen Blatt Papier das
 269 machen. Aber was ist denn die besondere Eigenschaft eines Spiegels?

270 Agnes: Ah, der Spiegel, also man sieht halt, also der Spiegel (?...) zum Beispiel und der spiegelt auch
 271 das Licht oder?

272 Lehrer: Hmhm. Kannst du dich im weißen Blatt Papier spiegeln?

273 Agnes: Nein.

274 Lehrer: Geht nicht. Ja. Das, wie verstehst du gerichtetes und ungerichtetes Zurücksenden oder
 275 Weitersenden? Kannst du damit etwas anfangen?

276 Agnes: Nein.

277 Lehrer: Was heißt gerichtet?

278 Agnes: Also das Licht wird drauf gerichtet, oder? (..)

279 Lehrer: Es geht...

280 Agnes: Also das Licht richtet sich auf das Papier.

281 Lehrer: Ja, das Weitersenden, ist das gerichtetes mit dem Spiegel, was du siehst?

282 Agnes: Nein?

283 Lehrer: Nein.

284 Agnes: Weil das, weil das Pa... weil das... Doch, weil das Licht scheint ja auf...

285 Lehrer: ...das Licht scheint da drauf und es wird weitergesendet wohin?

286 Agnes: Auf die Decke.

287 Lehrer: Auf einen breiten oder einen schmalen Bereich?

288 Agnes: Schmal.

289 Lehrer: Schmal. Das heißt, könnte man sagen, das ist gerichtetes Weitersenden? Das ist quasi
 290 geordnetes, gerichtetes Weitersenden? Ja. Und das Papier tut auch weitersenden, aber...?

291 Agnes: (?...)

292 Lehrer: Aber schau, in alle möglichen Richtungen, ganz breit. Siehst du das?

293 Agnes: Ja.

294 Lehrer: Überallhin, ungerichtet. Beim Spiegel gehts so zack und beim Papier überall, ungerichtet. Ja.
 295 Das heißt, beide können das Weitersenden, aber der Spiegel macht das ungerichtet und das weiße
 296 Blatt Papier...

297 Agnes: ...gerichtet.

298 Lehrer: Ah, umgekehrt. Der Spiegel macht es gerichtet und das Weiße machts...

299 Agnes: ...ungerichtet.

300 Lehrer: Ja. Also, schreiben wir das auf.

301 28 min 23 s - 30 min 04 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

302 Lehrer: Das ist der wesentliche Unterschied, ja, zwischen so einer Fläche, die einfach weiß ist und
 303 einem Spiegel. Ja. Kann man eigentlich ganz schön sehen, dass es da Licht rauf schickt. Und am
 304 Strand, wenn du ein Buch liest, zum Beispiel, was ist da der Fall? (.) Ist es angenehm am Strand ein
 305 Buch zu lesen.

306 Agnes: Nein.

307 *Lehrer: Nein, warum?*

308 *Agnes: Also im Schatten angenehm, weil sonst ist das, ist das Papier ganz leuchtend und grell und es*
309 *ist dann nicht angenehm...*

310 *Lehrer: ...wenn du in der Sonne bist?*

311 *Agnes: Ja. Weil die Sonne leuchtet auf das Papier.*

312 *Lehrer: Und da Licht geht dann vom Papier...?*

313 *Agnes: ...zu den Augen.*

314 *Lehrer: Zu den Augen und das ist dann unangenehm.*

315 *Agnes: Hmhmm.*

316 *Lehrer: Genau. Fünftes Experiment. Schau, wir haben jetzt vorhin Papier...*

317 *Agnes: Jetzt sind wir schon da.*

318 *Lehrer: Ja, genau. Jetzt müssen wir umblättern.*

319 *Agnes: Schwarze Oberflächen.*

320 *Lehrer: Genau, wir haben jetzt eine weiße Oberfläche und die schwarze Oberfläche. Ja.*

321 *Agnes: Mit dem da <der schwarzen Mappe>... Wir machen das jetzt so, oder?*

322 *Lehrer: Glaubst du kann das Schwarze auch das Licht weiterschicken?*

323 *Agnes: Nein.*

324 *Lehrer: Nein.*

325 *Agnes: Weil das ist ja auch kein Papier und das ist Plastik.*

326 *Lehrer: Plastik.*

327 *Agnes: Hmhmm.*

328 *Lehrer: Und wäre das jetzt ein weißes Plastik? Könnte das weiße Plastik weiterschicken? (..)*

329 *Agnes: Nein.*

330 *Lehrer: Nein?*

331 *Agnes: Doch.*

332 *Lehrer: Schau mal. (..) <Agnes experimentiert mit der schwarzen Oberfläche und versucht Licht*
333 *weiterzuschicken.> Geht da was? Sieht man jetzt viel?*

334 *Agnes: Ähäh. <verneinend>*

335 *Lehrer: Geht nicht so gut. Oder gehts gar nicht?*

336 *Agnes: Es geht...*

337 *Lehrer: Schau, deswegen hab ich diese Röhre gebaut, weil mit dieser Röhre kann ich viel besser*
338 *beobachten als so. Ja. Geh mal wieder runter vom Sessel, dann geht es leichter zum Beobachten und*
339 *dann fahr ganz leicht, also ganz langsam...*

340 *Agnes: Ja.*

341 *Lehrer: Schau fest rein, halts fest zu. <Sodass durch die große Öffnung seitlich kein Licht eindringt.>*
342 *Und dann fahr von links nach rechts. Und sag mir, wann du übern Schwarzen bist. (..)*

343 *Agnes: Jetzt bin ich übern Schwarzen.*

344 *Lehrer: Jetzt bist du übern Schwarzen. Und siehst du die Querstange?*

345 *Agnes: Nein.*

346 *Lehrer: Gar nicht? (.)*

347 *Agnes: Nein. (.) <die Vision Tube wird leicht gedreht, sodass das kleine Loch noch immer nach unten*
 348 *zeigt, aber für einen besseren Einfallswinkel etwas schräg nach unten gerichtet ist> Doch, doch. Jetzt*
 349 *wieder.*

350 *Lehrer: Jetzt siehst du was, gell? Und schau mal, wie ich die Querstange halt? Geh weg, es ist direkt*
 351 *über dem Schwarzen.*

352 *Agnes: Davor hab ich sie nicht gesehen.*

353 *Lehrer: Davor hast sie nicht gesehen? Ja, weil ich es ein bisschen schlecht gehalten hab. Aber schau*
 354 *mal, ich halte es jetzt so, schau. (..) Jetzt ist das Weiße drunter.*

355 *Agnes: Aber ich sehs trotzdem.*

356 *Lehrer: Jetzt siehst dus. Und jetzt vergleich, jetzt zieh ich das Weiße gleich weg und vergleich die*
 357 *Beobachtung. <Zieht das weiße Blatt weg.> Und jetzt?*

358 *Agnes: Jetzt seh ichs nicht so gut.*

359 *Lehrer: NICHT SO GUT.*

360 *Agnes: Doch, aber ich seh es nicht so gut.*

361 *Lehrer: Aber du siehst ein bisschen was?*

362 *Agnes: Ja.*

363 *Lehrer: Aha. Und warum kannst du was sehen? Wenn das Schwarze drunter ist?*

364 *Agnes: Hmhmm. Das Schwarze, äh, tut auch ähm reflektieren.*

365 *Lehrer: Das Schwarze tut auch reflektieren.*

366 *Agnes: Aber nicht so stark.*

367 *Lehrer: Ganz genau. Perfekt. Ja. Also: Ist die Querstange sichtbar, wenn das kleine Loch sich*
 368 *oberhalb der schwarzen Fläche befindet? Ja.*

369 *Agnes: Ja. <gleichzeitig>*

370 *Lehrer: Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden? Ja.*

371 33 min 12 s - 34 min 43 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

372 *Lehrer: Wir haben ja vorhin gesagt: Das eine ist schwarz, das andere ist weiß. Ja.*

373 *Agnes: Hmhmm.*

374 *Lehrer: Wenn du da zum Beispiel herschaust, siehst du den Lichtfleck von der Lampe? <Der von der*
 375 *Glühbirne erzeugte Lichtfleck auf der schwarzen Tischfläche wird beobachtet.> Oder auch da. Wo ist*
 376 *denn der Lichtfleck von der Lampe?*

377 *Agnes: Da.*

378 *Lehrer: Und bei mir ist er? Da.*

379 *Agnes: Hmhmm.*

380 *Lehrer: Beweg dich mal bisschen hin und her, wandert dieser Lichtfleck?*

381 *Agnes: (?...) mal da.*

382 *Lehrer: Je nachdem wie das Licht von da <der Lampe> auf die Fläche und dann da rein geht <ins*
 383 *Auge>. Und wenn das Licht da ist, dann geht es sich genau in dem Winkel aus, dass es zu mir*
 384 *kommt, so.*

385 *Agnes: Ah, da geht es so und hier...*

386 *Lehrer: Genau, ich seh das hier <die schwarze Tischfläche> ganz normal dunkel und da ist bei mir so*

387 ein heller Fleck. Und wenn du dich bewegst, ja, dann wandert auch dieser helle Fleck, je nachdem wie
 388 das Licht... (.) Ja. Da kommt am meisten Licht her zu dir. Ja. Aber auch auf der Seite. OK. Letzte
 389 Frage zu dem: Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das Zurücksenden von Licht,
 390 oder Weitersenden von Licht? (6 s) Welchen Einfluss hat die Helligkeit auf das Weitersenden? (..)
 391 Wenn du einen Satz machst: Je heller eine Fläche ist, desto...?

392 Agnes: ...desto besser (.) strahlt sie das Licht ab.

393 Lehrer: ...strahlt sie das Licht weiter. Genau.

394 36 min 21 s - 38 min 06 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Es gibt eine kurze
 395 Verwirrung, da Agnes die zweite Antwort bei dem noch folgenden Experiment aufgeschrieben hat.

396 Lehrer: Was geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird? Welche der beiden
 397 Oberflächen kann theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden?

398 Agnes: Das Schwarze, oder?

399 Lehrer: Hmhmm.

400 Agnes: Also, wenn, das Schwarze wird mehr erwärmt werden.

401 Lehrer: Hmhmm.

402 Agnes: Warum?

403 Lehrer: Warum eigentlich? Hat das, kann das einen Zusammenhang haben mit dem Zurücksenden,
 404 Nichtzurücksenden?

405 Agnes: AH JA. <enthusiastisch> Das Schwarze sendet das Licht nicht so gut zurück und dann bleibt
 406 es.

407 Lehrer: Dann bleibt es auf dem Schwarzen?

408 Agnes: Ja.

409 Lehrer: Und bleibt das auf alle Ewigkeit oben?

410 Agnes: Nein, wenn man in den Schatten geht, oder wenn, oder wo, in das Dunkle, dann, dann nicht,
 411 wo kein Licht scheint, strahlt.

412 Lehrer: Wie ist denn das mit Wärme? (.) Wenn das Licht jetzt aufs Schwarze geht, nicht so gut
 413 zurücksendet das Licht, was kann das mit der Wärme zu tun haben?

414 Agnes: Weil das Licht ist ja warm.

415 Lehrer: Das Licht ist auch warm.

416 Agnes: Also das Licht ist warm und wenn das Licht auf dem Schwarzen bleibt, dann wird das
 417 Schwarze auch warm.

418 Lehrer: Hmhmm. (.)

419 Agnes: Das Weiße..

420 Lehrer: Greif mal dahin zur Lampe.

421 Agnes: Is warm.

422 Lehrer: Is auch warm. Ja. Licht und Wärme gehen immer Hand in Hand. Auch die Sonne ist sehr,
 423 sehr, sehr heiß. Ja. (..) Das heißt, das Licht, das aufs Schwarze kommt, geht auf die Fläche und
 424 wird...

425 Agnes: ...wird warm.

426 Lehrer: ...und wird zur Wärme. Ja. Wird dann in der Form von Wärme weitergeschickt. Und Wärme ist
 427 ähnlich wie Licht nur, können wir das nicht sehen, die Wärme. Wir können die Wärme nur mit einem
 428 anderen Organ fühlen. Ja. Das heißt, diese Strahlung, die auf das Schwarze kommt, verändert sich
 429 und von, aus Licht wird...?

430 Agnes: ...aus Licht wird Wärme.

431 Lehrer: Ganz genau.

432 40 min 11 s - 41 min 18 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

433 Lehrer: Das heißt, das Licht, kann man sagen, wird verschluckt, ja, wird nicht mehr zu Licht, ja. Beim
 434 Spiegel ist es so, dass das Licht direkt weitergeschickt wird. Ja, gerichtet. Beim weißen Papier wirds
 435 auch weitergeschickt, aber in möglichst verschiedene Richtungen. Beim Schwarzen wird ein bisschen
 436 was weitergeschickt und der Rest vom Licht verschluckt...

437 Agnes: ...und wird warm.

438 Lehrer: ...in Wärme umgewandelt und dann in Form von Wärme abgestrahlt.

439 Agnes: Aber wenn das lange so (?...) dann wird das Papier, das weiße doch auch warm, oder?

440 Lehrer: Es wird auch warm, aber was geht schneller?

441 Agnes: Das Schwarze.

442 Lehrer: Beim Schwarzen. Ja. Beim Schwarzen ist der Effekt des Lichtverschluckens mehr als beim
 443 Weißen. Ja. Und es kommt nicht nur auf die Farbe drauf an, sondern auch auf die Oberfläche. Raue
 444 Sachen werden zum Beispiel auch sehr, sehr heiß. Ja.

445 Agnes: Raue Sachen, raue?

446 Lehrer: Hmhmm. Raue Flächen.

447 Agnes: Raue, die dunkel sind.

448 Lehrer: Nicht unbedingt weil sie dunkler sind. Aber weil, wenn das rau ist, dann kommt das Licht nicht
 449 auf eine Fläche, sondern auf so Zacken und dann geht das viel hin und her, das heißt, es wird sehr
 450 oft...

451 Agnes: (?...)

452 Lehrer: ...empfangen und weitergesendet, ja. Und wenn das ganz, ganz glatt ist. Der Spiegel ist
 453 eigentlich eine sehr, sehr glatte Oberfläche, ist nichts anderes als eine sehr, sehr glatte Oberfläche,
 454 deswegen wird fast alles weggeschickt. Ja.

455 Agnes: Das Papier ist aber nicht so glatt wie der Spiegel.

456 Lehrer: Ist nicht so glatt wie der Spiegel, ja. Das ist klar, wenn du drüber greifst, dann merkst du es ein
 457 bisschen, dass das rau ist.

458 Agnes: Denn wenn ein Papier dann so ganz zerknüllt wäre, würde es dann heiß, ähm, schneller heiß
 459 werden?

460 Lehrer: Ein bisschen wahrscheinlich, ja. Nicht so wirklich merklich, aber ein bisschen schon. Ja.

461 Agnes: Und Licht abstrahlen würde es auch weniger, oder.

462 Lehrer: Genau. Weil, wenn das zerknüllt wäre, dann könnte ich das nicht so machen. <Mit dem
 463 Papier den Schattenbereich hinter der Deckenkante beleuchten.> Dann würde das Licht
 464 überallhingehen und nicht so nach oben, ja. Wenn das ein Knüdel wäre, dann würde das irgendwo
 465 hingehen. Ok, so. Farben. <Das siebente Experiment beginnt.> Nimm die Röhre und sag mir, ja, wann
 466 bist du beim Schwarzen, wann bist du beim Grünen, wann bist du beim Roten. Aber geh ruhig runter,
 467 schau. Am besten ist, wir halten es so schief. <Knapp über den Flächen, parallel dazu, das Loch nach
 468 unten mit einem kleinen Winkel in Richtung Lampe.>

469 Agnes: So?

470 Lehrer: Ja, genau. Und jetzt fahr da so entlang. Ja, bissl, so, ja. Und wo bist du jetzt?

471 Agnes: Über dem Schwarzen?

472 Lehrer: Und jetzt?

473 Agnes: Über dem Grünen?

474 *Lehrer: Und was siehst du auf der Querstange?*

475 *Agnes: Also bisschen, also grünliches Licht, oder?*

476 *Lehrer: Ist grünlich, ja. Das Licht ist grünlich. Und jetzt?*

477 *Agnes: Jetzt ist es rötlich.*

478 *Lehrer: Und jetzt?*

479 *Agnes: Weiß.*

480 *Lehrer: Ganz genau. Siehst du, die Querstange nimmt die Farbe an.*

481 *Agnes: Ja, weil das Licht, wenn man, wenn du damit, mit so einer Farbe das machen willst mit dem*
482 *Papier <gemeint sind die Kunststoffmappen>, dann ähm, wird das Licht, kriegt das Licht auch so eine*
483 *Farbe, oder?*

484 *Lehrer: Ganz genau.*

485 *Agnes: Und wäre da Schatten, dann hätte das dann auch eine Farbe? <In Sinne von: Einen*
486 *Schattenbereich wird mit der grünen Fläche grün beleuchtet.>*

487 *Lehrer: Ja, schau ma mal, ob ich das schaffen kann, ob ich die Wand da grün machen kann. (..) geht*
488 *nicht so gut. Aber ich kann die Querstange, die vorher weiß war, kann ich...?*

489 *Agnes: ...kann ich grün...*

490 *Lehrer: ...kann ich grün machen, weil da grünes...?*

491 *Agnes: ...Licht... <zögerlich>*

492 *Lehrer: ...Licht weggeschickt wird. Ja. Und jetzt versuchen wir, ja, uns zu überlegen, welche Rolle hat*
493 *das Zurücksenden, das Weitersenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang? (.) Bei*
494 *farbigen Flächen. Was für eine Rolle kann das Verschlucken und Weitersenden hier spielen? (..)*

495 *Agnes: Also, also das... (.) Aber die sind ja nicht so dunkel, nur die <schwarze Fläche>.*

496 *Lehrer: Sie sind nicht dunkel, sie sind nicht schwarz. Ja, aber sie sind auch nicht weiß. Sie sind was*
497 *dazwischen. Und schau, ich hab da eine schöne Grafik noch. Ja. <Das Bild Regenbogenprisma wird*
498 *gezeigt.>*

499 *Agnes: Hmhmm.*

500 *Lehrer: Da kann man weißes Licht zerlegen in seine Bestandteile. Wie bei einem Regenbogen, ja. Da*
501 *kommt das weiße Licht hin, auf so ein Prisma, dann wird das da gebrochen, sagen die Physiker, ja,*
502 *wird weggeknickt, ja, auf dieses zweite Prisma, ja, und dieser Effekt wird verstärkt, deswegen hab ich*
503 *da ein zweites. Und hier...*

504 *Agnes: Das wird immer stärker.*

505 *Lehrer: Das wird immer stärker, ja. Und dann schau, dann kommt der rote Strahl hier auf diese Ecke...*

506 *Agnes: ...die Ecke werden alle...*

507 *Lehrer: ...und die Ecke erleuchtet rot, siehst du das?*

508 *Agnes: Hmhmm.*

509 *Lehrer: Und das andere wird weitergeschickt. Ja. Das heißt, dieses weiße Licht kann zerlegt werden in*
510 *verschiedene Farben. Und stell die vor, dieser Farbstrahl fällt jetzt auf diese Fläche. Was passiert in*
511 *Bezug auf Verschlucken und Weitersenden?*

512 *Agnes: Also es wird, weil es würde dann nicht so bunt, sondern nur grünes Licht weitergesendet*
513 *werden.*

514 *Lehrer: Ganz genau. Und das andere wird?*

515 *Agnes: Und das andere wird grün? <unsicher>*

516 *Lehrer: Wenn nur das Grüne weitergesendet wird. Was passiert mit dem anderen Teil des Lichtes?*

517 *Agnes: Also das Licht ist dann schon noch, hat schon noch mehrere Farben. (..)*

518 *Lehrer: Stell dir vor, ich würde hier einen grünen Filter davor geben, eine grüne Folie, ja. Sodass nur*
519 *grünes Licht auf dieses Prisma kommt. Welche Farben hätte das Licht dann hier auf der Seite,*
520 *nachdem es gebrochen wurde?*

521 *Agnes: Ich glaub, die Gleichen.*

522 *Lehrer: Auch alle verschiedenen Farben?*

523 *Agnes: Hmhmm?*

524 *Lehrer: Hmhmm?*

525 *Agnes: Grün.*

526 *Lehrer: Es bleibt nur grün. Das heißt, bei einer grünen durchsichtigen Fläche kommt nur Licht durch,*
527 *das... (.) grün ist. Bei einer undurchsichtigen Fläche, da geht da zwar nix durch, ja, deswegen können*
528 *wir da einen Schatten machen. Aber es wird Licht weitergesendet, wie du vorhin gesagt hast, es wird*
529 *grünes Licht weitergesendet. Seh ich ja hier auch an dieser weißen Querstange, die ist auf einmal*
530 *grün. Und alle anderen Farben werden?*

531 *Agnes: Werden auch, das gleiche wie bei der grünen Farbe auch.*

532 *Lehrer: Können die weitergesendet werden?*

533 *Agnes: Ja, die werden von dem zu dem weitergesendet. <Auf dem Bild Regenbogenprisma.>*

534 *Lehrer: Aber das ist ein Glas, schau, das ist ein Unterschied zwischen Glas...*

535 *Agnes: Na gespiegelt.*

536 *Lehrer: Zwischen Glas, dass das bricht, ja.*

537 *Agnes: Oder?*

538 *Lehrer: Oder einer Fläche, die quasi, wo das draufkommt und weitergesendet wird. Wie bei einem,*
539 *also ähnlich wie bei einem Spiegel, es geht ums Weitersenden. Ja. Und wenn jetzt hier nur grünes*
540 *Licht hier reinkommt, muss mit dem anderen Licht irgendwas passieren. Beim Schwarzen ist es so,*
541 *dass das Licht draufkommt und der Rest wird...?*

542 *Agnes: Der Rest? (.) Der bleibt dort.*

543 *Lehrer: Der wird verschluckt und in Wärme umgewandelt. Ja. Und bei einer grünen Fläche wird das*
544 *grüne Licht weitergeschickt...*

545 *Agnes: ...und das andere in Wärme umgewandelt.*

546 *Lehrer: Und das andere in Wärme umgewandelt. Ganz genau. Also schreiben wir auf.*

547 48 min 30 s - 51 min 40 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird Agnes
548 aktiv in das Formulieren der Sätze eingebunden und kann das richtige Konzept sowie die passenden
549 Begriffe anwenden. Im Anschluss wird die Schnur der tropfenförmigen Kristallglaskugel mit einer
550 Vielzahl an Facetten entwirrt.

551 *Lehrer: Schau mal, ich hab da das weiße Blatt. Und das <die tropfenförmige Kristallglaskugel> ist was*
552 *Ähnliches wie hier, nur ist es nicht dreiecksförmig, sondern es ist eine Kugel und kann das auch...*

553 *Agnes: Vielecksförmig.*

554 *Lehrer: Hmhmm.*

555 *Agnes: Das ist vielecksförmig.*

556 *Lehrer: Vielecksförmig, ganz genau. <lacht> Ganz genau, ein Vieleck ist das. Ja.*

557 *Agnes: Und wenn das da draufgelegt wird, oder?*

558 *Lehrer: Schau mal an mein, an einigen Stellen (.) ist es weiß...*

559 *Agnes: Ja, das sind so, das ist da bunt, so bisschen.*

560 *Lehrer: Ja, warte. (?...) genau. Schau, ja. (.) <Es wird versucht im Schattenbereich der Hand möglichst*
561 *deutlich die Regenbogenfarben zu zeigen.> Wo siehst du es bunt?*

562 *Agnes: Da am Rand.*

563 *Lehrer: Da. Hmhm. So, und jetzt geh ich mit dem Bunten, was passiert, wenn ich damit aufs Rote*
564 *geh?*

565 *Agnes: Sie werden rot. Oder? Sind dann nimmer bunt.*

566 *Lehrer: Die sind dann nimmer bunt, ist nur noch?*

567 *Agnes: Rot.*

568 *Lehrer: Und jetzt geh ich daher.*

569 *Agnes: Grün.*

570 *Lehrer: Ist nur noch grün. Ja.*

571 *Agnes: Und am Weißen ist es bunt.*

572 *Lehrer: Am Weißen ist es bunt, das kann alle Farben wegschicken. Und das Grüne kann nur...?*

573 *Agnes: ...Grün wegschicken.*

574 *Lehrer: Und das Rote?*

575 *Agnes: Nur Rot.*

576 *Lehrer: Ganz genau. Wenn du reinschaust, siehst du auch über all die vielen Farben.*

577 *Agnes: Ja, die sind jetzt auch bunt.*

578 *Lehrer: Ist auch bunt, ja.*

579 *Agnes: Über Metall, würde es über Metall auch gehen oder über irgendwas anderes?*

580 *Lehrer: Ach, Metall ist gräulich. Ja. Und alles, was nur so weiß-schwarz ist, kann immer alle Farben*
581 *wegschicken. Ja. Je gräulicher oder schwärzer es wird, umso schlechter. Ja. Auch hier beim*
582 *Schwarzen, schau. Siehst du auch bunte Flächen.*

583 *Agnes: Jaaa.*

584 *Lehrer: Ja, siehst du das?*

585 *Agnes: Ja.*

586 *Lehrer: Teilweise gar nicht so schlecht, weil das glänzt ja auch irgendwie. Da ist ja ein Lack oben, der*
587 *relativ gut Licht wegschicken kann, ja. Aber beim Grünen ist es so, dass man da hauptsächlich nur*
588 *grünes Licht weiterschicken kann. Ja.*

589 53 min 26 s - 54 min 22 s: Die tropfenförmige Kristallglaskugel wird Agnes als kleines Geschenk fürs
590 Mitmachen gegeben und ihr erklärt, wo sie es am besten aufhängen kann. Im Anschluss wird die
591 Aufgabenstellung der zweiten Analyse und Zusammenfassung vorgelesen. Dabei wird betont, dass
592 die elementarisierten Begriffe ähnlich sind wie die Fachbegriffe, letztere aber exakter.

593 *Agnes: Emi..., emi...*

594 *Lehrer: Emission steht da.*

595 *Agnes: Italienische.*

596 *Lehrer: Italienisch <eigentlich steht lateinisch> für emittiere, Aussenden? Und jetzt ist die Frage, wo*
597 *beobachtest du das. Ja. Wo beobachtest du emittieren, ja? Aussenden? Was kann Licht aussenden?*

598 *Agnes: Was kann Licht? Also das Papier kann Licht aussenden? Oder?*

599 *Lehrer: Kann es aussenden oder weitersenden?*

600 *Agnes: Weitersenden.*

601 *Lehrer: Ganz genau. Also Papier kann nicht Emission machen, nur weitersenden. Aber was kann*
602 *Emission machen? (..)*

603 *Agnes: Was kann... (..) auch senden, aber irgendwas anderes. Oder?*

604 *Lehrer: Was kann von sich aussenden? (8 s) Haben wir ganz am Anfang uns überlegt. Welche Dinge*
605 *können Licht von sich aus senden.*

606 *Agnes: AH JA, die Selbstleuchtenden.*

607 *Lehrer: Die Selbstleuchtenden, ja. Also, Emission beobachte ich bei...?*

608 *Agnes: Selbstleuchtenden.*

609 *Lehrer: Bei selbstleuchtenden Gegenständen, wie...? (.) Zum Beispiel...*

610 *Agnes: ...eine Lampe.*

611 *Lehrer: Genau. Schreiben wir das auf.*

612 55 min 39 s - 56 min 35 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

613 *Lehrer: So, jetzt haben wir hier vier Fragen. Reflexion, Streuung, Unterschied zwischen Reflexion und*
614 *Streuung und Gemeinsamkeit zwischen Reflexion und Streuung, ja. Reflexion wird übersetzt mit*
615 *Zurücksenden, ja. Und Streuung in alle Richtungen verteilen. Wo hast du das beobachten können?*
616 *Wo wurde reflektiert und wo wurde gestreut?*

617 *Agnes: Reflektiert wurde beim Spiegel und beim Papier.*

618 *Lehrer: Beim Spiegel. Auch beim Papier?*

619 *Agnes: Hä?*

620 *Lehrer: Wurde beim Papier in alle Richtungen verteilt oder reflektiert?*

621 *Agnes: In alle Richtungen verteilt.*

622 *Lehrer: Das heißt, beim Papier müsste man von Streuung sprechen.*

623 *Agnes: Ja. Ah ja.*

624 *Lehrer: Also können wir schreiben, Reflexion beobachte ich beim Spiegel.*

625 *Agnes: Und Streuung beobachte ich beim Papier.*

626 *Lehrer: Beim Papier, genau.*

627 57 min 28 s - 57 min 50 s: Das Erarbeitete wird selbstständig von Agnes aufgeschrieben.

628 *Lehrer: Was ist der Unterschied zwischen Reflexion und Streuung?*

629 *Agnes: Reflexion ist, wenn es auf einen Punkt...*

630 *Lehrer: Hmhmm.*

631 *Agnes: ... geh..., ähm, gestrahlt wird. Also gesendet. Und, und Streuung ist, wenn es nicht auf einen*
632 *Punkt, sondern auf mehrere Stellen. Weil beim Papier war es da überall.*

633 *Lehrer: Hmhmm. Wars überall. Ganz genau. Also schreiben wir hin. Der Unterschied liegt im...? (.)*
634 *Wie haben wir gesagt? (..) Gerichteten und...*

635 *Agnes: Gerichteten und ungerichteten...*

636 *Lehrer: ...Weitersenden von Licht.*

637 58 min 25 s - 59 min 15 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

638 *Lehrer: Und was ist gemeinsam?*

639 *Agnes: Gemeinsam? Also, dass sie bei ihnen, (.) ähm (.) und bei dem gerichteten und ungerichteten?*

640 *Lehrer: Bei Streuung und Reflexion...*

641 *Agnes: ...also bei dem...*

642 *Lehrer: ...was ist gemeinsam? Der Unterschied ist: Das eine ist gerichtet und das andere ungerichtet.*

643 *Agnes: Ja, das...*

644 *Lehrer: Und gemeinsam haben sie?*

645 *Agnes: Ähm, dass sie beide reflektieren.*

646 *Lehrer: Genau. Dass sie beide vorher Licht (.) empfangen müssen, dass sie dann...?*

647 *Agnes: Dass sie dann reflek..., dass sie dann reflektieren können.*

648 *Lehrer: Genau. Dass sie dann weitersenden. Gemeinsam haben sie, dass sie Licht empfangen und*

649 *weitersenden.*

650 59 min 54 s – 1 h 00 min 23 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

651 *Lehrer: Ja, Absorption. Das letzte, bevor wir noch eine kleine Pause machen. Absorption,*

652 *Aufsaugung, beobachte ich...? Wann wurde was aufgesaugt, verschluckt?*

653 *Agnes: Also wenn, wenn die Fläche dunkel ist.*

654 *Lehrer: Dunkel und wo noch?*

655 *Agnes: Wenn sie rau ist.*

656 *Lehrer: Wenn sie rau ist. Wie war das mit den Farben, hat das auch eine Rolle gespielt, dort??*

657 *Agnes: Ja.*

658 *Lehrer: Ja.*

659 1 h 00 min 54 s - 1 h 03 min 07 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird

660 ergänzt, dass das absorbierte Licht in Form von Wärme wieder abgestrahlt wird. Im Anschluss wird

661 eine kleine Pause gemacht und die Aufzeichnung gestoppt. Nach der Pause wird die

662 Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Finsternis in deinem Alltag" vorgelesen. Agnes kennt

663 die Situation ganz gut und weiß, dass dann nur noch Umriss ganz leicht wahrgenommen werden

664 können. Die beiden Aussagen werden zu Einschätzung vorgelesen.

665 *Lehrer: Was glaubst du von den beiden Sachen ist richtig?*

666 *Agnes: Ich glaub das Erste.*

667 *Lehrer: Dass die hellen Gegenstände eine eigene Leuchtkraft haben.*

668 *Agnes: Nein. Wenn, wenn was drauf (?sch...) dann das Selbstleuchtende.*

669 *Lehrer: Nur wenn was selbstleuchtendes draufscheint?*

670 *Agnes: Ja.*

671 *Lehrer: Hmhmm. Woher könnte das Licht denn kommen, das auf die Hellen drauf scheint? Wenn der*

672 *Mond unter gegangen ist und die Sonne und...?*

673 *Agnes: Das man die Hellen besser sehen kann.*

674 *Lehrer: Ja, aber wa..., wodurch kann man die besser sehen? Brauchen die Licht, um gesehen zu*

675 *werden?*

676 *Agnes: Hmhmm. <bejahend>*

677 *Lehrer: Können die von alleine leuchten?*

678 Agnes: Nein.

679 Lehrer: Nein, also, also ein, eines von beiden. Entweder brauchen sie Licht, um gesehen zu werden...

680 Agnes: ...sie brauchen Licht.

681 Lehrer: Ja, das heißt, sie können nicht von alleine leuchten. Woher kriegen sie das Licht in der
682 Finsternis? (7 s) Draußen, wenn du irgendwo spazieren gehst?

683 Agnes: Ich weiß nicht.

684 Lehrer: Was für Möglichkeiten gibts denn da?

685 Agnes: Wenn es dunkel ist... Hmhmm. So irgendein leuchtender Käfer, also diese, wie heißen die,
686 diese Tiere, die so leuchten können.

687 Lehrer: Hmhmm. Die Glühwürmchen?

688 Agnes: Ja, die Glühwürmchen.

689 Lehrer: Aha, da bräucht es wahrscheinlich ganz viele davon.

690 Agnes: Hmhmm. Oder nein, der Mond auch nicht.

691 Lehrer: Der Mond ist untergegangen...

692 Agnes: Sterne gibt es.

693 Lehrer: DIE STERNE gibt es, ganz genau. Die Sterne sind auch noch da. Und wie ist das mit der
694 Lichtverschmutzung? Schon mal gehört davon?

695 Agnes: Nein. Die Sterne leuchten ja auch.

696 Lehrer: Die Sterne leuchten auch, ja. Und die Stadt, die ist normalerweise <in dem Beispiel> weit weg,
697 leuchtet die auch noch?

698 Agnes: Ja.

699 Lehrer: Die leuchtet auch noch und Licht kommt bis daher. Wenn du jetzt irgendwo am Land bist und
700 du schaust von der Weite auf die Stadt, dann ist da so eine richtiger...

701 Agnes: ...leucht...

702 Lehrer: ...Leuchtkugel um die Stadt.

703 Agnes: Ja.

704 Lehrer: Die strahlt auch überall hin. Und die Sterne. Ja.

705 Agnes: Ja, weil es ist doch fast überall die Leuchtenden. Weil...

706 Lehrer: Also, absolute Dunkelheit, ist das möglich im Alltag?

707 Agnes: Nein.

708 Lehrer: Ist nicht möglich.

709 Agnes: Nein.

710 Lehrer: Ja. Also schreiben wir auf, Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass...

711 Agnes: Aber es würde eigentlich gehen. Wenn, wenn der Strom ausfällt und wenn die Wolken, wenn
712 man keinen Himmel sieht, weil so viele Wolken vorm Himmel sind.

713 Lehrer: Wenn gar kein Strom mehr da ist und es so dicke Wolken gibt, dass nicht einmal die Sterne
714 durchkommen...

715 Agnes: Ja.

716 Lehrer: ...dann gehts. Ja. Dann gehts schon. Oder eben hier, in dieser Vision Tube, deshalb hab ich
717 das so gut eingewickelt. Ja. Wenn da wirklich alles ganz dicht ist, dann ist es finster, ja. Deswegen

718 *hab ich das so gebaut, dass da nix reingeht, außer durch das kleine Loch. Und wenn ich es zuhält, ist*
 719 *es auch ganz finster. Aber im Alltag ist es meistens so, dass immer irgendein bisschen ein Licht ist. Also*
 720 *schreiben wir hin: Finsternis in unserem Alltag bedeutet, dass...*

721 *Agnes: ...dass...*

722 *Lehrer: ...nur noch wenig Restlicht vorhanden ist.*

723 1 h 06 min 52 s - 1 h 07 min 31 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

724 *Lehrer: Umrisse sehen wir, weil...?*

725 *Agnes: ...weil, ähm (..) weil, die Sterne...*

726 *Lehrer: Hmhmm.*

727 *Agnes: ...und, also weil das Restlicht...*

728 *Lehrer: Hmhmm.*

729 *Agnes: ...das Restlicht auch, ähm, leuchtet.*

730 *Lehrer: Weil das Restlicht worauf leuchtet?*

731 *Agnes: Auf die, ähm (..)*

732 *Lehrer: Was sieht man besser in der Finsternis?*

733 *Agnes: Auf die hellen Sachen leuchtet...*

734 *Lehrer: Ja.*

735 *Agnes: ...auf helle Gegenstände leuchtet.*

736 *Lehrer: Und die hellen können das Restlicht....?*

737 *Agnes:ähm, reflektieren.*

738 *Lehrer: ...besser reflektieren. Genau.*

739 1 h 08 min 09 s - 1 h 10 min 30 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im
 740 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Funktionsweise deines Auges"
 741 von Agnes vorgelesen. Auch die Aussagen liest sie selbst vor.

742 *Agnes: Ich glaub (.) es ist drei.*

743 *Lehrer: Drei ist richtig?*

744 *Agnes: Ich glaube.*

745 *Lehrer: Hmhmm. Was steht bei drei? Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen.*
 746 *Hmhmm. (..) Wenn du das Modell des Auges anschaust, wo wird denn da Licht empfangen, da rechts*
 747 *unten?*

748 *Agnes: Ähm. Das Auge.*

749 *Lehrer: Hmhmm.*

750 *Agnes: Da, in dieser schwarzen, in diesen, in der Pupille.*

751 *Lehrer: Hmhmm. Wird da Licht empfangen?*

752 *Agnes: Ja, also. In den Ringmuskel glaub ich, kommt das dann rein.*

753 *Lehrer: Also die Pupille ist ein Loch.*

754 *Agnes: Ja.*

755 *Lehrer: Das ist ein Loch...*

756 *Agnes: Ein Loch.*

757 *Lehrer: ...wo eigentlich...*

758 *Agnes: ...Licht rein kommt.*

759 *Lehrer: ... keine farbige Iris ist. Das ist keine Fläche, sondern das ist eigentlich ein Bereich, wo nix ist.*

760 *Agnes: Ja, also. Ja, dann ist da ein Loch, das Schwarze und das geht dann da rein...*

761 *Lehrer: Hmhmm.*

762 *Agnes: ...und da drinnen ist halt dann das man sieht, oder?*

763 *Lehrer: Aber wo sieht man was? Das ist eine Linse, die ist undurchsichtig, ah, die ist durchsichtig, das*
764 *ist ein Glaskörper, der ist auch durchsichtig. Ja. Und wo wird das Licht dann empfangen?*

765 *Agnes: Also das Licht wird (..) vonnnn (..) von der Iris, nein von der Pupille, oder?*

766 *Lehrer: Die Pupille ist ein Loch...*

767 *Agnes: Ja.*

768 *Lehrer: ...wo keine Iris ist, da geht das Licht durch. Ja. Wenn du das jetzt vergleichst, mit der Vision*
769 *Tube. Wo wäre die Pupille?*

770 *Agnes: Die Pupille wäre das Loch.*

771 *Lehrer: Das kleine Loch.*

772 *Agnes: Ja.*

773 *Lehrer: Da geht das Licht hinein.*

774 *Agnes: Ja.*

775 *Lehrer: Ja. So ist das auch bei der Pupille, da ist einfach nur ein Loch, wo rundherum die Iris ist und*
776 *dort, wo sie nicht ist...*

777 *Agnes: ...dort ist ein Loch.*

778 *Lehrer: ...ein Loch. Und manchmal, wenn es finster ist, dann geht die Pupille...?*

779 *Agnes: Dann wird die größer.*

780 *Lehrer: Dann wird die größer, damit...*

781 *Agnes: ...damit mehr Licht reinkommt.*

782 *Lehrer: ...damit mehr Licht hineinkommt. Also eigentlich ist das ein Loch. Ja. In einem Loch, in einem*
783 *Loch kann nix empfangen werden, oder?*

784 *Agnes: Nein.*

785 *Lehrer: Und im Glaskörper wird das Licht durchgeschickt. Oder?*

786 *Agnes: Ja.*

787 *Lehrer: Und auch bei einer, bei einer Linse, ja, bei einer Linse, wenn du eine Lupe hast, dann geht*
788 *das Licht durch. Das wird zwar abgelenkt, ja, und durch den Ringmuskel kann die Linse verändert und*
789 *je nachdem scharf gestellt werden, ja, wie beim Fotoapparat wird die Linse verändert und dann kann*
790 *man scharf seh... scharf stellen. Durchs Glas, durch den Glaskörper gehts gut durch und wo trifft es*
791 *dann auf? In welchem Bereich? Wenn das Licht hier hineinkommt...*

792 *Agnes: ...kommt es irgendwie Linse, oder irge... oder von der glaub ich kommt es in den Glaskörper.*
793 *<ganz enthusiastisch>*

794 *Lehrer: In den Glaskörper, da geht es aber durch, haben wir gesagt, und geht dann wohin?*

795 *Agnes: Und geht da in den Sehnerv...*

796 *Lehrer: Der Sehnerv ist dahinter. Und was ist davor? Was ist die grüne Fläche da.*

797 Agnes: Ah, die Netzhaut.

798 Lehrer: Die Netzhaut, ganz genau. Und die Netzhaut, was macht die Netzhaut mit dem Licht?

799 Agnes: Die tut das Licht, ähm... (..), die tut das Licht, ähm... (..) Sie macht was mit dem Licht, oder?

800 Lehrer: Ja. Sie tut das Licht...

801 Agnes: Das Licht filtern, vielleicht.

802 Lehrer: Empfangen tuts das Licht.

803 Agnes: Empfangen.

804 Lehrer: So...

805 Agnes: Aber wenn...

806 Lehrer: Hmhmm.

807 Agnes: ...wenn das Licht nur bis da ist, dann sieht man das ja nicht.

808 Lehrer: Nein, das ist ja aus Glas. Das geht ja hindurch. Das geht durch die Linse hindurch, wie bei

809 einer Lupe, da geht das Licht ja auch durch. Durchs Glas gehts auch durch. Und dann hast du hier

810 außen rundherum, ja, schau. Hier sieht man es ein bisschen besser, ja. <Zeigt die detailliertere Grafik

811 "Aufbau Auge".> Da hast du die Iris, ja. Da wo keine Iris ist, ist die Pupille. Dann ist da ein

812 durchsichtiger Körper, die Linse. Und dann hast du hier den Glaskörper. Und hier, da, da ist die

813 Netzhaut, die ist über die ganze Innenkugel da gestülpt. Und je nachdem, wo das Licht hinfällt, ja. Und

814 hier sitzen die Sensoren. Wo sitzen denn die Sensoren fürs Riechen?

815 Agnes: In der Nase, vielleicht.

816 Lehrer: Wo in der Nase? (..)

817 Agnes: Die Sensoren... Wenn man... Nicht da vorne, sondern hier.

818 Lehrer: Da oben, da oben.

819 Agnes: Hier eben.

820 Lehrer: Und wo sitzen die Sensoren fürs Hören?

821 Agnes: Da oder?

822 Lehrer: Außen am Ohr?

823 Agnes: Nein, drinnen, also da drinnen.

824 Lehrer: Innen drinnen in der, in der Hörmuschel. Ja. Und die Sensoren fürs, für Wärme?

825 Agnes: Was? Die Sensoren für Wärme?

826 Lehrer: Wo sitzen die? (..)

827 Agnes: Wärme kann man doch überall spüren?

828 Lehrer: Auch auf den Zähnen?

829 Agnes: Nein... Doch, doch. Kann man. Im Mund vielleicht.

830 Lehrer: Da vielleicht? Also Wärme kann man fast überall spüren. Spüren auf der Haut. Ja. Die Haut

831 hat Sensoren für...? (.) Die Wärme

832 Agnes: ...für die Wärme und Kälte.

833 Lehrer: Und Kälte, ja. Genau.

834 1 h 15 min 53 s - 1 h 18 min 45 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei wird

835 der Sehstrahl, der in Comics gelegentlich zu sehen ist, erwähnt. Auch noch mal betont, dass für das

836 Sehen von Gegenständen immer Licht von ihnen ausgehen muss, welches in das Auge fällt und von

837 der Netzhaut wahrgenommen wird. Agens merkt an, dass ja auch dunkle Flächen Licht aussenden,

838 jedoch nicht so viel zurücksenden können wie helle Flächen.

839 *Lehrer: Die Netzhaut ist was für einem Bauteil ähnlich, von der Vision Tube?*

840 *Agnes: Die Netzhaut ist... (.)*

841 *Lehrer: Wo wurde hier Licht empfangen? (.)*

842 *Agnes: Ähm, auf der Queeeeer(.)stange? <unsicher>*

843 *Lehrer: Hmhmm. Ganz genau. Weil, wenn das, wenn wir es übers Grüne gehalten haben, dann war*
 844 *das für uns eine Art Sensor für grünes Licht. Ja. Dann ist das grün gewesen, ja. Also schreiben wir*
 845 *hin.*

846 1 h 19 min 09 s - 1 h 21 min 25 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im
 847 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Mond und Äpfel im Sonnenlicht"
 848 vorgelesen.

849 *Lehrer: In welcher Ecke des Bildes steht die Sonne? (.) Von wo wird Apfel und Mond beleuchtet?*

850 *Agnes: Von hier.*

851 *Lehrer: Ja, das ist welche Ecke?*

852 *Agnes: Das ist die linke obere Ecke.*

853 1 h 21 min 38 s - 1 h 22 min 16 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

854 *Lehrer: Ok, so. Dann sind noch zwei Sachen, die können wir vielleicht auf einmal beantworten. Ja,*
 855 *inwiefern ist die Beleuchtungssituation des Apfels und des Mondes gleich? (.)*

856 *Agnes: (?...)*

857 *Lehrer: Sind die gleich oder gleich oder unterschiedlich?*

858 *Agnes: Gleich.*

859 *Lehrer: OK. Das heißt, das Licht kommt von links oben. Und die zweite Frage ist: Warum ist die*
 860 *Schattenseite des Apfels sichtbar? Wenn das Licht eigentlich von links oben kommt und da unten kein*
 861 *Licht von der Sonne hinkommt?*

862 *Agnes: Hmhmm. (.) Weil... (.) Weil der Apfel näher ist als der Mond? (10 s)*

863 *Lehrer: Welche Rolle spielt die Umgebung dabei?*

864 *Agnes: Also die Farbe vielleicht? (.) Nein.*

865 *Lehrer: Das Licht kommt von da oben auf den Apfel drauf...*

866 *Agnes: Ja.*

867 *Lehrer: ...deswegen ist es hier hell. Auf der Unterseite ist es dunkel, da kommt kein Licht direkt hin.*
 868 *Aber ich kann es trotzdem sehen.*

869 *Agnes: Aber vielleicht... Hmhmm, na...*

870 *Lehrer: Warum kann ich das da unten sehen? Weil beim Mond kann ich das da unten nicht sehen. Da*
 871 *ist er einfach abgeschnitten, die seh ich nicht die Rückseite, also die Schattenseite ist nicht sichtbar.*
 872 *Aber die Schattenseite vom Apfel ist sichtbar. (.) Warum kann ich den Schatten da sehen? (7 s)*
 873 *Welche Rolle spielt die Umgebung?*

874 *Agnes: Ähm. Wie, welche Rolle, äh. Da ist ein Apfel...*

875 *Lehrer: Was noch?*

876 *Agnes: Blätter.*

877 *Lehrer: Blätter. Ja, was machen die Blätter zum Beispiel?*

878 *Agnes: Die machen, die tun den Apfel beschatten. Also den einen schon. Aber was tun sie noch?*

879 *Lehrer: Ja, was tun sie noch?*

880 *Agnes: Aber im Bild braucht man sie ja eigentlich nicht, oder?*

881 *Lehrer: Wenn ich jetzt den Apfel in den Weltraum geben würde, genauso wie den Mond...*

882 *Agnes: Hmhmm.*

883 *Lehrer: ...dann könnte ich Schattenseite nicht mehr sehen.*

884 *Agnes: Wegen der Seh..., wegen der Schwerkraft vielleicht?*

885 *Lehrer: Hmhmm. Na. Licht und Schwerkraft hat direkt nichts zu...*

886 *Agnes: Ähm, weil es dort keinen, ähm Raum oder irgendso...*

887 *Lehrer: Weil es keinen Raum gibt, ja, es gibt nix drum herum. Aber was machen diese Blätter da. Die*
888 *da so rund um den Apfel sind? Diese helle Fläche zum Beispiel?*

889 *Agnes: Die ist beleuchtet und reflektiert.*

890 *Lehrer: Die reflektiert das Licht wohin?*

891 *Agnes: Richtung Apfel.*

892 *Lehrer: Zum Apfel hin. Das heißt...*

893 *Agnes: Und deswegen sieht mans!*

894 *Lehrer: Deswegen sieht mans, ganz genau. Ja. Weil das Licht von der Umgebung, von überall, von*
895 *allem was da ist, ja, ja, auch da zum Beispiel die Tür, ja, wenn die Tür da ist, die lenkt Licht in diesen*
896 *kleinen Raum hinein.*

897 *Agnes: Ja, weil die Wand auch reflektiert.*

898 *Lehrer: Die Wand von der Tür kann reflektieren, die Blätter können reflektieren und die beleuchten*
899 *jetzt die Schattenseite.*

900 *Agnes: Und im Weltraum kann nix reflektieren.*

901 *Lehrer: Ganz genau. Nur manchmal ist es so, dass wenn an ganz, ganz klaren Tagen, dann sieht man*
902 *ein bisschen die Schattenseite vom Mond. Das liegt dran, weil die Erde ja auch Licht ins Weltall*
903 *zurückschickt. Ja. Die leuchtet ja auch, sonst würde man die Erde nicht sehen können. Und die*
904 *beleuchtet dann ein bisschen die Schattenseite vom Mond. Aber da muss es wirklich ein sehr, sehr*
905 *klarer Tag sein, ja. Aber wir wissen, wenn kein Licht hingeschickt wird, können wir nix sehen. Ja.*

906 *1 h 25 min 42 s - 1 h 27 min 24 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im*
907 *Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Lichtausbreitung einer Kerze"*
908 *vorgelesen.*

909 *Lehrer: In welche Richtungen breitet sich das Licht aus?*

910 *Agnes: Also, in jede Richtung.*

911 *Lehrer: Also du hast einen Bleistift... In jede Richtung. Ja. Zeichne es ein. Die Richtung mit Linien und*
912 *Pfeilen sozusagen.*

913 *Agnes: So. <Zeichnet Linien radial in alle Richtungen von der Kerze ausgehend.>*

914 *Lehrer: Hmhmm. Hmhmm. Und wenn du einen Pfeil machen würdest? <Agnes zeichnet einen Pfeil*
915 *am Ende der Linie, welche jedoch nur 1/3 der Strecke umfasst.> Hmhmm. Und wie weit geht das?*

916 *Agnes: Das geht so. <Zeichnet die Linie bis zum Stein und einen weiteren Pfeil ein.>*

917 *Lehrer: Hmhmm.*

918 *Agnes: Und da kann es dann nimmer weiterscheinen.*

919 *Lehrer: Da kann es nimmer weiterscheinen. Ja, also es geht nicht durch den Stein hindurch. Und von*
920 *dort aus?*

921 Agnes: *Da ist ein Schatten.*

922 Lehrer: *Auf der Rückseite ist ein Schatten. Bleibt das Licht dort oben liegen?*

923 Agnes: *Neeein. (.) Doch? (..) Der Stein, ich weiß gar nicht ob das... Das bleibt nicht dort liegen. (8 s)*

924 Lehrer: *Wann kannst du den Stein sehen?*

925 Agnes: *Den Stein kann sehen, wenn er beleuchtet wird.*

926 Lehrer: *Wenn er beleuchtet ist. Reicht das Beleuchten alleine aus?*

927 Agnes: *Ja.*

928 Lehrer: *Oder muss noch was anderes passieren? (..)*

929 Agnes: *Nein, es muss nur beleuchtet werden.*

930 Lehrer: *So, dass das Licht bleibt hier oben liegen?*

931 Agnes: *Ja.*

932 Lehrer: *Hmhmm.*

933 Agnes: *Nein. Er wird zurück... (.) reflektiert.*

934 Lehrer: *Wohin?*

935 Agnes: *Zur Kerze.*

936 Lehrer: *Auch zur Kerze. Ja.*

937 Agnes: *Oder nach oben.*

938 Lehrer: *Nach oben, ja, in alle möglichen Richtungen, ungerichtet. Ja. Zeichne das mal ein. <Zeichnet*

939 *halbkreisförmig radiale Lichtstrahlen ausgehend von der Steinoberfläche.> Auch wohin? (.)*

940 Agnes: *Auch zur Kerze.*

941 Lehrer: *Und unter welchen Um..., und unter welcher Bedingung kannst du es sehen?*

942 Agnes: *Ich kann... (.)*

943 Lehrer: *Was muss passieren, dass du den Stein sehen kannst?*

944 Agnes: *Der Stein muss zurück in mein Auge reflektieren. Also so, tststs... <Zeichnet eine Linie bis zum*

945 *Auge hin.>*

946 Lehrer: *Genau. Und jetzt mach noch einen Pfeil dazu. In dein Auge hinein, ganz genau. Ja. Stelle dir*

947 *statt dem Stein einen Spiegel vor! Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel dich blenden?*

948 Agnes: *Weil das Licht in den Spiegel scheint und das Licht reflektiert dann in mein Auge.*

949 Lehrer: *Und wenn es neben dein Auge leuchtet?*

950 Agnes: *Dann... (..)*

951 Lehrer: *Schau mal, probieren wir mal. (.) So, schau mal rein. Und was siehst du jetzt? <Das von der*

952 *Lampe reflektierte Licht wird bewusst neben Agnes geworfen.>*

953 Agnes: *Ich seh jetzt kein Licht. Und jetzt seh ich...*

954 Lehrer: *Und jetzt siehst du?*

955 Agnes: *Ich seh die Decke.*

956 Lehrer: *Die Decke, ja. Da heißt das Licht von der Decke kommt in dein Auge. Und jetzt? <Blendet*

957 *Agnes kurz.>*

958 Agnes: *Jetzt kommst in mein Auge.*

959 Lehrer: *Wuhh. Und jetzt kommt das Licht so von der Lampe über den Spiegel in dein Auge.*

960 1 h 30 min 14 s - 1 h 30 min 55 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Parallel wird
 961 der jüngeren Schwester von Agnes die Vision Tube gezeigt. Sie und ihr Vater sind schon gekommen,
 962 um sie abzuholen.

963 *Lehrer: Wieso kann der Stein dich nicht blenden?*

964 *Agnes: Weil der Stein, ähm... (8 s) Weil der Stein nicht so wie der Spiegel <ganz enthusiastisch> nicht*
 965 *wie der Spiegel in eine, wie das Papier...*

966 *Lehrer: Genau.*

967 *Agnes: Weil das Papier kann mich ja auch nicht blenden, aber Spiegel schon.*

968 *Lehrer: Der Spiegel schon, weil es...*

969 *Agnes: Weil das Papier, weil das Papier so streut und...*

970 *Lehrer: Ganz genau. Schreiben wirs auf.*

971 1 h 31 min 32 s - 1 h 32 min 13 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

972 *Lehrer: Perfekt. Ganz genau. Wunderbar. (..) Ja. Aber der Stein sendet Licht zurück. Der Spiegel*
 973 *sendet Licht zurück. Der macht das in alle Richtungen, ja, der Spiegel macht das in eine Richtung und*
 974 *das sehr, sehr gut.*

975 1 h 32 min 29 s - 1 h 32 min 39 s: Die Unterrichtseinheit wird beendet und der Feedbackbogen
 976 ausgegeben.

6. Unterrichtseinheit mit Chris

1 00 min 00 s - 03 min 27 s: Die Unterrichtseinheit beginnt und der Aufbau der Materialien, der
 2 Zusammenhang zwischen den Inputs der Folien, den Experimenten und dem Arbeitsblatt wird erklärt.
 3 Im Anschluss wird das Arbeitsblatt hergezeigt und beschriftet. Chris liest den ersten Absatz des
 4 Arbeitsblattes vor. Die Vision Tube wird vorgestellt. Dabei wird auf die einzelnen Elemente kleines
 5 Loch, Querstange und große Öffnung eingegangen. Auch auf die Bauweise, bzw. durch welche
 6 Elemente die Lichtdurchlässigkeit gewährleistet ist sowie die Tatsache, dass das Licht rechtwinkelig
 7 zur Sichtachse einfällt.

8 Die Aufgabenstellung des 1. Experiments wird vom Lehrer vorgelesen. Zusätzliche Erklärungen zum
 9 Einsatz werden gegeben, d. h. wie die Vision Tube für unterschiedliche Beobachtungen gehalten
 10 werden muss. Chris macht unterschiedliche Beobachtungen, u. a. in einem recht dunklen Vorraum
 11 eines WCs.

12 *Lehrer: Also, da sind zwei Fragen und deine Aufgabe ist es, eine Antwort zu formulieren, die wir dann*
 13 *da hinschreiben und das sind zwei Fragen, die man auch theoretisch auf einmal beantworten kann,*
 14 *wenn man möchte.*

15 *Chris: Also da?*

16 *Lehrer: Wir sind beim ersten Experiment. (.) Und haben die Querstange unter verschiedenen*
 17 *Lichtsituationen beobachtet und es geht um die Frage der Sichtbarkeit der Querstange. (.) Wie*
 18 *beeinflusst das eintretende Licht deine Beobachtung? Unter welcher Bedingung ist die Querstange*
 19 *besser oder schlechter sichtbar?*

20 *Chris: Äh. Also durch die, durch...*

21 *Lehrer: Sags mir zuerst und dann reden wir ein bisschen drüber und dann schreiben wirs auf.*

22 *Chris: Also durch das Licht kann man die Querstange besser sehen.*

23 *Lehrer: Ja. Wann ist es besser sicht..., sichtbar?*

24 *Chris: Bei mehr, wie??? Bei mehr Licht?*

25 *Lehrer: Hmhm.*

26 *Chris: Und (..) ähm.*

27 *Lehrer: Genau. Wenn wir jetzt ein, ein, ein erstes Gesetz formulieren würden, ja, je mehr, desto, ja,*
 28 *wie würde das, wie würde dieser Satz (.) formuliert gehören? Ja. Wenn du eine erste Gesetzmäßigkeit*
 29 *so machen würdest.*

30 *Chris: Also je mehr Licht durch, ähm, den Schlitz reinkommt, desto besser ist die Querstange sichtbar.*

31 *Lehrer: Ganz genau. Nennen wir es kleines Loch. Je mehr Licht durch das kleine Loch hineinkommt,*
 32 *umso besser ist die Querstange sichtbar.*

33 07 min 02 s - 07 min 55 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

34 *Lehrer: OK. Nächstes, erste Analyse. Bei diesem Experiment spielen zwei Kategorien eine wichtige*
 35 *Rolle: selbstleuchtende und nichtselbstleuchtende Gegenstände. Welche Beispiele aus dem*
 36 *Experiment oder deinem Alltag kannst du für diese beiden Kategorien anführen? Was fällt dir ein? (..)*

37 *Chris: Also wie, ganz genau? Selbstleuchtend und nichtselbstleuchtend?*

38 *Lehrer: Was verstehst du unter diesen Begriffen? Was fällt hier, was du hier am Tisch siehst, unter die*
 39 *Kategorie selbstleuchtend und was unter nichtselbstleuchtend? (..)*

40 *Chris: Ähm. (15 sec) Also ich würde eigentlich nichtselbstleuchtend nehmen, weil ja zum Beispiel das,*
 41 *die Lampe ja selber auch irgendwas anderes braucht um zu leuchten. Also zum Beispiel die (.), ähm*
 42 *Strom oder so.*

43 *Lehrer: Aha.*

44 *Chris: Ja.*

45 *Lehrer: Das ist richtig. Ich hab das Problem schon einmal gehabt. Selbstleuchtend heißt, genau*
 46 *genommen, mithilfe von Energie leuchten können. Kann zum Beispiel das weiße Blatt Papier mithilfe*
 47 *von Energie leuchten.*

48 *Chris: Ähm, nein. Also eigentlich nicht, oder? (..)*

49 *Lehrer: Mir fällt schon was ein. Also es ist, es ist im Papier, sagen wir mal, ist ein bisschen kompliziert,*
 50 *chemische Energie gespeichert und diese chemische Energie kann ich benützen, um zum Leuchten*
 51 *zu bringen in dem...? (.) Wie kann ich Licht produzieren mit dem Papier?*

52 *Chris: In dem man es anbrennt.*

53 *Lehrer: In dem man es anzündet. <lacht> Ganz genau. Also in dem Fall wäre das auch*
 54 *selbstleuchtend, ja. Ahm. Also hier meint selbstleuchtend mithilfe von Energie. Und natürlich ist das*
 55 *ein Spezialfall, dasss ich das Papier anzünde. Ja. Kann die Sonne ohne Energie leuchten zum*
 56 *Beispiel?*

57 *Chris: Hmhmm. Oder? Eine andere Energie. Oder?*

58 *Lehrer: Was für Energie verwendet die Sonne?*

59 *Chris: Ähm. (7 sec) Weiß ich gar nicht.*

60 *Lehrer: Kernenergie ist das. Wie in einem Kernkraftwerk. Ja. In einem Atomkraftwerk. Nur bei einem*
 61 *Atomkraftwerk werden die Atome auseinander gespalten und bei der Sonne werden sie*
 62 *zusammengefügt, ja. Kernfusion, sagt man. Da kommen zwei Wasserstoffatome zum Beispiel, oder*
 63 *eigentlich sind es vier, kommen zusammen, verbinden sich und durch diese Verbindung, durch die*
 64 *Fusion, wird ganz viel Energie frei. Und die gibt die Sonne dann ab. Ja.*

65 *Chris: OK.*

66 *Lehrer: Ist quasi Bindungsenergie, die hier verwendet wird.*

67 *Chris: OK.*

68 *Lehrer: Das heißt, immer mithilfe von Energie können wir was zum Leuchten bringen. Natürlich, wenn*
 69 *ich das Papier anzünde, leuchtet auch. Kann ich einen Stein zum Leuchten bringen? (10 sec)*

70 *Chris: Ich jetzt nicht, aber Meteoriten zum Beispiel schon. Weil die ja auch irgendwie so ur schnell sind*
 71 *und dann leuchten.*

72 *Lehrer: Und dann verglühen. Ganz genau. Ja. (.) Das ist sehr spannend, dass wir da drüber reden. Ja.*
73 *Aber gehen wir mal davon aus, ja, machen wir es uns einfach, wir wollen mal bei den einfachen*
74 *Dingen bleiben und sag mir welche Dinge hier im Raum können wir mithilfe von elektrischer Energie*
75 *zum Leuchten bringen. Das Papier, wenn ich es in die Steckdose geb, da passiert nix, ja.*

76 *Chris: Hmhmm. Was bedeutet, es ist nichtselbstleuchtend.*

77 *Lehrer: Von dem her wäre es nichtselbstleuchtend. Ganz genau.*

78 *Chris: OK.*

79 *Lehrer: Das Papier. <Chris schreibt es auf.>*

80 *Chris: Selbstleuchtend... (.) die Lampe zum Beispiel?*

81 *Lehrer: Die Lampe.*

82 *Chris: Der Computer?*

83 *Lehrer: Was vom Computer?*

84 *Chris: Also der Bildschirm vom Computer.*

85 *Lehrer: Der Bildschirm, ganz genau. (10 sec) <Chris schreibt auf.>*

86 *Chris: Hmhmm.*

87 *Lehrer: Bei der Röhre? (.) Ist da irgendwas selbstleuchtend?*

88 *Chris: Nein.*

89 *Lehrer: Nein. Also, schreiben wir hin: Vision Tube ist nichtselbstleuchtend. Ja. Querstange (6 sec)*
90 *<Chris schreibt auf.>*

91 *Chris: Äh, selbstleuchtend ist auch zum Beispiel ein Handybildschirm.*

92 *Lehrer: Ganz genau.*

93 *Chris: Das ist langweilig.*

94 *Lehrer: Display kann man auch allgemein sagen, ja. (..) <Chris schreibt parallel mit.>*

95 *Chris: Dann (..) Radiergummi*

96 *Lehrer: Was haben wir beim Fenster genützt? (..) Also auch Radiergummi bei nichtselbstleuchtend.*
97 *Genau. Und was haben wir beim Fenster genützt?*

98 *Chris: Ähm, na das Licht von draußen. Aber.*

99 *Lehrer: Woher kommt das?*

100 *Chris: Von der Sonne.*

101 *Lehrer: Von der Sonne. Ganz genau.*

102 *Chris: Die ist aber NICHTselbst..., doch selbstleuchtend. Aber das wird ja nicht durch Energie*
103 *betrieben?*

104 *Lehrer: Oh ja, durch Kernenergie, haben wir gesagt.*

105 *Chris: Ah ja, stimmt.*

106 *Lehrer: Darum...*

107 *Chris: ...also selbstleuchtend.*

108 *Lehrer: Ja. (..) <Chris schreibt auf.>*

109 *Chris: Und nichtselbstleuchtend ist...?*

110 *Lehrer: Irgendwas am Himmel? Fällt dir was ein, was nichtselbstleuchtend ist? (..)*

111 Chris: Eine Wolke.

112 Lehrer: Eine Wolke. Ganz genau. (..) <Chris schreibt auf.> Perfekt. Wunderbar. Nächstes Experiment.

113 Chris: Das Zweite?

114 Lehrer: Genau. Oh, zu viel gedrückt. <Klickt eine Folie zurück.> Und jetzt nimm die Röhre, ja.

115 Chris: OK.

116 Lehrer: Und schau rein. Schau, ob du die Querstange sehen kannst und dann halt das kleine Loch zu.

117 (..) <Chris experimentiert.> Kannst du was sehen?

118 Chris: Also, sobald ich das dann zugemacht habe, dann nicht.

119 Lehrer: Also. Wie kannst du deine Beobachtung erklären? Was kannst du in Bezug auf die

120 Sichtbarkeit von nichtselbstleuchtenden Gegenständen schließen? (..)

121 Chris: OK. Also. (..) Einfach wie ich das gesagt habe. So bald kein Licht mehr reingekommen ist

122 konnte ich nichts mehr erkennen.

123 Lehrer: Ganz genau.

124 14 min 45 s - 15 min 13 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

125 Lehrer: Die zweite Frage haben wir aber noch nicht ganz, ja. Wie würdest du die Sichtbarkeit von

126 nichtselbstleuchtenden Gegenständen beschreiben? Unter welchen Umständen können wir

127 Nichtselbstleuchtendes sehen?

128 Chris: Gegenstände, die mit Hilfe, äh mithilfe anderer Kräften nicht leuchten können.

129 Lehrer: Das hab ich nicht so gut verstanden.

130 Chris: Also... (..)

131 Lehrer: Was brauchts, damit ich nichtselbstleuchtende Dinge sehen kann. Die Wolken zum Beispiel?

132 Oder die Querstange? (..)

133 Chris: Ähm. (..) Also was man braucht um das zu sehen?

134 Lehrer: Hmhm. (..) Oder was ist, wie würdest du Sichtbarkeit von diesen Objekten beschreiben.

135 Wann kann ich sie sehen, wann kann ich sie nicht sehen. (..)

136 Chris: Also ich kann es, ich (..) Jetzt generell oder nur mit dieser (.) Tube.

137 Lehrer: Machs zuerst mit der Tube und dann können wir es generell auch sagen. (10 sec)

138 Chris: Also, die Gegenstände erkennen. Ich versteh es nicht ganz.

139 Lehrer: Unter welcher Voraussetzung kannst du diese Querstange sehen? Wann kannst du sie sehen

140 und wann kannst du sie nicht sehen?

141 Chris: Aso, ich kann sie nur sehen, wenn Licht dabei ist.

142 Lehrer: Ganz genau. Das muss, das Ding muss von Licht, ja. Nichtselbstleuchtende Gegenstände

143 müssen...

144 Chris: Äh (..) mit Licht gesehen werden.

145 Lehrer: ...beleuchtet werden, damit wir sie sehen können.

146 Chris: Also Stange ist nur beleuchtet sichtbar.

147 Lehrer: Genau. Stange ist nur beleuchtet sichtbar.

148 Chris: OK.

149 Lehrer: Ja. Da hast du einen kurzen Denkknoten gehabt.

150 Chris: Stimmt.

151 *Lehrer: Nicht so schlimm. Die Nichtselbstleuchtenden muss man immer beleuchten, ja...*

152 *Chris: Hmhmm.*

153 *Lehrer: ...damit ich sie sehen kann. Zum Beispiel das Papier, das wird beleuchtet durch die Lampe,*
154 *dann kann ich es sehen.*

155 *Chris: OK.*

156 *Lehrer: Wenn ich die Lampe ausschalte, schalt sie mal ab.*

157 *Chris: Äh, das geht nicht.*

158 *Lehrer: Da hinten, auf der Rückseite. Kannst du es noch immer sehen? (.) Das Papier?*

159 *Chris: Ja.*

160 *Lehrer: Warum?*

161 *Chris: Also, weil es gibt noch Licht von woanders, das es beleuchtet.*

162 *Lehrer: Hmhmm. Und gehen wir mal mit dem Papier zum Klo.*

163 18 min 07 s - 19 min 30 s: Die gewonnene Hypothese wird in einem dunklen Raum überprüft. Dabei
164 wird genau beobachtet, wie auch ein minimaler Einfall von Licht dazu beiträgt, dass das Papier
165 gesehen werden kann. Im Anschluss wird das dritte Experiment vorbereitet und eine geeignete
166 Position gesucht, um das beleuchtete weiße Papier näher zu untersuchen.

167 *Lehrer: Und jetzt ist die Frage (..)*

168 *Chris: Was erkenne ich?*

169 *Lehrer: Was kannst du erkennen?*

170 *Chris: Also ich kann diese so, dieses, diese Querstange noch immer erkennen.*

171 *Lehrer: Ja. Und geben wir das <die Vision Tube> ganz tief runter, dass wirklich nur noch Licht von*
172 *dem... (.) von unten kommen kann.*

173 *Chris: Jetzt kann ich es noch immer sehen.*

174 *Lehrer: Noch immer sehen. Und schau, geh mal weg mit deinem Aug.*

175 *Chris: Mit dem Auge?*

176 *Lehrer: Ja, geh mal zurück und schau. <Um die Situation von außerhalb der Vision Tube zu*
177 *betrachten.> Schau, ich halts ganz knapp übers Papier. Das heißt, von der Lampe kann nichts mehr*
178 *direkt rein gehen. Ja. Und?*

179 *Chris: Und jetzt seh ich eigentlich ziemlich nichts mehr.*

180 *Lehrer: Aber siehst du noch ein bisschen was?*

181 *Chris: Ein ganz kleines bisschen.*

182 *Lehrer: Ein ganz kleines bisschen. Ein ganz kleines bisschen.*

183 *Chris: OK.*

184 *Lehrer: OK. Wie kannst du dir das erklären, dass da du noch immer ein kleines bisschen siehst, wenn*
185 *das Loch so knapp drüber ist?*

186 *Chris: Weil das Papier ja beleuchtet wird und daher auch leuchtet sozusagen.*

187 *Lehrer: Und daher auch leuchtet, ja. Ganz genau. Das heißt, das Licht kommt von wo?*

188 *Chris: Von der Lampe.*

189 *Lehrer: Wohin gehts?*

190 *Chris: Aufs Papier.*

191 *Lehrer: Und dann?*

192 *Chris: Ins Loch.*

193 *Lehrer: Vom Papier wieder weg ins Loch, ganz genau. Perfekt, ja. Versuche, den Vorgang in Bezug*
 194 *auf Senden und Empfangen von Licht zu beschreiben. Senden, Empfangen und nehmen wir ein*
 195 *zweites, ein drittes, Zurücksenden, ja. Versuchen wir das zu beschreiben. Kannst dich wieder*
 196 *hinsetzen normal. (..) Wir können immer wieder ein bisschen wechseln. (..) Beleuchtung von*
 197 *nichtselbstleuchtenden Flächen. (..) Ja. Versuch den Weg des Lichts, so wie du es vorhin gesagt hast*
 198 *mit den Worten Senden, Empfangen, Zurücksenden zu beschreiben. Wo beginnts, wo hörts auf. (..)*

199 *Chris: Die Lampe sendet Licht ans Papier...*

200 *Lehrer: Hmhmm. (..) <Chris schreibt parallel auf.>*

201 *Chris: ...das Papier empfängt...*

202 *Lehrer: Hmhmm.*

203 *Chris: ...das Licht... (20 sec) <Chris schreibt parallel auf.> Papier sendet Licht an Loch und an Lampe*
 204 *zurück, eigentlich, oder?*

205 *Lehrer: Theoretisch auch ein bisschen an die Lampe, aber das ist ja nicht das, was du beobachtest.*
 206 *Ja.*

207 *Chris: Stimmt.*

208 *Lehrer: Was beobachtest du letztendlich?*

209 *Chris: Diese äh Querstange.*

210 *Lehrer: Ganz genau.*

211 23 min 04 s - 24 min 01 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im Anschluss wird
 212 das vierte Experiment vorbereitet, die Vision Tube oberhalb des Papiers positioniert und der Spiegel in
 213 weiterer Folge vom Lehrer unter die Vision Tube geschoben. Chris soll sagen, ab wann der Spiegel
 214 sich unterhalb der Vision Tube befindet.

215 *Chris: Jetzt.*

216 *Lehrer: Ist jetzt der Spiegel drunter?*

217 *Chris: Äh, ich glaub schon.*

218 *Lehrer: Und schau jetzt.*

219 *Chris: Jetzt...*

220 *Lehrer: Was kannst du jetzt beobachten?*

221 *Chris: Äh die Querstange.*

222 *Lehrer: Aber wie schaut sie aus? Wie...*

223 *Chris: Ganz dunkel.*

224 *Lehrer: Ganz dunkel. Überall ganz dunkel?*

225 *Chris: Ja. (?...) Ja.*

226 *Lehrer: Warte, komm her mal, ich muss ein bisschen schauen, weil ich glaub, ich schick das Licht*
 227 *vorbei an der Querstange. Schau. <Der Lichtpunkt des Spiegels dürfte die Querstange verfehlen.> (..)*
 228 *So. (..) Was kannst du...*

229 24 min 36 s - 26 min 09 s: Es gibt ein Problem mit der Beobachtung, welches nicht direkt behoben
 230 werden kann. Deshalb wird die Webcam an den Laptop angeschlossen, um die Beobachtung besser
 231 steuern zu können.

232 *Lehrer: Und jetzt (.) halt ichs da zum Papier.*

233 Chris: Jetzt sieht mans theoretisch weiß noch.

234 Lehrer: Man siehts noch. Wie würdest du die Quer..., die Beleuchtung beschreiben von der
235 Querstange?

236 Chris: Äh, schwach.

237 Lehrer: Schwach... ist das eng oder breit?

238 Chris: Ähm. (..)

239 Lehrer: Im Vergleich zu... (..)

240 Chris: Im Vergleich zum Spiegel ist es schlechter.

241 Lehrer: Schlechter. Jetzt hab ich den Spiegel, ja, siehst du es?

242 Chris: Hmhmm.

243 Lehrer: Und ist es schmal oder breit beim Spiegel?

244 Chris: Äh schmal.

245 Lehrer: Und beim Papier? (..)

246 Chris: Äh, jetzt ist es auch schmal, aber auch klein.

247 Lehrer: Na ja, von der Fläche her. Wo wird mehr Fläche beleuchtet? Beim Papier oder beim Spiegel?

248 Chris: Ähm, beim Spiegel.

249 Lehrer: Da wird mehr Fläche beleuchtet? Schau mal. (24 sec) <Es wird gemeinsam experimentiert.>
250 Jetzt hab ich den Spiegel, siehst du es.

251 Chris: Hmhmm.

252 Lehrer: Und jetzt schau die Fläche an, die beleuchtet wird, nur auf der Querstange. Und jetzt beim
253 Papier. (..) Wo ist die Fläche größer die beleuchtet wird? (7 sec)

254 Chris: Beim Papier.

255 Lehrer: Beim Papier ist sie größer, ja. Das Licht ist zwar schwächer, aber die Fläche ist auch größer.
256 Und beim Spiegel. Ja. Zack. (..) Geht es auf einen Punkt. Und von dem Punkt, siehst du was passiert?

257 Chris: Dafür ist dieser Punkt heller, aber dieser Punkt strahlt dann auch zur, dann auch weiter.

258 Lehrer: Der strahlt auch weiter, ganz genau. Du siehst das Innere. Du siehst das quasi, als wäre da
259 ein Leuchtpunkt da drinnen, der dann wiederum das Innere beleuchtet.

260 Chris: Deswegen hab ich auch beim Spiegel gesagt, dass es dort heller war. <Dürfte "eine größere
261 Fläche beleuchtet" meinen.>

262 Lehrer: Ah, OK. Weil es dann quasi rundherum mehr beleuchtet hat.

263 Chris: Hmhmm.

264 Lehrer: Versteh, OK. Aber es ist, es war nur in Bezug auf die Querstange gemeint. Das ist dann alles
265 richtig, was du gesagt hast. Ja. Also schreiben wir, überlegen wir uns, ja. Mit welchen der beiden
266 Oberflächen kannst du einen Leucht..., einen Lichtpunkt auf der Querstange erzeugen? Welche Rolle
267 spielt das gerichtete und ungerichtete Zurücksenden von Licht bei dem Experiment? (..)

268 Chris: Ok, ich muss einfach sagen, was ich schon, also es wird, beim Papier ist es mehr beleuchtet,
269 also nein. (..) Mehr...

270 Lehrer: Versuche, die Wörter gerichtetes und ungerichtetes Weitersenden oder Zurücksenden zu
271 verwenden. (..)

272 Chris: OK. (..)

273 Lehrer: Beim Spiegel... fangen wir so an. Beim Spiegel wird das Licht... (..) <Chris schreibt parallel mit

274 auf.>

275 Chris: Beim Spiegel wird das Licht (..) an nur einen Punkt auf der (..) Stange gesendet (..) und dort in
 276 die Tube weitergesendet. (..) Beim Papier, eine größere Fläche auf der Stange, dafür nicht in die
 277 Tube...

278 Lehrer: ...weil das Licht schwächer ist oder stärker, wenn es jetzt breitflächig ist?

279 Chris: Stärker eigentlich. Oder?

280 Lehrer: Was kann das Licht besser weitersenden? Der Spiegel oder das Papier? (..) Wo siehst du das
 281 Innere der Tube?

282 Chris: Beim Spiegel also.

283 Lehrer: Beim Spiegel. (..)

284 Chris: Aber warum hat die Querstange das weitergeleitet und beim Papier nicht?

285 Lehrer: Na ja, beim Papier ist die Fläche breiter und das Licht...? (..) ...schwach.

286 Chris: Ah.

287 Lehrer: Warum ist das Licht schwach? (..) Beim Papier?

288 Chris: Na ja, weil das Papier nicht wirklich spiegelt, sondern nur...

289 Lehrer: Was ist denn der Unterschied zwischen Papier und Spiegel in Bezug auf das Weitersenden
 290 von Licht?

291 Chris: Also der Spiegel kann das viel besser weitersenden, weil er eben alles, halt alles wirklich auch
 292 so reflektiert.

293 Lehrer: Ja.

294 Chris: Und das Papier halt nicht. Es saugt es eher auf, sozusagen.

295 Lehrer: Saugt das Papier viel auf? Im Vergleich zur schwarzen Fläche? (..) Kann ich mit dem weißen
 296 Blatt was beleuchten?

297 Chris: Nein. Also nicht unbedingt.

298 Lehrer: Und wenn ich die Querstange da drüber gehalten habe <über das weiße Blatt Papier> und die
 299 Querstange gesehen habe?

300 Chris: Dann schon, aber nur schwach.

301 Lehrer: Aber nur schwach, ganz genau. Und warum ist es schwach? (..) Schau mal, ich halte das so
 302 her. (..) <Beleuchtet mit dem Spiegel den Schattenbereich hinter einer Deckenkante.> Auf der Decke
 303 da, siehst du das da? Auf der Decke.

304 Chris: Hmhmm.

305 Lehrer: Und wenn ich das mit einem weißen Blatt Papier mach, schau genau auf die Kante. (..)

306 Chris: Ja, zwar auch, aber halt nur noch schwach.

307 Lehrer: Schwach, warum schwach? Wohin geht denn das Licht?

308 Chris: Äh eher dadurch.

309 Lehrer: Zum einen gehts durch und dann in alle möglichen Richtungen.

310 Chris: Hmhmm.

311 Lehrer: Deswegen ist es über..., deswegen ist es breit. Und wenn das Licht nicht so gebündelt ist wie
 312 beim Spiegel, ja, der Spiegel kann das da links nicht beleuchten, sondern nur diesen Fleck da.

313 Chris: Das bedeutet, weil beim Spiegel ist das Licht gebündelt und beim Papier nicht.

314 Lehrer: Ganz genau. Das ist ein wichtiger Unterschied. Ja.

315 Chris: OK. Das bedeutet, wie formuliere ich das?

316 33 min 16 s - 35 min 07 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es wie folgt aufzuschreiben: "Das
 317 Papier sendet auch Licht weiter, jedoch nicht so gut und in alle möglichen Richtungen." Danach wird
 318 zur Festigung nochmals der Schattenbereich hinter der Deckenkante mit Spiegel und Papier
 319 beleuchtet. Das fünfte Experiment wird vorbereitet, die schwarze Oberfläche neben dem weißen
 320 Papier gelegt und die Beobachtung mithilfe der Webcam fortgeführt.

321 Lehrer: OK, du sagst es mir, ich fahr da jetzt so drüber, ab wann ich über dem schwarzen Papier und
 322 wodurch du das Erkennen kannst, dass ich über dem schwarzen Papier bin. <Eigentlich schwarze
 323 Flügelmappe.> Schau gar nicht da nach unten <in Richtung der Flächen>, sondern nur auf den
 324 Bildschirm. Ja. <Es wird gemeinsam experimentiert.>

325 Chris: OK, also jetzt ist es beim Schwarzen.

326 Lehrer: Hmhmm. Und warum siehst du das? Oder was...

327 Chris: Es ist viel dunkler geworden.

328 Lehrer: Es ist viel dunkler geworden. Es ist viel dunkler. (.) Schickt das Schwarze, die schwarze
 329 Oberfläche Licht weg?

330 Chris: Ja, aber nur wenig.

331 Lehrer: Ja, aber nur wenig. Ganz genau. Auch von da wird Licht weggeschickt. Ja. OK. (..) Ist die
 332 Querstange noch sichtbar, wenn das kleine Loch sich oberhalb der schwarzen Fläche befindet? Ja.

333 Chris: Hmhmm.

334 Lehrer: Können beleuchtete dunkle Flächen Licht in die Vision Tube senden? Hast du auch gesagt, ja.
 335 Überlegen wir uns die letzte Frage: Welchen Einfluss hat die Helligkeit der Oberfläche auf das
 336 Zurücksenden des Lichtes? (.) Versuch das wieder mit so einer Wenn-Dann-, Je-größer-Desto-
 337 Formulierung zu machen.

338 Chris: OK, je heller die Farbe des Gegenstandes...

339 Lehrer: Ja.

340 Chris: ...desto besser wird das Licht weitergeleitet.

341 Lehrer: Perfekt.

342 36 min 22 s - 37 min 57 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im Anschluss wird
 343 das sechste Experiment begonnen.

344 Lehrer: Wir wissen von vorher: Dunkle Flächen können Licht nicht so gut zurücksenden. Ja. Was
 345 geschieht mit dem Licht, welches nicht zurückgesendet wird? Welche der beiden Oberflächen kann
 346 theoretisch schneller durch die Lichtquelle erwärmt werden? (8 sec)

347 Chris: Ich würde sagen, also, es ist nur eine Vermutung, ich glaube, dass das Schwarze schneller
 348 erwärmt, ist ja auch eigentlich so, also bei Kleidung auch, weil es das Licht aufsaugt, sozusagen, das
 349 Schwarze.

350 Lehrer: Hmhmm.

351 Chris: Und... (..) War das nicht so in der (?...), also beim Schwarzen werden alle Farben, alle
 352 Lichtstrahlenfarben irgendwie aufgenommen.

353 Lehrer: Hmhmm.

354 Chris: Beim weißen werden aber alle abgegeben, alle wieder weitergeleitet.

355 Lehrer: Hmhmm.

356 Chris: Und deswegen wird das Schwarze schneller erwärmt und ja.

357 Lehrer: Woher kommt den die Wärme?

358 Chris: Äh, vom Licht. (..)

359 *Lehrer: Und wie kannst du dir das erklären, dass das Licht in Wärme gewandelt wird?*

360 *Chris: Hmhmm. (8 sec) Oh, das weiß ich gar nicht.*

361 *Lehrer: Gibts ein Unterschied zwischen Licht und Wärme für dich? (..)*

362 *Chris: Für mich schon, nicht fürs, ich weiß nicht ganz wie das eigentlich... (.)*

363 *Lehrer: Und wenn du jetzt in der Technik überlegst, ist da Licht und Wärme, sind das verschiedene*
364 *Dinge oder kommen die immer gleichzeitig vor? <Gemeint ist gemeinsam.>*

365 *Chris: Wahrscheinlich gleichzeitig immer.*

366 *Lehrer: Ist immer gleichzeitig. Die Sonne zum Beispiel? (.) Sehr, sehr heiß und sehr, sehr hell.*

367 *Chris: Ja.*

368 *Lehrer: Diese Lampe? (.)*

369 *Chris: Auch eigentlich heiß, weil (.) (?...)*

370 *Lehrer: Außer bei LEDs zum Beispiel wie die Displays. Ist nicht so stark...*

371 *Chris: Aber auch.*

372 *Lehrer: ...da ist ganz viel Licht, aber auch. Wenn wir da draufgreifen <auf den Laptopbildschirm> dann*
373 *ist es ein bisschen wärmer als da <Am Rand des Bildschirms>. Und bei den Energiesparlampen, da*
374 *merkst du es auch ein bisschen, ganz wenig. Deswegen heißen sie auch Energiesparlampen, weil sie*
375 *fast nur Licht aussenden und ganz, ganz wenig Wärme.*

376 *Chris: OK.*

377 *Lehrer: Wärme und Licht ist physikalisch das Gleiche. Ja. Das sind elektromagnetische Strahlungen.*
378 *Nur für uns ist es unterschiedlich, weil das Licht können wir mit den Augen wahrnehmen und die*
379 *Wärme können wir...?*

380 *Chris: ...nicht mit den Augen wahrnehmen, sondern mit den Händen, mit dem Körper.*

381 *Lehrer: Mit der Haut, mit der Hautoberfläche, ja. Das sind unsere Sensoren für Wärme.*

382 *Chris: OK.*

383 *Lehrer: Die Haut. Und da <im Auge> sind unsere Sensoren für Licht. Deswegen glauben wir, es ist*
384 *was Verschiedenes. Aber physikalisch gesehen ist es das Gleiche. Ja. Das heißt, das Licht, das auf*
385 *die schwarze Oberfläche kommt, verliert dort Energie und wird in Form von Wärme weitergeschickt.*
386 *Auch wieder weitergeschickt. Die Energie kann da nicht bleiben von dem Licht. Sie wird nur als ein*
387 *bisschen schwächerer Energie weitergeschickt, weil es zuerst geschluckt wird, das Licht und in Form*
388 *von Wärme weitergegeben wird. Ja.*

389 *Chris: Hmhmm.*

390 *Lehrer: Wir haben neben Senden, Empfangen, Weitersenden ein neues Wort, das Verschlucken. Ja.*
391 *Schreiben wir uns das auf.*

392 41 min 33 s - 43 min 41 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es wie folgt aufzuschreiben: Dunkle
393 Flächen verschlucken das Licht und erwärmen sich dadurch. Im Anschluss wird das siebte Experiment
394 vorbereitet.

395 *Lehrer: Du sagst mir, wann wir über welcher Farbe sind, über welcher Fläche sind. Du schaust nur auf*
396 *dem Bildschirm. Ja.*

397 *Chris: Jetzt sind wir über Weiß.*

398 *Lehrer: Und jetzt?*

399 *Chris: Jetzt sind wir noch immer über Weiß. Jetzt bei Grün. (.)*

400 *Lehrer: Und was siehst du auf der Querstange?*

401 *Chris: Auf der Querstange Licht, aber grünlich.*

402 *Lehrer: Und jetzt?*

403 *Chris: Rötliches Licht. Und gar keins, fast gar kein Licht.*

404 *Lehrer: Fast gar kein Licht, aber noch immer ein bisschen.*

405 *Chris: Hmhmm. (.) Das ist das rote Licht, grün und das strahlende.*

406 *Lehrer: Weiß.*

407 *Chris: Weiß.*

408 *Lehrer: Ja. (9 sec) Was du beobachten kannst hast du eh schon gesagt. Ja.*

409 *Chris: Hmhmm.*

410 *Lehrer: Welche Rolle spielt das Zurücksenden und Verschlucken von Licht bei diesem Vorgang? (..)*

411 *Chris: Also ich schätze mal, dass das (..) Licht, also (..), bei Grün wird grün, ähm grün halt immer das*
412 *grüne Licht weitergesendet und bei Rot immer das rote.*

413 *Lehrer: Hmhmm. (..) Und im Vergleich zum Weißen?*

414 *Chris: Beim weißen werden alle Lichtstrahlen weggesendet.*

415 *Lehrer: Hmhmm. Alle Farben gleich gut.*

416 *Chris: Und...*

417 *Lehrer: Und beim Schwarzen?*

418 *Chris: Von allen eigentlich sehr wenig.*

419 *Lehrer: Alle gleich schlecht. Ja. Das heißt, da wird einiges geschluckt. Da <beim weißen Blatt> wird*
420 *wenig geschluckt. Und was wird da geschluckt?*

421 *Chris: Alles außer Grün.*

422 *Lehrer: Alles andere außer Grün. Ganz genau. So entstehen die Farben. Ja. Die Helligkeit hat damit*
423 *zu tun, wie gut die Menge an Licht zurückgeschickt wird, wenig und viel. Und bei den farbigen Flächen*
424 *wird nur manches zurückgeschickt und das andere verschluckt.*

425 *Chris: Hmhmm.*

426 *Lehrer: Also schreiben wir das auf.*

427 45 min 58 s - 49 min 25 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es wie folgt aufzuschreiben: "Bei
428 farbigen Flächen wird dessen Farbe weitergesendet. Alles andere wird verschluckt." Chris steuert
429 jeweils den zweiten Teil des Satzes bei. Die Inhalte werden vertieft, in dem mit der tropfenförmigen
430 Kristallglaskugel mit einer Vielzahl an Facetten gebrochenes Licht auf die weiße, farbige und
431 schwarze Fläche geworfen wird. Chris erzählt, dass er zu Hause eine Brille gebastelt hat, mit der er
432 auch das Spektrum untersuchen konnte. Die Kristallglaskugel wird Chris als kleines Geschenk fürs
433 Teilnehmen überreicht. Im Anschluss wird die Aufgabenstellung 2. Analyse & Zusammenfassung
434 vorgelesen. Chris meint, nicht alle Fachbegriffe zu kennen.

435 *Lehrer: Wenn da steht: Emission beobachte ich... ja. Emission ist Latein, kommt vom Lateinischen für*
436 *Aussenden.*

437 *Chris: Hmhmm.*

438 *Lehrer: Und jetzt ist die Frage, ob du das, welche Funktion dabei die selbstleuchtenden und die*
439 *nichtselbstleuchtenden Gegenstände hatten, und (..) in welchen Situationen du das Beobachten*
440 *konntest, in welchen Beispielen, an welchen Gegenständen. Wo hat Emission stattgefunden?*

441 *Chris: Bei allen Gegenständen eigentlich.*

442 *Lehrer: Kann ein weißes Papier Emission betreiben? (..)*

443 *Chris: Ja. Weil es hat ja ausgesendet, aber es hat nur weitergesendet.*

444 *Lehrer: Ganz genau.*

445 *Chris: Also nur die Selbstleuchtenden.*

446 *Lehrer: Ganz genau. Ja.*

447 50 min 17 s - 50 min 40 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

448 *Lehrer: Und jetzt haben wir vier Sachen zu Reflexion und Streuung. Einmal was Reflexion und*

449 *Streuung ist. Und einmal, was sie gemeinsam haben und einmal was sie unterschiedlich haben. (.)*

450 *Chris: Also...*

451 *Lehrer: Mit was magst du beginnen? Mit dem Zweiten, Dritten oder Vierten, Fünften, mit den*

452 *Gemeinsamkeiten und Unterschieden oder den Definitionen von dem...*

453 *Chris: Mit den Definitionen.*

454 *Lehrer: OK.*

455 *Chris: Also die zweite Frage. Reflexion beobachte ich bei nichtselbstleuchtenden Gegenständen.*

456 *Lehrer: Hmhmm. (17 sec) <Chris schreibt auf.> Zum Beispiel? (.)*

457 *Chris: Beim Papier, also alle Gegenstände, die wir vorher aufgeschrieben haben.*

458 *Lehrer: Hmhmm. Das ist jetzt ein bisschen, das ist ein, immer eine Frage der Begriffe und wie man sie*

459 *verwendet und wie man sie definiert. Deswegen hätte ich eigentlich fast so gern mit dem Unterschied*

460 *und Gemeinsamkeit angefangen.*

461 *Chris: Ja, OK.*

462 *Lehrer: Wenn da unten steht Streuung, verteilen. Was könnte der Unterschied zwischen Reflexion und*

463 *Streuung sein? (.) Und was könnte die Gemeinsamkeit sein?*

464 *Chris: Also gemeinsam, also (.) halt, dass das Papier das Licht so verstreut und der Spiegel nur*

465 *reflektiert, oder?*

466 *Lehrer: Ganz genau.*

467 *Chris: Aber die Gemeinsamkeit ist, dass beides Licht weitergibt.*

468 *Lehrer: Ganz genau.*

469 52 min 44 s - 56 min 05 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Dabei werden die

470 schon vorhin verwendeten Begriffe gerichtet bzw. gebündelt sowie verstreut bzw. in alle möglichen

471 Richtungen verwendet. Auch weist Chris von sich aus, den Spiegel der Reflexion und das Papier der

472 Streuung zu.

473 *Lehrer: Gut, letzter Punkt, Absorption, Aufsaugung beobachte ich...*

474 *Chris: ...bei (.) schwarzen beziehungsweise farbigen Gegenständen.*

475 *Lehrer: Ganz genau. (20 sec) <Chris schreibt dies selbstständig auf auf auf.>*

476 *Chris: OK.*

477 *Lehrer: Jetzt sind wir da, wo wir eigentlich hinwollen. So funktioniert die Physik, die ist viel präziser als*

478 *die Sachen, die wir davor verwendet haben wie nichtselbstleuchtend und selbstleuchtend. Weil, wie*

479 *wir gesagt haben: Papier kann beides. Papier kann streuen, Papier kann aber auch Emission*

480 *betreiben, in dem ich es anzünde. Ja.*

481 *Chris: Ja.*

482 *Lehrer: Emission heißt Licht ausschicken. Ja.*

483 *Chris: Hmhmm.*

484 *Lehrer: Streuung heißt Licht weiterschicken, in alle Richtungen. Reflektieren heißt Licht wegschicken,*

485 *besonders gut und in eine Richtung. Ja. Und Absorbieren heißt Licht aufnehmen und in Wärme*

486 umwandeln.

487 Chris: OK.

488 Lehrer: Das ist, natürlich am Anfang hilft es, wenn ich es einteile Lampe versus Papier,
 489 selbstleuchtend versus nichtselbstleuchtend. Aber genau genommen geht es um Emission, Streuung,
 490 Reflexion und Absorption, ja. Diese Begriffe sind dann sehr genau, ja. Davor, das war eh das Erste,
 491 was du gesagt hast, na ja, das Papier ähm, also die Lampe leuchtet auch nicht von selbst. Natürlich
 492 leuchtet sie nicht von selbst, die braucht Energie, um zu leuchten, aber sie kann Licht wegschicken,
 493 Licht produzieren. Ja. Das weiße Papier kann in dem Fall kein Licht produzieren, nur wenn ich es
 494 anzünde. Da werden Photonen weggeschickt. Hier werden Photonen produziert und hier werden
 495 Photonen aufgenommen und weitergeschickt. Und natürlich auch beim Weißen, auch Weißes kann
 496 sich leicht erwärmen, ja. Zwar nicht so schnell wie Schwarzes, ja. Also auch hier <beim weißen Blatt>
 497 spielt ein bisschen Absorption eine Rolle, aber auch Streuung. Das sind die Fachbegriffe, die man
 498 verwendet und dann hat man es wirklich besonders gut erklärt. Das, was wir davor verwendet haben,
 499 sind Hilfsbegriffe gewesen, ja.

500 Chris: OK.

501 58 min 38 s - 59 min 56 s: Es wird eine kleine Pause gemacht und die Aufzeichnung gestoppt. Im
 502 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Finsternis in deinem Alltag " von
 503 Chris vorgelesen. Chris kennt eine solche Situation und kann sie sich gut vorstellen. Er liest die beiden
 504 Aussagen vor. Chris weiß nicht unmittelbar, was mit der Aufgabenstellung gemeint ist. Kurz wird vom
 505 Thema abgelenkt, weil Chris mit der Kristallkugel recht viele Geräusche macht, welche die
 506 Aufzeichnung stören und er wird gebeten, sie zur Seite zu legen. Im Anschluss werden vom Lehrer die
 507 beiden Aussagen noch mal vorgelesen.

508 Lehrer: Kann beides stimmen? Kann beides nicht stimmen? (12 sec)

509 Chris: Also das Zweite stimmt nicht. <Restlichtkonzept> (..)

510 Lehrer: Hmhmm. Das heißt ohne Restlicht...

511 Chris: ...können die Umrisse trotzdem gesehen werden.

512 Lehrer: OK. Und wie erklärst du dir das dann?

513 Chris: Hmhmm. (..) Das sie trotzdem in der Finsternis irgendwie, dass so ein ganz kleines bisschen
 514 Licht vielleicht hinkommt? Oder so? Ich bin mir nicht wirklich sicher, aber.

515 Lehrer: Wie würdest du denn Restlicht beschreiben, oder was verstehst du unter dem Begriff?

516 Chris: Vielleicht (.) vorhandenes gespeichertes Licht oder so.

517 Lehrer: Kannst du irgendwo Licht speichern?

518 Chris: Ähm. (8 sec)

519 Lehrer: Gibts so ...

520 Chris: Doch.

521 Lehrer: ...Sachen im Kinderspielzimmer, manchmal. (..)

522 Chris: Solarkraftwerke tun ja eigentlich auch Licht speichern.

523 Lehrer: Die tun Energie, also Licht in Energie, in elektrische Energie umwandeln. Das ist was anderes.

524 Chris: Stimmt.

525 Lehrer: Also die speichern kein Licht. Sie können zwar mit elektrischer Energie wieder Licht machen,
 526 aber es ist ein Umwandlungsprozess. (.)

527 Chris: Ähm, dann...

528 Lehrer: Kennst du diese Dinge, die man auf die Decke klebt im Kinderspielzimmer?
 529 <Phosphoreszierende Aufkleber.> Die dann so nachleuchten?

530 Chris: Diese, ja, diese, diese, die Sterne oder.

531 *Lehrer: Das sind mal Sterne oder Verschiedenes, die können Licht speichern, ja. Die geben das dann*
532 *ab. Ja. Aber in der Regel, außer bei solchen Dingen, kann Licht nicht gespeichert werden. (..) Aber*
533 *du hast eh vorhin gesagt. Ja in der Finsternis sieht man die Umrisse ein bisschen, weil...? (.) Warum*
534 *kann ich die sehen? Haben die eine eigene Leuchtkraft?*

535 *Chris: Ich schätze mal, dass je..., ich weiß nicht, vielleicht stimmt das gar nicht. Es kann ja sein, dass*
536 *(.) ein Gegenstand, also irgendwas hat, also das es ein gaaanz kleines bisschen speichern kann oder*
537 *so.*

538 *Lehrer: Wie ich das weiße Blatt Papier oben hingehalten hab. <Gemeint ist die Situation im WC, als*
539 *das Blatt im oberen Bereich des Raumes positioniert war.>*

540 *Chris: Hat auch nicht geleuchtet, aber.*

541 *Lehrer: Und konnte es ein bisschen nachleuchten, oder war das dann sofort weg, die Sichtbarkeit, wie*
542 *es höher gegangen ist?*

543 *Chris: Ist immer weniger geworden, aber...*

544 *Lehrer: Aber sofort weniger oder hats nachgeleuchtet? (..)*

545 *Chris: Sofort weniger eigentlich.*

546 *Lehrer: Also hats auch nicht das Licht gespeichert.*

547 *Chris: Hmhmm. (.)*

548 *Lehrer: Und wann konntest du es schwach sehen?*

549 *Chris: So bald ein ganz kleines bisschen Licht dazugekommen ist.*

550 *Lehrer: So bald ein ganz kleines bisschen... Genau.*

551 *Chris: Aber man muss ja nicht Restlicht haben, um...*

552 *Lehrer: In der Situation jetzt ja, statt Restlicht kann man sagen ein ganz kleines bisschen Licht, ja.*

553 *Chris: OK.*

554 *Lehrer: In dieser Situation, in der Finsternis, wo der Mond nicht sichtbar ist, die Sonne untergegangen*
555 *ist. Gibts da andere Lichtquellen, oder gibts da gar keine Lichtquellen?*

556 *Chris: Gar keine.*

557 *Lehrer: Gar keine? (8 sec) Und ist es möglich das weiße Blatt Papier ohne Lichtquellen zu sehen? (..)*

558 *Chris: Das Papier selber nicht.*

559 *Lehrer: Und die ganzen anderen Gegenstände die da herum sind, die ganzen nichtselbstleuchtenden*
560 *Gegenstände.*

561 *Chris: Auch nicht also in der ganzen Finsternis.*

562 *Lehrer: Aber hier in dem Beispiel siehst du ja Umrisse. Du siehst Bäume sind ein bisschen dunkler als*
563 *andere Sachen. Du siehst ja hell und dunkel ein bisschen.*

564 *Chris: Also so eine Alltagsfinsternis oder so eher...*

565 *Lehrer: In einer Alltagsfinsternis. (..) Wenn du irgendwo draußen in der Natur bist.*

566 *Chris: Aso, ja dann...*

567 *Lehrer: Kann da Licht eine Rolle spielen? (.)*

568 *Chris: Na ja, auch wenn der Mond nicht scheint, also die Sonne scheint ja trotzdem...*

569 *Lehrer: Die Sonne ist untergegangen.*

570 *Chris: Aber es werden halt trotzdem irgendwie Lichtstrahlen, die auf dem Weg hierher waren,*
571 *irgendwie abgegeben, oder? (..)*

572 *Lehrer: Noch einmal eine Frage: Muss Licht vorhanden sein, damit ich ein weißes Blatt Papier in der*
573 *Finsternis sehen kann? Oder geht das ohne Licht? (.)*

574 *Chris: Man braucht Licht.*

575 *Lehrer: Man braucht Licht. Woher könnte das Licht kommen in diesem Beispiel?*

576 *Chris: Von (..) Energie... äh lichtspeichernden Sachen.*

577 *Lehrer: Schließen wir die mal aus, weil die kommen nur im Kinderspielzimmer vor, in der Regel, nicht*
578 *in der Natur.*

579 *Chris: Darüber hab ich noch nie nachgedacht und ich wusste nicht, dass es so kompliziert sein*
580 *könnte. Ähm.*

581 *Lehrer: Woher kann das Licht kommen? Wenn du sagst, um das weiße Blatt Papier zu sehen, brauch*
582 *ich Licht?*

583 *Chris: Von... (..) Sterne (?...)*

584 *Lehrer: Sags noch einmal und lauter. (..)*

585 *Chris: Vom Mond, der ja beleuchtet wird und der kann es noch mal weitersenden.*

586 *Lehrer: Und wenn der Mond untergegangen ist?*

587 *Chris: Sternen.*

588 *Lehrer: Von Sternen. Ganz genau. Von Sternen und von was noch?*

589 *Chris: Von...*

590 *Lehrer: Sagen wir mal, es ist eine dicke Wolkendecke und alle Sterne können nicht durchleuchten und*
591 *man sieht noch immer was.*

592 *Chris: Die Wolken können es ja dann weitergeben.*

593 *Lehrer: Die können ein bisschen was durchlassen. Ähm, hast du schon von Lichtverschmutzung*
594 *gehört?*

595 *Chris: Verschmutzung?*

596 *Lehrer: Lichtverschmutzung.*

597 *Chris: Ist das wahrscheinlich eben, dass das immer so weniger Licht wird. Zum Beispiel durch die*
598 *Wolke und dann gehts zum grünen Blatt.*

599 *Lehrer: Nein, damit hats nicht zu tun. Das hat eher damit zu tun, dass wir immer überall Licht haben.*
600 *Das kommt von den Städten. Wenn du sagen wir mal weit weg von Wien bist...*

601 *Chris: OK.*

602 *Lehrer: Dann siehst du noch immer das Licht von Wien, weil das überall... Wenn du mal weiter weg*
603 *bist, dann siehst du da so eine richtige Lichtglocke über Wien. Das leuchtet wie, wie so eine Kugel*
604 *über die Stadt. Ja. (..) Finsternis in unserem Alltag bedeutet...?*

605 *Chris: ...das trotzdem noch in irgendeiner Art Licht vorhanden ist.*

606 *Lehrer: Ganz genau. (24 sec) <Chris schreibt auf.>*

607 *Chris: OK.*

608 *Lehrer: Umrisse sehen wir, weil...? (..)*

609 *Chris: Ähm. (..) Weil das Licht ja trotzdem noch vorhanden ist.*

610 *Lehrer: Hmhmm. Und wenn ich sage: Da ist ein dunkler Baum und ein heller Hintergrund. Wieso kann*
611 *ich das eine dunkel und das eine hell sehen?*

612 *Chris: Weil das weiße ja trotzdem noch etwas Licht widerspiegeln kann, also weitergeben kann.*

613 *Lehrer: Besser als...?*

614 *Chris: ...der dunkle Baum.*

615 *Lehrer: Genau. Umrisse sehe ich...*

616 *Chris: Ähm.*

617 *Lehrer: ...weil helle Flächen...?*

618 *Chris: ...helle Flächen... (..) <Chris schreibt auf.> Wie schreib ich das jetzt? Es gibt das ja weiter und*
619 *der Baum blockiert das ja. Weil helle Flächen von den dunkleren blockiert werden...*

620 *Lehrer: Hmhmm.*

621 *Chris: ...und dadurch... (.)*

622 *Lehrer: Und wo es nicht blockiert ist?*

623 *Chris: Dringt es durch, also wird es weiter...*

624 *Lehrer: Gehts weiter, genau. Weil helle Flächen Licht...*

625 *Chris: helle Licht...*

626 *Lehrer: ...besser weiterleiten als dunkle.*

627 *Chris: OK.*

628 *Lehrer: Oder?*

629 *Chris: Hmhmm.*

630 *Lehrer: Oder weitersenden, sagen wir. So wie da bei Schwarz und Weiß vorhin.*

631 *Chris: Hmhmm.*

632 *Lehrer: Ja. (..) <Chris schreibt parallel auf.> Und das Auge ist sehr sensibel, das kann mit ganz wenig*
633 *Licht auch auskommen. (..) Schauen wir uns als Nächstes die Funktionsweise deines Auges an.*

634 1 h 09 min 56 s - 1 h 11 min 00 s: Die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die
635 Funktionsweise deines Auges" wird von Chris vorgelesen. Dabei liest er neben den zu prüfenden
636 Aussagen auch die Tipps laut vor.

637 *Lehrer: Schauen wir uns mal eins bis vier an. Das mit dem Tipp hätten wir vielleicht gar nicht*
638 *gebraucht.*

639 *Chris: OK.*

640 *Lehrer: Aber egal, jetzt haben wir es schon gelesen. Du hast die vier Aussagen. Was glaubst du*
641 *davon ist richtig, was ist falsch. Können alle richtig sein, können alle falsch sein? (.) Sind nur manche*
642 *richtig?*

643 *Chris: Ich glaube, dass Nummer 1 ist richtig.*

644 *Lehrer: Hmhmm. Das ist mit dem Sehstrahl*

645 *Chris: Weil das Auge ja auch weiß ist und auch irgendwie das... (..) abne... äh senden kann. Es ist halt*
646 *auch ein aktives Organ, von dem ein Sehstrahl ausgeht, halt.*

647 *Lehrer: Hmhmm.*

648 *Chris: Hmhmm. Um einen Blick durchs Fenster zu werfen... Hmhmm. (9 sec) <Überlegt und*
649 *wiederholt einzelne Wörter.> Und das mit dem Fenster (..) Ähm, Nummer zwei ist (.) muss nicht sein,*
650 *weil (.) man kann ja auf die Wand schauen, man sieht das Fenster aber trotzdem. (..) Oder wie ist das*
651 *gemeint? (..)*

652 *Lehrer: Die Dinge, die du draußen sehen kannst...*

653 *Chris: Hmhmm.*

654 *Lehrer: ...siehst du die draußen, weil du einen Blick durch das Fenster wirfst, weil du von hier nach*
655 *außen siehst.*

656 *Chris: Ja.*

657 *Lehrer: Das ist gemeint. Weil eben zum Beispiel ein Sehstrahl von deinem Auge da rausgeschickt*
658 *wird. (..)*

659 *Chris: Hmhmm.*

660 *Lehrer: OK. (..) Und die anderen beiden? Können die auch richtig sein?*

661 *Chris: Um etwas sehen zu können, muss das Auge Licht empfangen. (..) Ja. (..) Was man ja auch*
662 *(?...) Baum zu...*

663 *Lehrer: Jetzt ist die Frage: Vergleichen wir mal zwei und drei. (..) Entweder schick ich einen Sehstrahl*
664 *aus und der überprüft ob das Blatt grünes Licht hat.*

665 *Chris: OK.*

666 *Lehrer: Oder, das grüne Licht geht in mein Auge hinein und in dem Auge wird überprüft, ob das Licht*
667 *grün ist. (..)*

668 *Chris: Also, wenn zwei richtig ist, dann kann drei ja nur falsch sein.*

669 *Lehrer: Ganz genau. Und jetzt ist die Frage, was mehr Sinn macht, zwei oder drei.*

670 *Chris: Ähm. (..) Also ich finde das beides Sinn macht, aber, ähm (..) das Auge muss ja irgendwie in*
671 *einer Weise Licht empfangen. Aber ich würde sagen, dass (..) hmhmm.*

672 *Lehrer: Nehmen wir den ersten Tipp. Du hast hier das Modell des Auges und die Vision Tube. Welche*
673 *Elemente kommen hier in der Vision Tube auch vor, die für das Sehen wichtig sind?*

674 *Chris: Ähm. (9 sec) Es kommt dieser, dieser Strahl rein bei dem auch Licht reinkommen kann.*

675 *Lehrer: Hmhmm. Wo kommt Licht rein bei der Vision Tube?*

676 *Chris: Durch das kleine Loch.*

677 *Lehrer: Und beim Aug ist das welcher Teil des Auges, wo Licht hineinkommt?*

678 *Chris: Bei der ähm Pupille.*

679 *Lehrer: Ganz genau. Die Pupille ist jener Bereich, wo es keine Iris gibt, ja. Das ist im Wesentlichen ein*
680 *Loch. OK. Ja. Und die Iris kann größer und kleiner werden, oder?*

681 *Chris: Hmhmm.*

682 *Lehrer: Wann ist sie zum Beispiel größer?*

683 *Chris: Wenn es wenig Licht vorhanden gibt.*

684 *Lehrer: Ja, damit tut sich das Aug dann leichter, ja.*

685 *Chris: Hmhmm. Dann kann es ja mehr Licht empfangen.*

686 *Lehrer: Ganz genau. Dann wirds größer. Und auch hier <bei der Vision Tube>, wenn ich das Loch*
687 *größer mache, dann geht das Ganze leichter. OK. Die Muskeln brauchen wir nicht direkt für den*
688 *Sehvorgang, nur um die Linse fokussieren zu können, ja. Der Sehnerv ist jener Teil, der die*
689 *Informationen ins Gehirn leitet, ja. Der blinde Fleck ist jener Punkt, wo der Sehnerv andockt und*
690 *deswegen kann da nix gesehen werden, weil dort andere Nervenzellen sitzen. Welcher Teil ist jetzt*
691 *derjenige, der Licht empfangen würde? (..)*

692 *Chris: Die Pupille, also...*

693 *Lehrer: Die lässt das Licht durch, haben wir gesagt.*

694 *Chris: Ja.*

695 *Lehrer: Genauso wie hier <das kleine Loch der Vision Tube>, das empfängt mal nix, aber es lässt*

696 *Licht hinein...*

697 *Chris: Das bedeutet drei ist richtig und zwei <Sehstrahlkonzept> ist falsch.*

698 *Lehrer: Ganz genau. Warum?*

699 *Chris: Ähm, weil (..) na ja wegen dem, was wir gerade besprochen haben, weil die Pupille braucht ja*
700 *etwas, um, um etwas sehen zu können und zwar das Licht. Sonst sieht man ja nichts.*

701 *Lehrer: Und was empfängt das Licht im Auge?*

702 *Chris: Ähm. (..)*

703 *Lehrer: Lies dir mal durch was da alles beschriftet ist. Und was macht am ehesten Sinn, wo das Licht,*
704 *wenn es durch die Pupille kommt, auftrifft. (..)*

705 *Chris: Ähm. (..) In der Linse?*

706 *Lehrer: Die Linse ist wie bei einer Lupe etwas Durchsichtiges.*

707 *Chris: Aha.*

708 *Lehrer: Da wird nur scharf gestellt, ja. Da wird das Licht umgelenkt, durchsichtig. (..) Dann gehst durch*
709 *die Pup..., in die Pupille rein, durch die Linse durch und was ist als Nächstes?*

710 *Chris: Ähm, der Glaskörper.*

711 *Lehrer: Ist der durchsichtig?*

712 *Chris: Äh, ich schätze mal schon, weil es heißt ja Glaskörper.*

713 *Lehrer: Ganz genau. Und wo trifft das Licht dann auf?*

714 *Chris: Äh, blinder Fleck oder der Sehnerv.*

715 *Lehrer: Sehnerv ist dahinter, ja, und was...*

716 *Chris: Die Netzhaut.*

717 *Lehrer: Die Netzhaut, ganz genau. Und der Punkt, wo der Sehnerv an der Netzhaut andockt, ist der*
718 *blinde Fleck, dort kann ich nix sehen, ja. Deswegen heißt er ja blinde Fleck. Aber die Netzhaut ist*
719 *jener Bereich, wo die ganzen Sensoren sch.... sitzen für das Licht, ja. Du kannst ja auch nicht riechen,*
720 *wenn die Nase verstopft ist, oder?*

721 *Chris: Hmhmm.*

722 *Lehrer: ...der Geruch nicht in die Nase kommt. Oder du kannst nichts abtasten, wenn du nicht*
723 *hingreifst, ja. Hier an der Oberfläche haben wir die Tastnerven, oder, oder hier wenn die Wärme*
724 *draufkommt, dann können wir das spüren. Und genauso ist es beim Sehen auch, ja. Das Licht muss*
725 *hineinkommen. Oft, kennst du das in den Comics, diese Bilder wo dann so ein, so ein Laser*
726 *weggeschickt wird.*

727 *Chris: Hmhmm.*

728 *Lehrer: Das ist das, was wir uns oft vorstellen unter Sehstrahl. Aber was im Auge könnte denn diesen*
729 *Sehstrahl produzieren? Wenn du sagst, das Auge ist weiß hier. Dann ist das etwas, was sozusagen...*

730 *Chris: ...reflektiert wird.*

731 *Lehrer: Genau, deswegen kann nicht das, kann nicht dein Auge rundherum sehen. Aber ich kann das*
732 *ja nur sehen, weil das Licht von da auf die weiße Fläche kommt und dann...*

733 *Chris: ...zurück geht.*

734 *Lehrer: ...zurück geht in meine Pupille.*

735 *Chris: Hmhmm.*

736 *Lehrer: Und dann auf die Netzhaut trifft. Und die Netzhaut wandelt das Licht dann in elektrische*
737 *Signale und das wird über den Sehnerv in das Gehirn geleitet.*

738 Chris: OK.

739 Lehrer: Aber ich habe keinen Sehstrahl. Und deswegen ist das Auge ein passives Organ. Ja. Das
740 quasi nur aufnimmt. Das kann nur empfangen.

741 Chris: Hmhmm.

742 Lehrer: Ja. Und nicht senden. Das Äußere vom Auge natürlich, ja. Die Iris, die seh ich ja in einer
743 Farbe und das Weiße seh ich auch. Das kann empfangen und senden. Aber innen drinnen ist nur
744 empfangen.

745 Chris: OK

746 Lehrer: Also schreiben wir uns das auf. Die Funktionsweise unseres Auges. Wie würdest du die
747 beschreiben?

748 Chris: Licht kommt in die Pupille...

749 Lehrer: Hmhmm.

750 Chris: ...durch den Glas..., äh, durch die Linse und den Glaskörper in die Netzhaut...

751 Lehrer: ...auf die Netzhaut.

752 1 h 19 min 52 s - 1 h 22 min 33 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben. Im
753 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Mond und Äpfel im Sonnenlicht"
754 vorgelesen.

755 Lehrer: Analysiere wiederum die Situation, verwende, was du schon weißt und beantworte die Fragen.
756 In welcher Ecke steht die Sonne?

757 Chris: Ähm. (..) Auf (..) Ecke, also da, da, da oder da.

758 Lehrer: Hmhmm.

759 Chris: Es sieht aus, als wärs da so, hier.

760 Lehrer: Da unten steht die Sonne? Rechts unten?

761 Chris: Ja, weil dann muss es ja dort... (..)

762 Lehrer: Auf welcher Seite ist es beleuchtet und auf welcher Seite ist es nicht beleuchtet? (..)

763 Chris: Also wenns unten ist, ist es nicht beleuchtet... (..)

764 Lehrer: Zeig mal mit dem Stift drauf, der Mond ist ja eine Kugel, welcher, welcher Teil der Kugel nicht
765 beleuchtet ist.

766 Chris: Also hier würds, würds ja weitergehen, aber...

767 Lehrer: Genau. Und deswegen kommt das Licht von welcher Richtung?

768 Chris: Von der Richtung, oder?

769 Lehrer: Ganz genau. Und das ist welches Eck?

770 Chris: Das hier.

771 Lehrer: Links oben. Also es kommt von da, von links oben da drauf. Und beim Apfel sieht mans auch.

772 Chris: Ja.

773 Lehrer: Die Seite, die nach links oben zeigt, die ist am hellsten, ja.

774 Chris: Ja.

775 1 h 24 min 03 s - 1 h 24 min 37 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

776 Lehrer: Ist die Beleuchtungssituation gleich oder unterschiedlich von Mond und Apfel? (..)

777 Chris: Wie? Hab ich, hab ich jetzt nicht ganz verstanden.

778 *Lehrer: Die zweite Frage: Inwiefern ist die Beleuchtungssituation von Mond und Apfel gleich?*

779 *Chris: Na ja, es geben beide das Licht weiter.*

780 *Lehrer: Sie geben es weiter. Ist es also gleich oder unterschiedlich? (.)*

781 *Chris: Ähm, das ist beides das Gleiche.*

782 *Lehrer: Ist gleich. Ja, weil das Licht kommt immer von der gleichen Richtung, ja, das ist eine Kugel,*
783 *das ist eine Kugel, ja. Und wieso ist das gleich, woher, wie erkenne ich das, dass die Situation gleich*
784 *ist?*

785 *Chris: Hmhmm.*

786 *Lehrer: Das es zum Beispiel keine zweite Sonne gibt.*

787 *Chris: OK.*

788 *Lehrer: Wo seh ich das, wo kann ich das erkennen?*

789 *Chris: Das es keine zweite Sonne gibt, oder?*

790 *Lehrer: Ja, dass zum Beispiel nicht da auch noch eine Sonne steht.*

791 *Chris: Weil da ja kein Licht, also von dort irgendwie kein Licht scheint.*

792 *Lehrer: Genau. Das Licht kommt nur... Das heißt, auf die Schattenseite kommt...*

793 *Chris: ...kein Licht.*

794 *Lehrer: ...kein Licht von dort <direkt von der Sonne>. Ja. Deswegen seh ich ihn <den Mond> da auch*
795 *nicht.*

796 1 h 25 min 46 s - 1 h 26 min 11 s: Das Erarbeitete wird wiederholt, um es aufzuschreiben.

797 *Lehrer: Und jetzt ist die Frage: Wenn das Licht da von oben <auf den Apfel> kommt, ja.*

798 *Chris: Hmhmm. (..)*

799 *Lehrer: Warum kann ich die Schattenseite sehen? Wir haben doch vorhin gesagt, wir brauchen Licht,*
800 *um etwas sehen zu können. Und ich seh aber die Schattenseite.*

801 *Chris: Na ja, man sieht ja das da Licht ist und es wär eigentlich dunkel, aber es wird ja auch von den*
802 *anderen Flächen Licht... (..)*

803 *Lehrer: Ganz genau. Ich kann die Schattenseite sehen, weil (.) die Blätter (.) Licht...?*

804 *Chris: ...Licht abgeben.*

805 *Lehrer: ...auf die Rückseite, auf die Schattenseite werfen. Genau.*

806 1 h 26 min 51 s - 1 h 27 min 50 s: Das Erarbeitete wird von Chris selbstständig aufgeschrieben. Im
807 Anschluss wird die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels "Die Lichtausbreitung einer Kerze"
808 vorgelesen.

809 *Chris: OK. Also das Licht von der Kerze.*

810 *Lehrer: Hmhmm. (..) In welche Richtung geht das?*

811 *Chris: Nach vorne, aber eher nach unten, also es wird eigentlich... So würde ich sagen. (..) <Chris*
812 *zeichnet.> So.*

813 *Lehrer: Nur in die zwei Richtungen?*

814 *Chris: Überall dazwischen.*

815 *Lehrer: Überall dazwischen. Na dann mach ein paar Striche. Ja.*

816 *Chris: Es geht auch, auch nach hinten. Eigentlich gehts überall hin...*

817 *Lehrer: Es geht auch nach hinten. Eigentlich gehts überall hin. Mach ein paar Striche, ja. Du musst*

818 *jetzt nicht alles vollmalen, aber man kann in alle Richtungen ein paar Striche malen, ja. (..) <Chris*
819 *zeichnet.> Und wenns am Stein ist?*

820 *Chris: Wird das da abgedeckt, scheint aber weiter. Also vom Stein scheint es halt wieder zurück.*

821 *Lehrer: Ja.*

822 *Chris: Und...*

823 *Lehrer: Aber, wenn das Licht von hier scheint.*

824 *Chris: Hmhmm.*

825 *Lehrer: Kann das Licht einfach, also, wenn ich das Licht jetzt da zeichne, kann das Licht*
826 *hierherkommen, einfach hier <in eine Richtung> weiterscheinen, oder was muss ich zeichnen, damit*
827 *das irgendwie Sinn ergibt? Ja. Schau dir die Stelle an. (..) Kommt hier Licht von der Kerze hin?*

828 *Chris: Ja.*

829 *Lehrer: Ja, dann mach einen Strich hin, ja.*

830 *Chris: Also dort auch hin. <An mehrere Stellen des Steins.>*

831 *Lehrer: In die Richtung (..) mit einem Pfeil, kannst auf der Linie einen Pfeil machen. <Chris zeichnet.>*

832 *Chris: Da überall.*

833 *Lehrer: Ja, genau. Verlängere den Pfeil, weil der geht ja bis zum Stein.*

834 *Chris: Stimmt.*

835 *Lehrer: Ja. (..) Und jetzt, was passiert als Nächstes? (..)*

836 *Chris: Ähm, also alles bis auf die Rückseite...*

837 *Lehrer: Hmhmm. (..)*

838 *Chris: Ähm, wird halt aufgesaugt, aber auch zurückgesendet.*

839 *Lehrer: Genau. Konzentrieren wir uns auf den einen Punkt, damit es übersichtlich bleibt. Zeichne das*
840 *Zurücksenden oder Weitersenden auf. Wie wird das weitergeschickt? (..)*

841 *Chris: Auch so wie die Kerze in alle Richtungen nach vorne.*

842 *Lehrer: In alle Richtungen nach vorne, weil durchs, durch den Stein gehts nicht, ja. Also zeichne die*
843 *Richtungen ein.*

844 *Chris: Wahrscheinlich geht das da so... (..)*

845 *Lehrer: Ja.*

846 *Chris: ...so und dorthin und da auch so.*

847 *Lehrer: Ja, und wenn du sagst in alle Richtungen, dann mach gleich zwei, drei Pfeile, ja. (..) <Chris*
848 *zeichnet.> Genau. Also wenn du bei dem Punkt bist, ja, wenn du sagst alle Richtungen. Ja, und jetzt*
849 *hier, der letzte Weg geht ins Auge hinein.*

850 *Chris: Hmhmm.*

851 *1 h 30 min 46 s - 1 h 30 min 52 s: Es gibt eine kurze Ablenkung, weil eine befreundete Nachbarin*
852 *Chris sucht. Die Aufzeichnung wird kurz pausiert.*

853 *Lehrer: Das heißt, es geht von da <der Kerze> auf den Stein und wird weitergesendet ins Auge, wie*
854 *du richtig gezeichnet hast <schon vorher und selbstständig>. Und jetzt, stelle dir statt dem Stein einen*
855 *Spiegel vor! Unter welcher Bedingung könnte der Spiegel blenden? Wieso kann der Stein dich nicht*
856 *blenden?*

857 *Chris: Der Spiegel tut das ganze Licht gebündelt in diesen einen Fleck. Und wenn es halt genau ins*
858 *Auge trifft, blendet es einen halt.*

859 *Lehrer: Hmhmm.*

860 *Chris: Und beim, sonst ist es ja...*

861 *Lehrer: Also schreiben wir das auf, ja.*

862 1 h 31 min 28 s - 1 h 32 min 37 s: Das Erarbeitete wird von Chris selbstständig aufgeschrieben.

863 *Lehrer: Und wieso kann der Stein dich nicht blenden?*

864 *Chris: Weil dort wird das Licht verstreut und das weitersenden ist schwächer halt.*

865 1 h 32 min 42 s - 1 h 33 min 26 s: Das Erarbeitete wird von Chris selbstständig aufgeschrieben. Im

866 Anschluss wird die Unterrichtseinheit beendet.