

**Förderung der Bewertungskompetenz im Kontext der
Lichtverschmutzung**

Diplomarbeit

zur Erlangung
des akademischen Grades einer Magistra der Naturwissenschaften
an der Karl- Franzens- Universität Graz

vorgelegt von

Michaela PEIER

am Institut für Physik

Begutachterin: Ass.- Prof. Mag. rer. nat. Dr. phil. Claudia Haagen- Schützenhöfer

Graz, Mai 2015

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Planung, Durchführung und Auswertung eines Unterrichtskonzepts im Kontext der Lichtverschmutzung, welches die Förderung der Bewertungskompetenz von Schülern und Schülerinnen als Ziel verfolgt. Die Bewertungskompetenz beschreibt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit Entscheidungen systematisch und begründet zu treffen, anstatt rein intuitiv. Basierend auf den theoretischen Grundlagen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz und der Didaktischen Rekonstruktion sollte untersucht werden, ob sich das entwickelte Unterrichtsmaterial zur Lichtverschmutzung förderlich auf die Teilkompetenzen „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ und „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ der Lernenden auswirkt. Anhand der Ergebnisse aus dem Vor- und Nachfragebogen, sowie aus den Resultaten der Unterrichtsintervention und den Think-Aloud Interviews kann geschlossen werden, dass das entwickelte Konzept die Bewertungskompetenz der sechs teilnehmenden Lernenden fördert, und somit eine sehr gute Grundlage für die Erstellung einer ganzen Lehr- und Lernsequenz darstellt. Ferner zeigten die Ergebnisse, dass die kognitive Verarbeitung der physikalischen Inputs direkt mit dem erreichten Kompetenzniveau zusammenhängt. Je besser der Inhalt verstanden wurde, desto höher lag die erreichte Niveaustufe. Daraus ist ersichtlich, dass bei einer schulischen Umsetzung des entwickelten Materials eine intensivere und längerfristige Auseinandersetzung mit den physikalischen Konzepten zur Lichtverschmutzung im Vorhinein sinnvoll wäre um die Bewertungskompetenz noch besser und nachhaltiger fördern zu können. Da die Stichprobe allerdings nur aus sechs TeilnehmerInnen bestand, sollten die Ergebnisse nicht verallgemeinert werden.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to develop, analyse and evaluate a lesson concept in the context of light pollution which has been established to enhance students' decision-making competence. This competence describes the ability to resort to decision making strategies in order to decide reasonably and profoundly instead of intuitively. The main theoretical models upon which the established concept is based are firstly, the model of decision making competence developed by Eggert and Bögeholz and secondly, the model of educational reconstruction. These models should support the analysis to what extent the conducted lesson has encouraged students to use specific strategies to come to a decision. The data which is used to analyse the decision making competence before and after the conducted lesson is based on two questionnaires, the tasks given in the lesson itself and the think-aloud interviews.

The analysis of the results shows that the developed material used in the classroom intervention has been successful in improving the participants' decision making competence. Therefore, the material represents a substantial basis for establishing a whole teaching sequence concerning light pollution and the fostering of the decision making competence. However, due to the fact that the better the scientific input is cognitively processed, the better the students perform with respect to the decision making competence, it is advisable to deal with the physical phenomena connected to light pollution in more detail beforehand. By considering this, the implied competence can be enhanced even more sustainably. Moreover it should be taken into account that only six students participated in the developed lesson which is why the outcomes must not be generalised.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Ich habe nur in der Bibliographie angegebene Quellen verwendet und die aus ihnen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Graz, Mai 2015

Michaela Peier

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen lieben Menschen, die mich während meiner gesamten Studienzeit tatkräftig unterstützt haben, herzlich bedanken.

Ein herzliches Dankeschön...

...an Frau Ass.- Prof. Mag. rer. nat. Dr. phil. Claudia Haagen- Schützenhöfer für die ausgezeichnete und kompetente Betreuung und Unterstützung beim Verfassen der Diplomarbeit.

...an meine gesamte Familie, die mich immer in allen Situationen unterstützt hat und mir mit Rat und Tat in allen Lebenslagen zur Seite stand. Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Anita und Othmar Peier bedanken, die immer für ihre Sprösslinge da sind und mir nicht nur in emotionaler Hinsicht stets zur Seite stehen, sondern mir auch in finanziellen Belangen während der Studienzeit unter die Arme griffen. Danke für alles.

...an Michi, für deine Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit. Danke, dass du immer für mich da bist.

...an all meine Studienfreunde und Studienfreundinnen aus Physik und Englisch, mit denen ich gemeinsam die Herausforderungen des Studiums aufnahm, unsere Erfolge feierte und wunderschöne Erinnerungen schuf und hoffentlich noch schaffen werde.

Allen voran möchte ich hier besonders Steffi danken. Danke für die zahlreichen, unvergesslichen Stunden, in denen wir zusammen gelernt, gefiebert, beinahe geweint, gelacht bis zum Umfallen und gefeiert haben. Ich hoffe, dass noch viele solche Stunden folgen werden.

...an meine Freunde und Freundinnen außerhalb des Studiums, auf die ich mich zu jeder Zeit in allen Lebenslagen verlassen kann.

...an die Schüler und Schülerinnen der siebten Klasse des Keplergymnasiums, ohne die es gar nicht möglich gewesen wäre, diese Diplomarbeit zu verfassen. Danke, dass ihr einen Teil eurer Freizeit für diese Arbeit zur Verfügung gestellt habt und mich so tatkräftig bei der Datenerhebung unterstützt habt. Danke für die tolle Zusammenarbeit.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	2
2. Theoretische Fundierung	5
2.1. Begriffsdefinition der Bewertungskompetenz	5
2.2. Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz	8
2.3. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	16
3. Entwicklung der Unterrichtsmaterialien	24
3.1. Planung des Unterrichtskonzepts	24
3.2. Didaktische Rekonstruktion der Konzepte für das Unterrichtsmaterial.....	32
3.2.1. Lichtverschmutzung	32
3.2.2. Station Lampenfarbe.....	36
3.2.3. Station Beleuchtungsstärke	41
3.2.4. Station Leuchtentyp.....	46
3.3. Auswertungsschema für die entwickelten Stationen	51
3.3.1. Auswertungsschema für die Beleuchtungsstärke	52
3.3.2. Auswertungsschema für die Lampenfarbe.....	55
3.3.3. Auswertungsschema für den Leuchtentyp	59
4. Untersuchungsdesign	62
4.1. Datenerhebung durch den Pre- und Posttest	63
4.1.1. Aufbau des Pretests	63
4.1.2. Aufbau des Posttests.....	68
4.2. Datenerhebung durch die Unterrichtseinheit.....	70
4.2.1. Bewertungsaufgaben der Stationen.....	71
4.2.2. Die Bewertungstabelle	75
4.2.3. Das Concept Cartoon	76
4.3. Datenerhebung durch die Think- Aloud Interviews	79
5. Auswertung der Daten.....	80
5.1. Auswertung des Pretests.....	80
5.1.1. Lernmotivation, Bedeutung der Lehrinhalte und Selbsteinschätzung im Physikunterricht	81

5.1.2.	Schülervorstellungen zum Thema Optik	84
5.1.3.	Ergebnisse der Fragen zur Bewertungskompetenz	87
5.1.4.	Schülervorstellungen zur Lichtverschmutzung	92
5.2.	Auswertung der Unterrichtseinheit	94
5.2.1.	Auswertung der Station Beleuchtungsstärke	95
5.2.2.	Auswertung der Station Lampenfarbe	96
5.2.3.	Auswertung der Station Leuchtentyp	98
5.2.4.	Auswertung der Bewertungstabellen	100
5.2.5.	Auswertung des Concept Cartoons	103
5.3.	Auswertung des Posttests	107
5.4.	Auswertung der Think- Aloud Interviews	120
6.	Diskussion der Ergebnisse	129
7.	Fazit	132
8.	Literaturverzeichnis	133
9.	Abbildungsverzeichnis	137
10.	Tabellenverzeichnis	139
11.	Anhang A: Das entwickelte Unterrichtsmaterial	141
12.	Anhang B: Unterlagen zur Power Point Präsentation	154
13.	Anhang C: Design des Pretests	159
14.	Anhang D: Interviewleitfaden	171
15.	Anhang E: Ausgefüllte Bewertungstabellen und Concept Cartoons	183

1. Einleitung und Problemstellung

Entscheidungen treffen gehört zu den alltäglichen Handlungen unseres Lebens. Dabei unterscheiden sich diese oft im Grad der Komplexität. Oft fällt es leicht Entscheidungen zu fällen, wobei das Bauchgefühl dann meist das Richtige ist. Im Gegensatz dazu gibt es einige Ausnahmen, in denen die Entscheidungssituation sehr komplex ist und man nicht recht weiß, wie man am besten vorgehen soll. Seit der Einführung der Bildungsstandards im Jahr 2009 in Österreich ist es den Schulen aus bildungspolitischer Sicht auch ein Anliegen, den SchülerInnen unter dem Aspekt der Bewertungskompetenz beizubringen, Entscheidungen systematisch und strategisch zu treffen. Im Physikunterricht wird vor allem auf den Aspekt des umweltgerechten, nachhaltigen und verantwortungsbewussten Handelns fokussiert, in den auch fachliche Blickpunkte mit eingebracht werden. Ein Hauptziel dieser Diplomarbeit ist es demnach, basierend auf bekannten Bewertungskompetenzmodellen ein zweistündiges Unterrichtskonzept für SchülerInnen in der Sekundarstufe 2 zu erstellen, welches die Bewertungskompetenz der Lernenden fördert, sowie dieses unter den Blickpunkten Sachkompetenz und Bewertungskompetenz zu evaluieren.

Als physikalischer Entscheidungskontext dafür wurde die Lichtverschmutzung gewählt. Die Lichtverschmutzung ist ein recht neomodernes Problem, welches durch die überschwängliche Produktion von künstlichem Licht verursacht wird und vor allem negative Auswirkungen auf Mensch und Tier in der Nacht mit sich zieht, wie zum Beispiel Schlafstörungen und Desorientierung (vgl. Kostenzer 2003). Unter künstlichem Licht versteht man hierbei Licht, welches mit Hilfe eines Leuchtmittels, wie beispielsweise einer LED oder einer Energiesparlampe, produziert wird. Im Gegensatz dazu ist mit natürlichem Licht das abgestrahlte Sonnenlicht, in diesem Kontext aber speziell das Licht des Mondes und der Sterne, gemeint. Durch die Abstrahlung von künstlich produziertem Licht in den Nachthimmel, das eigentlich keinem Beleuchtungszweck dient, wird das natürliche Licht der Sterne und des Mondes überstrahlt, sodass der Sternenhimmel nicht mehr klar erkennbar ist (vgl. Posch 2014). Hauptverursacher dieses Phänomens sind vor allem schlecht abgeschirmte Außenbeleuchtungen, die zu viel Licht abstrahlen, sowie Leuchtreklamen für Werbung und Effektbeleuchtungen bei Gebäuden. Da durch einfache Vorkehrungen in Bezug auf mehrere Arten von Außenbeleuchtungen der Lichtverschmutzung einfach vorgebeugt werden kann, wurde dieser Ansatz als Ausgangspunkt für die schulische Umsetzung des Themas gewählt. Unter diesem Aspekt werden SchülerInnen einer Entscheidungssituation gegenübergestellt, die darauf abzielt, mit Hilfe von systematischem und strategischem Vorgehen zu einer Handlungsoption zu gelangen, die sie in der fiktionalen Situation umsetzen würden.

Eine Herausforderung bei der Erstellung der Unterrichtseinheit ist, dass es sehr wenige Materialien zu beidem, der Förderung der Bewertungskompetenz sowie der Lichtverschmutzung, im Physikunterricht gibt. Deshalb ist ein weiterer wichtiger Punkt dieser Diplomarbeit, Materialien zu erstellen und zu evaluieren, die im Unterricht angewandt werden können und den SchülerInnen dabei helfen, ein Strategiewissen für systematisches Entscheiden zu erlangen.

Bei der Erstellung und Evaluierung der Unterrichtsmaterialien stehen zwei Fragen im Vordergrund:

1. Was muss bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien zur Förderung der Bewertungskompetenz berücksichtigt werden?
2. Können durch die Unterrichtsintervention die Teilkompetenzen Generieren und Reflektieren von Sachinformationen sowie Bewerten, Entscheiden und Reflektieren der SchülerInnen im Kontext der Lichtverschmutzung effizient gefördert werden?

Die erste Frage soll anhand von Literatur über den aktuellen Stand der Forschung zur Bewertungskompetenz und zu deren Förderung beantwortet werden. Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz dient dabei als eine theoretische Grundlage für diese Arbeit, da es näher erläutert, wie sich diese Kompetenz zusammensetzt und welche Entscheidungsprozesse durchlaufen werden müssen, damit die Bewertungskompetenz gefördert werden kann. Weiters stellt das Modell der Didaktischen Rekonstruktion einen wichtigen Aspekt der theoretischen Fundierung dar, da dieses sich damit beschäftigt, was bei der Erstellung von Unterrichtsmaterialien beachtet werden muss, wie zum Beispiel Schülervorstellungen. Beide Modelle sowie eine kurze Erläuterung zur Definition der Bewertungskompetenz werden im Kapitel zur theoretischen Fundierung (Kapitel 2) vorgestellt.

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage soll sich aus der Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation der Unterrichtseinheit ergeben. Zu diesem Zweck wird in Kapitel 3 die Planung und Erstellung des Unterrichtsmaterials vorgestellt. Anschließend werden in Kapitel 4 und 5 jeweils das Forschungsdesign sowie die Durchführung und Auswertung der einzelnen Datenerhebungsmethoden erläutert und auch interpretiert. In Kapitel 6 werden schließlich die Ergebnisse nochmals kurz diskutiert und Verbesserungsvorschläge sowie zusätzliche Informationen, die bei der Weiterführung der Einheiten berücksichtigt werden sollten, näher erläutert. Zum Schluss der Diplomarbeit soll

die Schlussfolgerung Einblicke dahingehend geben, wie erfolgreich die Forschungsmethode zur Beantwortung der Fragen gewesen ist.

2. Theoretische Fundierung

In diesem Teil der Arbeit werden die zugrundeliegenden theoretischen Hintergründe genauer dargelegt, die bei der Erstellung des Unterrichtsmaterials bzw. zur Förderung der Bewertungskompetenz bedacht wurden. Es wird eine kurze Definition der Bewertungskompetenz gegeben, die dabei helfen soll zu verstehen, was die grundlegenden Prinzipien hinter dem Begriff sind.

Weiters wird das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz vorgestellt, welches als Strukturmodell für diesen Kompetenzbereich dient. In diesem Modell werden fundamentale Aspekte, welche beschreiben, woraus die Bewertungskompetenz besteht und welche Phasen zu ihrer Förderung durchlaufen werden müssen, behandelt.

Der letzte Aspekt beschäftigt sich mit der Didaktischen Rekonstruktion, welche sich mit dem theoretischen Hintergrund zur Erstellung und Umsetzung von Unterrichtseinheiten beschäftigt.

2.1. Begriffsdefinition der Bewertungskompetenz

Ein Bildungsauftrag des österreichischen Curriculums in Physik ist es, die SchülerInnen dazu zu bewegen, „einen nachhaltigen Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen zu übernehmen, sowie eine rationale Kritikfähigkeit bei gesellschaftlichen Problemen zu entwickeln“¹. Um dies zu erreichen wurden Kompetenzen festgelegt, die die SchülerInnen im Laufe ihrer Schulkarriere erwerben und sie dabei unterstützen sollen in variablen Situationen verantwortungsvoll und nachhaltig vorzugehen. Da der Kompetenzbegriff in verschiedenen Kontexten unterschiedlich interpretiert wird, folgt hier eine Begriffsdefinition im schulischen Kontext. Weinert versteht unter einer Kompetenz „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen“ (Weinert 2001, 27). Dabei sollen SchülerInnen auch die Fähigkeit erwerben, soziale und motivationale Aspekte in ihre Problemlösung einfließen zu lassen und zu berücksichtigen. Im schulischen Unterricht ist es daher notwendig, fachliche und fachübergreifende Kompetenzen sowie Handlungskompetenzen zu fördern. Die fachliche Kompetenz bezieht sich dabei auf die inhaltliche Ebene des Unterrichts, wie zum Beispiel auf Inhalte physikalischer Natur und die fachübergreifende Kompetenz auf das Problemlösen unter Berücksichtigung mehrerer Aspekte und Teamfähigkeit. Handlungskompetenz erlaubt dann den SchülerInnen ihr erworbenes Wissen, sowie die Problembetrachtung aus verschiedenen

¹ Österreichischer Lehrplan für die AHS- Oberstufe in Physik zu finden im Bereich „Mensch und Gesellschaft“: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?4dzgm2

Perspektiven in einer Lebenssituation erfolgreich anzuwenden. Auf der Handlungsdimension einer Kompetenz werden auch moralische und ethische Blickwinkel mit einbezogen (vgl. Weinert 2001, 28). Dabei sollen die SchülerInnen durch die Aneignung solcher Kompetenzen in der Lage sein, verschiedenste, kontextunabhängige Problemsituationen in ihrem Leben bewältigen und zum Wohl der Gesellschaft und der Umwelt verantwortungsbewusst handeln zu können.

Zusammenfassend können im schulischen Kontext unter Kompetenzen die erlernbaren, kognitiven Fähigkeiten von SchülerInnen verstanden werden, die ihnen ermöglichen auf Basis von erlangtem Fachwissen und unter Berücksichtigung von gesellschaftsrelevanten Faktoren komplizierte Alltagssituationen und Probleme zu lösen. Zusätzlich soll die Aneignung von Kompetenzen den Lernenden dazu verhelfen eine Einstellung bzw. Bereitschaft zu entwickeln, alltägliche Probleme im Sinne der Gesellschaft und Umwelt zu lösen.

Seit der Einführung der Bildungsstandards rückt die Bewertungskompetenz als eine dieser grundlegenden Kompetenzen im Physikunterricht noch stärker in den Fokus. Im Kompetenzmodell der Naturwissenschaften für die Schulstufen 8 und 12 findet man die Bewertungskompetenz unter der Rubrik „Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln“² und sie ist daher ein wesentlicher Aspekt der Handlungsdimension im naturwissenschaftlichen Unterricht. Da SchülerInnen in der Regel eher intuitiv und aus dem Bauch heraus Entscheidungen treffen, was durchaus auch sehr gute Resultate hervorbringen kann, stellt die Bewertungskompetenz den bildungswissenschaftlichen Anspruch dar, den SchülerInnen beizubringen, wie man systematisch und begründet eine Entscheidung in komplexen Situationen fällt (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 187). Im vorläufigen naturwissenschaftlichen Kompetenzmodell für Physik werden die verschiedenen Stufen der Fähigkeiten, die die SchülerInnen in dieser Kompetenzdomäne akquirieren sollen, wie folgt beschrieben (Bundesinstitut bifie NAWI 8, vorläufige Endversion 2011, 2):

„Ich kann einzeln oder im Team...

S1 Daten, Fakten und Ereignisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen.

² Siehe Kompetenzmodell Naturwissenschaften für die 8. Schulstufe:
https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf

- S2** Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln.
- S3** die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Berufsweges zu verwenden.
- S4** fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nichtnaturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden. “

Aus diesen unterschiedlichen Teilkompetenzen lassen sich zwei Fakten ableiten. Erstens, dass diese kurze Beschreibung der Operationalisierung nicht erklärt, was mit dem Überbegriff Bewertungskompetenz gemeint ist und zweitens, dass die Anforderung an die SchülerInnen, gleichzeitig zu bewerten, zu argumentieren und schließlich zu einer Entscheidung zu kommen, kognitiv sehr anspruchsvoll ist. Die kurze Definition des Bewertungsbegriffes lässt somit einen großen Interpretationsraum offen, weshalb in der Literatur mehrere ähnliche Definitionsansätze gefunden werden können (vgl. Bögeholz 2000, Hostenbach 2011, Eilks et al 2001).

Es ist besonders darauf zu achten, Bewerten nicht mit Beurteilen und der Vergabe von Noten aus Sicht der Lehrperson zu verwechseln, da sich Bewerten in diesem Fall spezifisch auf eine zu erwerbende Fähigkeit von Schülern und Schülerinnen bezieht (vgl. Bögeholz 2013, 72) Für den Zweck dieser Arbeit wird die Definition von Bögeholz herangezogen, in der die Bewertungskompetenz als „Fähigkeit, sich in komplexen Problemsituationen begründet und systematisch zwischen unterschiedlichen Handlungsoptionen zu entscheiden, um kompetent am gesellschaftlichen Diskurs um die Gestaltung von Nachhaltiger Entwicklung teilhaben zu können“ (Bögeholz 2007, 209) bezeichnet wird.

Bewertungskompetenz im schulischen Kontext zielt darauf ab, den SchülerInnen beizubringen, wie Lösungsansätze für komplizierte Probleme systematisch mit Hilfe von gesellschaftsrelevanten und fachspezifischen Kriterien bearbeitet, gewichtet und umgesetzt werden können. Um zu einer begründeten und fundierten Entscheidung zu kommen, müssen die SchülerInnen mehrere Perspektiven und Handlungsoptionen bedenken (vgl. Eggert et al. 2010, 231). Dies impliziert, dass fachliches Wissen mit sozialen und ethischen Aspekten sowie ökonomischen und ökologischen Faktoren verbunden wird und somit an lebensnahe und praktischem Wert für die SchülerInnen gewinnt. Beliebte Themen, die für die Förderung der Bewertungskompetenz im Physikunterricht herangezogen werden, sind jene, die unter vielen Aspekten betrachtet werden können und auch in der Gesellschaft polarisieren. Beispiele dafür wären die Thematik der Kernkraftwerke, der Klimawandel und die Verwendung von erneuerbarer Energie (vgl. Menthe et al. 2013, 41)

2.2. Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz

Um die Bewertungskompetenz angemessen fördern zu können und um zu wissen, was bei der Planung der Unterrichtseinheiten in Erwägung gezogen werden muss bzw. welche Fertigkeiten sich die Lernenden bezüglich der Bewertungskompetenz aneignen sollen, ist es erforderlich ein adäquates Strukturmodell der Bewertungskompetenz, welches deren sämtliche Teilkompetenzen darstellt, näher in Betracht zu ziehen (vgl. Knittel 2013, 15). Für den Zweck dieser Arbeit wurde das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz herangezogen, welches aus der Biologiedidaktik stammt. Das Modell beruht auf dem Prozessmodell der Entscheidungsfindung, welches von Betsch und Haberstroh entwickelt wurde (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 178). Dabei wird der Entscheidungsprozess in drei verschiedene Phasen geteilt, nämlich der präselektionalen Phase, der selektionalen Phase und der postselektionalen Phase. Die folgende Tabelle soll als Überblick des Modells dienen, wobei auf die erwähnten Begriffe im Laufe des Kapitels näher eingegangen wird. Es sei hier angemerkt, dass sich der postselektionalen Phase nicht direkt eine Teilkompetenz des Göttinger Modells zuordnen lässt und deswegen hier nicht explizit berücksichtigt wird (vgl. Hostenbach 2011, 34). Sie spielt dennoch eine essentielle Rolle im gesamten Entscheidungsprozess, der zur Förderung der Bewertungskompetenz durchlaufen wird.

Teilkompetenzen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz (Eggert & Bögeholz 2006)	Einordnung in das Prozessmodell der Entscheidungsfindung (Haberstroh & Betsch 2005)
a. Generieren und Reflektieren von Sachinformationen	Präselektionale Phase <ul style="list-style-type: none"> • Informationssuchprozesse • Verarbeitungsprozesse
b. Bewerten, Entscheiden und Reflektieren	Selektionale Phase <ul style="list-style-type: none"> • Bewertungsprozess • Vergleich möglicher Optionen • Anwenden von Entscheidungsstrategien
c. Nennen und Verstehen von Werten und Normen	Kein Prozess nach dem Prozessmodell der Entscheidungsfindung, sondern domänenspezifisches biologisches Wissen
d. Kennen und Verstehen von nachhaltiger Entwicklung	

Tabelle 1: Übersicht des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz nach Hostenbach (2011, 35)

Präselektionale Phase

In dieser Phase ist es primär wichtig, auf Grund von einer gezielten Informationssuche einen Ist- Zustand und Soll- Zustand einer bestimmten Situation zu identifizieren. Dabei ist darauf zu achten, dass ein sichtbarer Unterschied zwischen den beiden Zuständen zu erkennen ist (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 178). Durch die Identifikation einer entscheidungsrelevanten Situation können schließlich mehrere Entscheidungsoptionen anhand von den gefundenen Fakten und Kriterien näher beschrieben und dargestellt werden. Betsch & Haberstroh (2005 zitiert nach Eggert und Bögeholz 2006) weisen zusätzlich auf den Einfluss von persönlichen Erfahrungen und Erinnerungen auf die Informationssuche hin, die aber in der präselektionalen Phase ungewertet zur Kenntnis genommen werden sollen. Laut Bögeholz und Eggert „mündet die Informationssuche letztendlich in der Aufbereitung einer Entscheidungssituation“ (Eggert & Bögeholz 2006, 178).

Selektionale Phase

In der selektionalen Phase kommt es zum Vergleichen der Vor- und Nachteile der einzelnen Entscheidungsoptionen, sie stellt somit den eigentlichen Bewertungsprozess dar. In dieser Phase ist es ausschlaggebend, sich beim Vergleich der Sachinformationen in andere Perspektiven hineinzusetzen sowie gesellschaftliche Werte und Normen zu berücksichtigen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006). Da diese Art der Entscheidungsfindung in der Regel sehr komplex ist, ist es hilfreich Entscheidungsstrategien systematisch anzuwenden. Im Göttinger Modell der Bewertungskompetenz wird beispielsweise zwischen der kompensatorischen und non- kompensatorischen Entscheidungsstrategie differenziert.

- Die kompensatorische Entscheidungsstrategie wird dann angewandt, wenn die verschiedenen Kriterien einer Entscheidungsoption miteinander abgewogen werden. Dabei können die Nachteile eines Kriteriums durch dessen Vorteile kompensiert werden. Auf Grund von dieser Kompensation wird diese Strategie auch als „trade-off“ Strategie bezeichnet (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 178).
- Bei der non- kompensatorischen Entscheidungsstrategie kann ein Kriterium nicht auf Grund seiner positiven Aspekte aufgewogen werden und kann somit als Entscheidungsoption eliminiert werden. Es ist dabei darauf zu achten, dass bei Anwendung der non- kompensatorischen Strategie wichtige Blickwinkel nicht berücksichtigt werden (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 181).

Je nachdem, wie komplex der gegenübergestellte Entscheidungskontext ist, wird entweder die kompensatorische oder die non- kompensatorische Strategie gewählt. Bei einer geringen Anzahl von Optionen wird zur kompensatorischen Entscheidungsstrategie tendiert, während bei einer großen Zahl von Optionen eher die non- kompensatorische gewählt wird. Am Schluss der selektionalen Phase soll eine Handlungsintention formuliert werden, die zu einer Verwirklichung der ausgewählten Option führen soll.

Postselektionale Phase

In der postselektionalen Phase kommt es zur Überprüfung der Umsetzbarkeit der Entscheidung, die gefällt wurde. Bögeholz und Eggert behaupten, dass hierzu vor allem „Abschätzungen über die Realisierbarkeit der Handlungsintention, den optimalen Zeitpunkt, bzw. die Zeitdauer einer Handlung, aber auch Überlegungen, die einen erfolgreichen Abschluss der Implementation unterschützen“(Eggert & Bögeholz 2006, 181), gehören.

Hier sei angemerkt, dass sich das hier vorgestellte Diplomarbeitenprojekt hauptsächlich auf die selektionale Phase von Entscheidungsprozessen bezieht. Die präselektionale Phase wurde schon im Vorhinein durchgearbeitet, bzw. es werden den SchülerInnen die benötigten Sachinformationen schon vorgelegt, sie müssen also nicht selbst recherchieren. Allerdings befassen sie sich intensiv mit der Verarbeitung der Sachinformationen, was Teil der präselektionalen Phase ist. Grund dafür ist einerseits die Zeitbegrenzung von zwei bis zwei ein halb Stunden, in denen die Unterrichtseinheit stattfinden wird. Andererseits erscheint es auch sinnvoll sich auf den Entscheidungsprozess im engeren Sinn zu konzentrieren, um die Lernenden mit verschiedenen Vorgehensweisen diesbezüglich vertraut zu machen. Die postselektionale Phase beinhaltet für den Zweck dieser Diplomarbeit eine nicht sehr große Relevanz. Auch auf Alltagsentscheidungen, welche nicht auf einem strategischen Vorgehen beruhen und deswegen zu post- hoc Rechtfertigungen bezüglich der getroffenen Entscheidung führen, werden in dieser Diplomarbeit nicht berücksichtigt.

Teilkompetenzen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz

Wie schon zuvor kurz angemerkt und aus Tabelle 1 ersichtlich, stellt das Göttinger Modell ein Strukturmodell der Bewertungskompetenz dar und teilt diese deswegen in vier weitere Teilkompetenzen, welche in diesem Abschnitt vorgestellt werden (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 189):

- a) Generieren und Reflektieren von Sachinformationen
- b) Bewerten, Entscheiden und Reflektieren
- c) Kennen und Verstehen von Werten und Normen
- d) Kennen und Verstehen von Nachhaltiger Entwicklung

Die erste Teilkompetenz, Generieren und Reflektieren von Sachinformationen, lässt sich der präselektionalen Phase nach Betsch und Haberstroh zuordnen. Eggert und Bögeholz erklären, dass hier vor allem die Planung, Durchführung und Aufbereitung der Datenerhebungen bzw. der Untersuchungen der SchülerInnen im Vordergrund stehen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 189). Ziel der Datenerhebung und der Untersuchungen ist es, eine Auswahl an Handlungsoptionen zu identifizieren, in denen die sozialen, ökologischen und ökonomischen Blickpunkte ebenfalls beschrieben werden. Ein weiterer Aspekt, der für Eggert und Bögeholz eine zentrale Rolle spielt, betrifft das Abschätzen der Konsequenzen, die die Umsetzung der einzelnen Optionen zur Folge haben könnten (vgl. Eggert und Bögeholz 2006, 189). Ziel hinter der Reflektion über mögliche Folgen der Maßnahmen ist, dass SchülerInnen den Zusammenhang zwischen Realität und Modellbildung, die auf Datenerhebungen basieren, erkennen. Prinzipiell sollen sie verstehen, dass Untersuchungen und Sachinformationen sich der Realität immer nur annähern und somit auch kritisiert und hinterfragt werden müssen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 190). Mit Hilfe dieser Vorgehensweise können unerwünschte Folgen der einzelnen Optionen zu einem gewissen Maße vorhergesehen werden und führen dann nicht zu bösen Überraschungen. Des Weiteren wird so „die Fähigkeit (der SchülerInnen) zum Umgang mit unsicherem Wissen gefordert“ (Eggert & Bögeholz 2006, 190). Somit erlangt die Teilkompetenz „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ einen hohen Grad an Relevanz nicht nur für die Bewertungskompetenz an sich, sondern auch für den allgemeinen Physikunterricht.

Beim nächsten zentralen Aspekt, welcher der selektionalen Phase zugeschrieben wird, handelt es sich um die Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“. Hier findet hauptsächlich das Vergleichen und Abwägen der einzelnen Handlungsoptionen statt, da das intuitive, rechtfertigende Entscheiden bei einer komplexen Situation nicht mehr ausreicht um zu einem befriedigenden, begründeten Resultat zu gelangen. Um die verschiedenen Handlungsoptionen systematisch zu vergleichen, müssen Entscheidungsstrategien, wie die kompensatorische oder non- kompensatorische, angewandt werden. Hier charakterisiert sich die non- kompensatorische Strategie durch das Anwenden eines sogenannten KO-Systems, in dem Optionen nach Erreichen eines Schwellwertes nicht mehr zur Auswahl stehen, und im Gegensatz dazu die kompensatorische Strategie durch das Abwägen von Vor- und Nachteilen. Anschließend soll eine Handlungsoption ausgewählt und schließlich noch

darüber reflektiert werden. Diese kritische Reflexion soll eine Fehleranalyse der verwendeten Strategien sowie eine differenzierte Betrachtung der gefällten Wertentscheidungen beinhalten (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 190)

Während sich die ersten beiden Teilkompetenzen sehr stark mit dem Bewerten und Reflektieren der Sachinformationen auseinandersetzen, fokussiert sich die dritte Teilkompetenz „Kennen und Verstehen von Werten und Normen“ auf ethisches Basiswissen, das bei den verschiedenen Optionen berücksichtigt werden soll. Erst wenn SchülerInnen die Fähigkeit erworben haben, Normen und Werte von emotionalen oder subjektiven Aussagen unterscheiden zu können, sind sie in der Lage sinnvoll zu bewerten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass auf Grund von fehlendem Wissen in speziellen Kontexten oft Fakten und ethische Aussagen miteinander verwechselt werden. In diesem Fall sollten SchülerInnen versuchen ethische Aspekte aufzuzeigen und Werte und Normen in ihre Entscheidung mit einfließen lassen. Darüber hinaus sollen SchülerInnen ein Verständnis entwickeln, welches ihnen dabei hilft zu sehen, wie Normen in der Gesellschaft entstehen. Sie sollen erkennen, dass Normen und die daraus folgenden Gesetze und Regelungen, nur so lange Bestandteil einer Gesellschaft sind, solange sie von dieser akzeptiert werden (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 191).

Die letzte der vier Teilkompetenzen „Kennen und Verstehen von Nachhaltiger Entwicklung“ bezieht sich spezifisch auf die Domäne der Nachhaltigen Entwicklung und sollte je nach Kontext auf die Inhalte abgestimmt werden. Laut Bögeholz befasst sich Nachhaltige Entwicklung mit den (Grund-) Bedürfnissen von der gegenwärtigen, sowie der zukünftigen Generation in Hinblick auf ökologische, ökonomische und sozialen Anliegen (vgl. Bögeholz 2007, 210). Demnach zielt diese Teilkompetenz darauf ab, den SchülerInnen verständlich zu machen, dass Nachhaltige Entwicklung nur unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie und Soziales, sowie die Einbindung der Bedürfnisse der heutigen und zukünftigen Generationen umsetzbar ist. Da Mitglieder einer Gesellschaft oft unterschiedliche Zielvorstellungen verfolgen, besteht immer ein hohes Konfliktpotential. Das Erkennen dieser Konflikte fördert wiederum die Basis zur Entwicklung von nachhaltigen Lösungsoptionen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 191).

Sowie auch schon bei den verschiedenen Phasen des Entscheidungsprozesses von Betsch und Haberstroh, sei auch hier angemerkt, dass auf Grund des Zeitrahmens nicht alle Teilkompetenzen in der Unterrichtseinheit gefördert und betrachtet werden. Die für die Diplomarbeit relevanten Teilkompetenzen beschränken sich auf „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ und „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“, wobei

das Generieren von Sachinformationen für die SchülerInnen durch das zur Verfügung stellen ausgewählter Materialien teilweise übernommen wurde.

Die Niveaustufen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz

Nachdem nun die verschiedenen Phasen des Entscheidungsprozesses und die Teilkompetenzen der Bewertungskompetenz besprochen wurden, ergibt sich die Frage, wie Kompetenzen gemessen und überprüft werden können. Um diese Frage zu beantworten, wurde jede einzelne Teilkompetenz in normativ festgelegte Niveaustufen untergliedert, die darauf abzielen, Entwicklungsverläufe zu beschreiben (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 191). Exemplarisch werden hier nun die vier verschiedenen Niveaustufen für die Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ in Tabelle 2 gezeigt.

Aus der unten angeführten Tabelle 2 wird erkenntlich, dass sich die Niveaustufen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien, in der Argumentation mit Hilfe von entscheidungsrelevanten Kriterien und im Reflexionsprozess stark unterscheiden. Auf Niveaustufe 1 entscheiden sich SchülerInnen prinzipiell aus dem Bauch heraus und greifen dabei auf keine Entscheidungsstrategie zurück, sondern eher auf Alltagsvorstellungen. Nach Untersuchungen von Eggert und Bögeholz haben SchülerInnen des Öfteren Probleme mit dem systematischen Vorgehen bei Entscheidungen, da sie kaum über Metastrategie- oder Bewertungsstrukturwissen besitzen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 191). Als Konsequenz daraus greifen sie auf Alltagsvorstellungen zurück und agieren intuitiv und rechtfertigend im Hinblick auf maximal ein bedeutendes Kriterium (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 192).

Die Niveaustufen 2 bis 4 zeichnen sich durch systematisches Entscheiden der Lernenden aus, in denen bereits die unterschiedlichen Optionen verglichen und abgewogen werden. Unterschiede treten lediglich zwischen der Anzahl der relevanten Kriterien und der angewandten Entscheidungsstrategie auf. Auf dem zweiten Niveau, beispielsweise, erwähnen die SchülerInnen zwei bedeutende Kriterien und entscheiden non-kompensatorisch. Dies zeigt, dass sie vor allem nach Wünschen und Präferenzen gewichten. Mit unvollständiger Dokumentation des Prozesses ist die Ausschließung von weiteren wichtigen Aspekten gemeint. Im Gegensatz dazu werden auf Niveaustufe 3 bereits drei Punkte berücksichtigt, doch auch hier wird nach Wünschen und Präferenzen gewichtet. Auf Grund der Erwägung von drei verschiedenen Aspekten steigt der Grad an Komplexität und verlangt somit ein vermehrt strategisches Vorgehen der SchülerInnen. Zusätzlich sind die Lernenden auf diesem Niveau in der Lage ihre Entscheidungen zu reflektieren, Fehler ausfindig zu machen und diese zu korrigieren. Die vierte Niveaustufe unterscheidet sich nur

in der elaborierteren Reflexionsfähigkeit vom dritten Niveau, da sie die Grenzen von Entscheidungsstrategien erkennen (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 192).

Um die SchülerInnen nun auch einer Niveaustufe zuordnen zu können, müssen deren Resultate aus den Aufgaben ausgewertet und gemessen werden. Da die finale Entscheidung allein nicht sehr viel über den gesamten Entscheidungsprozess und die verwendeten Entscheidungsstrategien aussagt, sollte darauf geachtet werden, dass das Messinstrument Aufgaben beinhaltet, die all diese Faktoren abbilden. Für die Messung der Bewertungskompetenz sind daher offene Aufgaben für diese Anforderungen besser geeignet, als stark strukturierte, geschlossene. Zusätzlich soll der Einfluss von individuellen Vorwissensunterschieden verringert werden, damit das Messergebnis nicht verfälscht wird. Zu diesem Zweck wird das relevante Faktenwissen am Anfang der Aufgabe gegeben. Mittels adäquaten Scoring Guides können dann die Schülerantworten kodiert und den Niveaustufen zugeordnet werden (vgl. Eggert & Bögeholz 2006, 195)

Niveau	Beschreibung
	SchülerInnen.....
1	<ul style="list-style-type: none"> • Bewerten und entscheiden intuitiv bzw. rechtfertigend ohne Anwendung einer Entscheidungsstrategie • Wählen eine Option auf der Basis von Alltagsvorstellungen aus und/ oder berücksichtigen dabei maximal 1 Kriterium
2	<ul style="list-style-type: none"> • Bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens zwei relevanten Kriterien • Vergleichen gegebene Optionen teilweise im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren ihren Entscheidungsprozess unvollständig • Entscheiden v. a. non- kompensatorisch
3	<ul style="list-style-type: none"> • Bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens drei relevanten Kriterien • Vergleichen gegebene Optionen vollständig im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren vollständig • Entscheiden non- kompensatorisch und / oder kompensatorisch • Reflektieren zentrale normative Entscheidungen im Bewertungsprozess
4	<ul style="list-style-type: none"> • Bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens drei relevanten Kriterien • Vergleichen gegebene Optionen vollständig im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren vollständig • Entscheiden v. a. kompensatorisch • Reflektieren zentrale normative Entscheidungen im Bewertungsprozess und können die Grenzen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien erkennen.

Tabelle 2: Kompetenzniveaus der Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ nach Eggert und Bögeholz, 2006.

2.3. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Eine der wichtigsten Aufgaben der Physikdidaktik besteht darin, grundlegende Sachverhalte aus der Physik auf ein verständliches Anforderungsniveau zu bringen (vgl. Reinhold 2006, 86). Oftmals stammen die Quellen für den Physikunterricht in der Schule aus dem Wissenschaftsbereich, und sind deshalb für SchülerInnen und Menschen, die auf dem Wissenschaftsgebiet keine Experten sind, schwer zu verstehen. Sie besitzen keinen Einblick in die Entstehungsgeschichte einer Theorie und darin, welche anderen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse noch berücksichtigt wurden. Zusätzlich wird der didaktische Kontext in der Schule oft noch komplexer, da auch gesellschaftliche, individuelle und umweltrelevante Aspekte integriert werden. „Der didaktisch bearbeitete Gegenstand wird damit komplexer als der fachwissenschaftliche“ (Kattmann et al. 1997, 3). Komplizierte Inhalte sollten daher so vereinfacht werden, dass sie, wenn möglich, von allen SchülerInnen verstanden werden können. Um an dieses Ziel zu gelangen, ist es fundamental reale oder theoretische Entitäten zu elementarisieren und den Unterricht fachgerecht, schülergerecht und zielgerecht zu gestalten (vgl. Kircher et al. 2001, 111). Ein Modell, welches neben der fachlichen Klärung auch die Perspektiven der Lernenden zu spezifischen, physikalischen Inhalten und die Ziele des Unterrichts mit einbezieht, bietet das der Didaktischen Rekonstruktion.

Die Wurzeln des Modells

Grundsätzlich setzt sich das Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion aus der Verbindung zwischen dem Strukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz und der didaktischen Analyse nach Klafki zusammen.

Das Strukturmomentenmodell berücksichtigt dabei verschiedene Variablen, die vor dem Unterrichten einer neuen Thematik von den Lehrenden bedacht werden müssen. Dabei stellt der Physikunterricht das komplizierte Zusammenspielen all dieser Variablen dar (vgl. Duit 2004, 1). Die untere Abbildung zeigt das Strukturmomentenmodell, welche Variablen beachtet werden sollten und wie diese in Zusammenhang stehen.

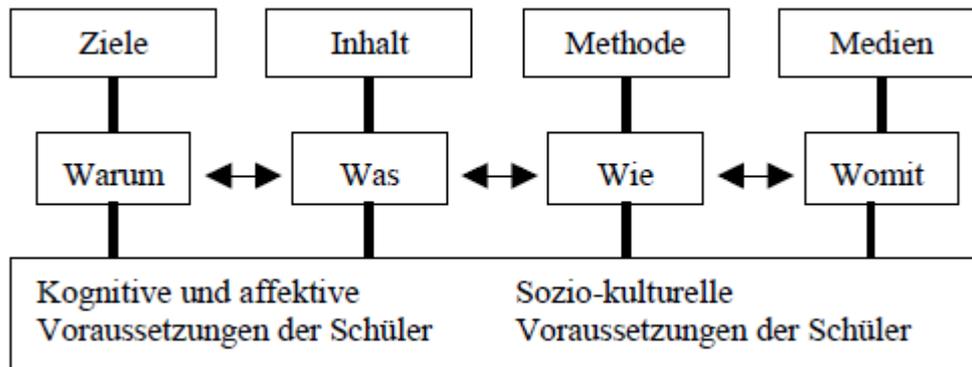


Abbildung 1: Strukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz. Quelle: (Duit 2004, 1)

Die leitenden Variablen sind demnach die Ziele, Inhalte, Methoden und Medien die im Unterricht eine wichtige Rolle spielen und eng miteinander verknüpft sind. Duit behauptet außerdem, dass zum Beispiel die Entscheidung für eine bestimmte Methode auch immer die Entscheidung über die Ziele beeinflusst (vgl. Duit 2004, 1). Wird beispielsweise ein Experiment von den SchülerInnen selbst ausgeführt, und nicht vor der Klasse demonstriert, so differenzieren sich die Ziele dieser zwei Methoden. Beim Ersteren werden auch die manuellen Fertigkeiten der Lernenden gefördert und das Experiment dient nicht allein dazu, die SchülerInnen mit einem physikalischen Phänomen vertraut zu machen. Zusätzlich reicht das Umändern einer einzelnen Variable nicht, um den Physikunterricht zu ändern, denn dafür müssen alle Variablen sehr fein aufeinander abgestimmt werden (vgl. Duit 2004, 1). In Anlehnung an Heimann, Otto und Schulz dürfen bei der Analyse der Variablen auch die kognitiven und affektiven, sowie die sozio-kulturellen Voraussetzungen der SchülerInnen nicht missachtet werden.

Um den Lehrkräften die Auseinandersetzung mit dem Zusammenhang zwischen den verschiedenen Variablen im Unterricht zu vereinfachen, können sie sich an die fünf Grundfragen der didaktischen Analyse nach Klafki lehnen. Laut Kattmann et al werden bei der didaktischen Analyse „Grundfragen an einen Bildungsinhalt gestellt, nach dem Sinn- und Sachzusammenhang und der Möglichkeit ‘exemplarisch’ zu wirken, nach dessen gegenwärtiger und zukünftiger Bedeutung, nach dessen Struktur und nach anschaulichen Fällen“ (Kattmann et al 1997, 8) Es ist ersichtlich, dass auch über den Inhalt hinausgehende Aspekte berücksichtigt werden (vgl. Duit 2004, 2). Ebenso wie beim Strukturmomentenmodell spielen auch bei den folgenden fünf Fragen der didaktischen Analyse die Perspektiven der Lernenden eine zentrale Rolle.

1. Welchen größeren bzw. welchen allgemeinen Sinn- und Sachzusammenhang vertritt und erschließt dieser Inhalt? Welches Urphänomen oder Grundprinzip, welches Gesetz, Kriterium, Problem, welche Methode, Technik oder Haltung lässt sich in der Auseinandersetzung mit ihm 'exemplarisch' erfassen? "
2. Welche Bedeutung hat der betreffende Inhalt bzw. die an diesem Thema zu gewinnende Erfahrung, Erkenntnis, Fähigkeit oder Fertigkeit bereits im geistigen Leben der Kinder meiner Klasse, welche Bedeutung sollte er- vom pädagogischen Gesichtspunkt aus gesehen darin haben?
3. Worin liegt die Bedeutung des Themas für die Zukunft der Kinder?
4. Welches ist die Struktur des (durch die Fragen 1-3 in die spezifische pädagogische Sicht gerückten) Inhaltes?
5. Welches sind die besonderen Fälle, Phänomene, Situationen, Versuche, in oder an denen die Struktur des jeweiligen Inhaltes den Kindern dieser Bildungsstufe, dieser Klasse interessant, fragwürdig, zugänglich, begreiflich, anschaulich werden kann?
(Duit 2004, 2)

Die Didaktische Rekonstruktion verbindet nun die Inhalte und Ideen der didaktischen Analyse und des Strukturmomentenmodells. Daraus entsteht dann ein neues Modell, welches auch der Sachstruktur des Unterrichtes mit einplant. Hierbei ist es fundamental, die Sachstruktur der Physik von der Sachstruktur für den Unterricht zu unterscheiden (vgl. Duit 2004, 2). Mit Sachstruktur der Physik sind die grundlegenden Prinzipien, Begriffe, Arbeits- und Denkweisen, sowie Vorstellung der Naturwissenschaft gemeint. Im Gegensatz dazu beschreibt die Sachstruktur für den Unterricht die Einbettung dieser Inhalte in einen schulischen Kontext und in Alltagsvorstellungen, was die Darstellung der physikalischen Konzepte vielfältiger macht. Die besondere Bedeutung der Sachstruktur wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

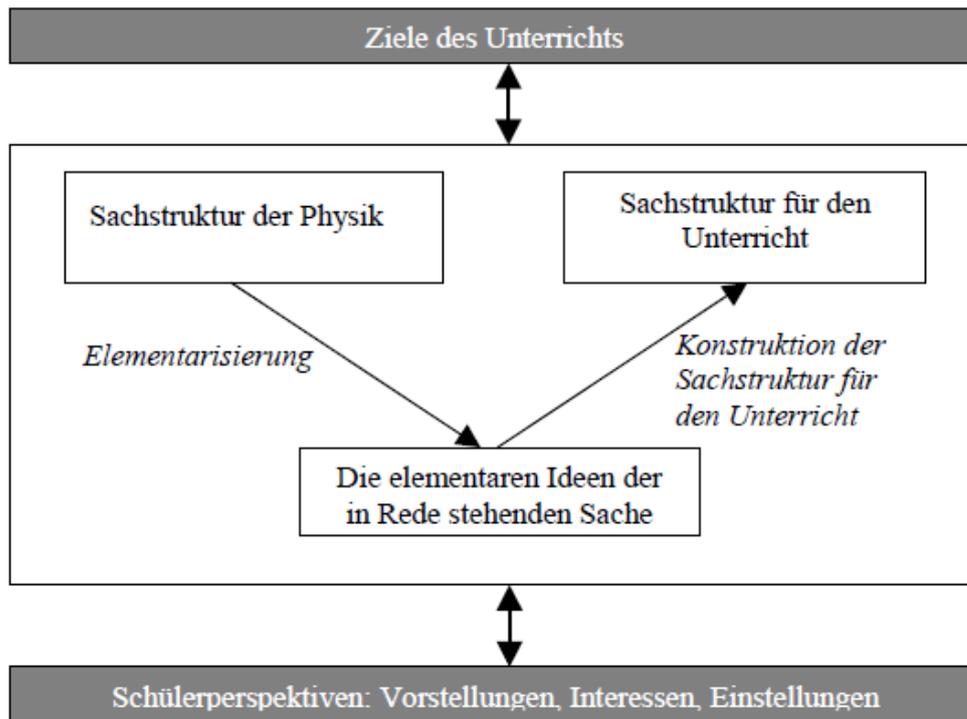


Abbildung 2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion der Sachstruktur, Quelle (Duit 2004, 2)

Wie oben bereits kurz erwähnt, sind Sachstrukturen der Wissenschaft oftmals zu komplex für die Lernenden, um direkt in den Unterricht übernommen werden zu können. Unter dem Begriff der Elementarisierung, der aus Abbildung 2 entnommen werden kann, versteht man nun die Vereinfachung dieser wissenschaftlichen Sachstrukturen, so dass sie den Anforderungsniveaus der SchülerInnen angepasst sind (vgl. Kattmann et al. 1997, 9). Nach den Überlegungen von Bleichroth (1991), die von Kattmann et al in ihrem Fachartikel dargelegt werden, werden drei verschiedene Aspekte der Elementarisierung voneinander differenziert. Der Erste stellt die Elementarisierung als Vereinfachung dar, die jedoch nicht mit einer schlichten Simplifizierung der Inhalte verwechselt werden soll. Hierbei geht es um die Reduzierung der Komplexität, weshalb der Prozess auch als Didaktische Reduktion bezeichnet wird. Eine Vereinfachung der Komplexität kann zum Beispiel durch die Integration von Experimenten, Bildern oder Symbole erfolgen (vgl. Kircher et al. 2001). Der zweite Aspekt bezieht sich auf die Elementarisierung als Identifikation der elementaren Ideen einer Thematik. Das heißt, Basiskonzepte müssen herausgearbeitet werden. Die dritte Idee der Elementarisierung besteht darin, die Elemente in den Unterrichtsablauf zu integrieren. Die Elemente sollen so zerlegt werden, dass darauf aufbauend eine flüssige Sequenz an Unterrichtseinheiten entsteht (vgl. Kattmann et al. 1997, 9).

Zusammenfassend kann man sagen, dass im Prozess der Didaktischen Rekonstruktion „der wissenschaftliche Gegenstand in seinen bedeutsamen Bezügen wiederhergestellt wird, und durch Rückbezug auf die verfügbaren Schülervorstellungen so ein Unterrichtsgegenstand konstruiert wird.“ (Kattmann et al. 1997, 4) Um einen Einblick zu gewinnen, wie die Didaktische Rekonstruktion der Sachstruktur in der Praxis angewandt wird, wird in Abbildung 3 ein Beispiel zum Thema Lichtverschmutzung angeführt (vgl. Fehringer 2013, 22). Hier sei angemerkt, dass die elementaren Ideen nur als Stichworte formuliert werden, da die genaue Behandlung der elementaren Konzepte in Kapitel 3 näher beschrieben wird.

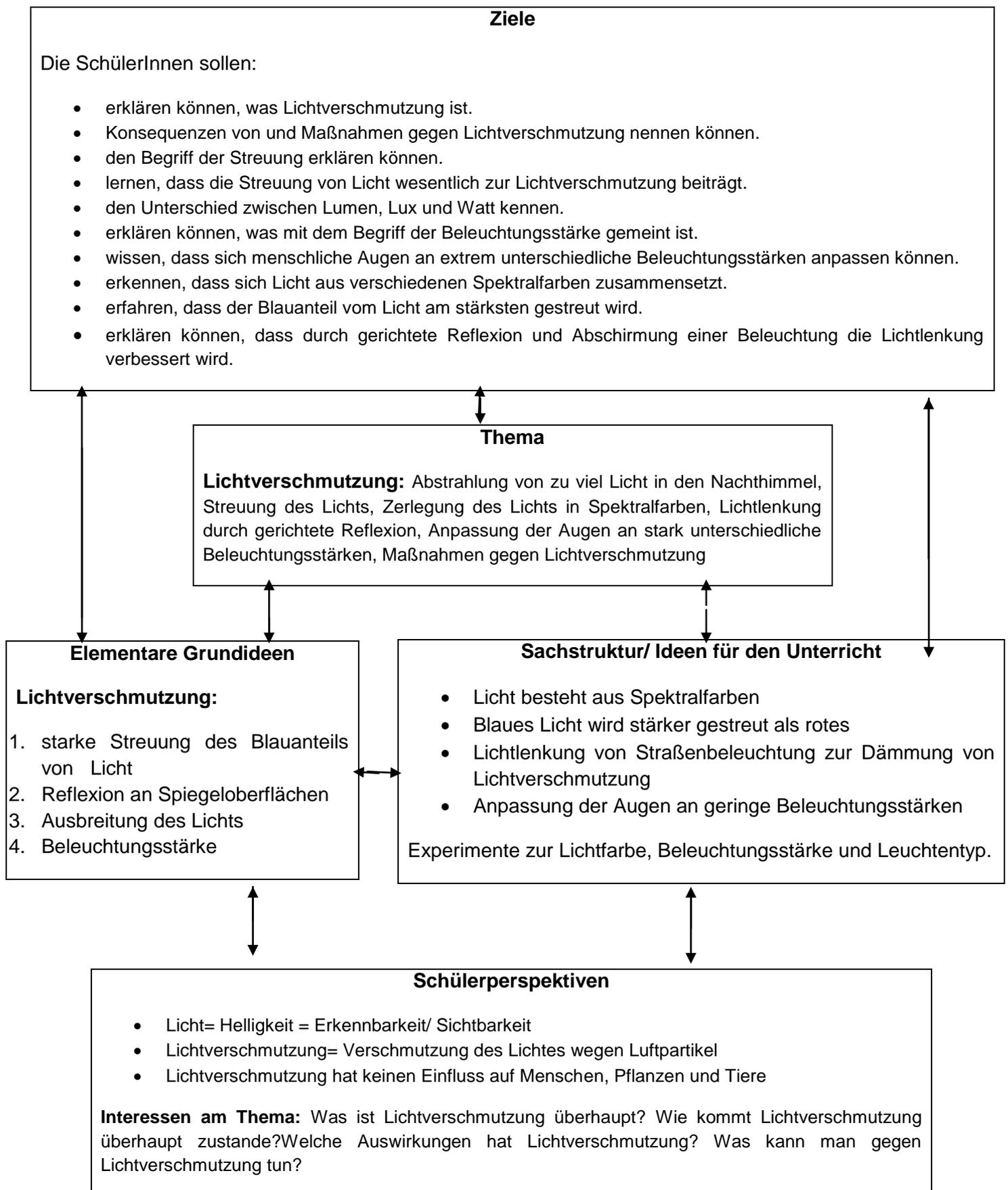


Abbildung 3: Didaktische Rekonstruktion für das Unterrichtsmaterial

Die Teilaufgaben der Didaktischen Rekonstruktion

Bei der Didaktischen Rekonstruktion wird nicht nur die Rekonstruktion der Sachstruktur näher betrachtet, sondern es wird auch näher auf drei Teilaufgaben, die miteinander wechselwirken, eingegangen. Diese sind zum einen die fachliche Klärung und die Erfassung der Schülervorstellungen, und zum anderen die didaktische Strukturierung (vgl. Kattmann et al. 1997, 4). Wie diese Punkte in Zusammenhang stehen, wird in Abbildung 4 demonstriert.

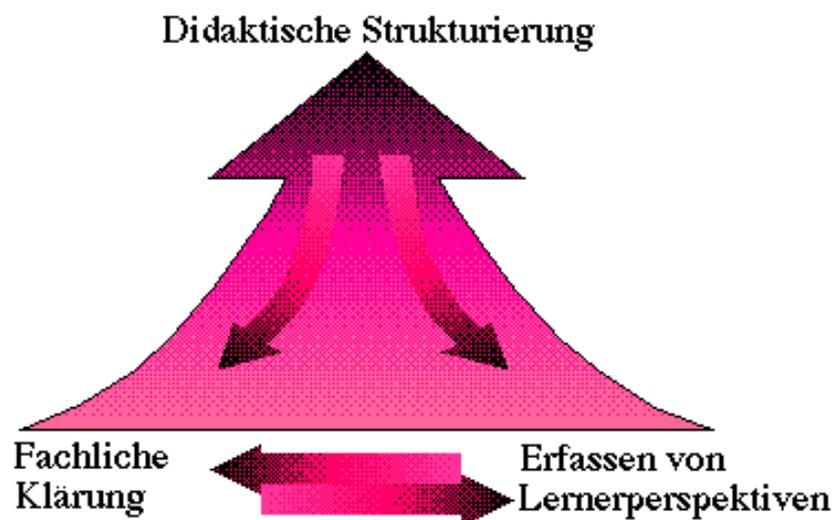


Abbildung 4: Fachdidaktisches Triplett: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Quelle: (Kattmann et al. 1997, 4)

Wie in Abbildung 4 erkennbar ist, ist das Vorgehen bei der Didaktischen Rekonstruktion rekursiv, was bedeutet, dass „die drei Aufgaben im Prozess aufeinander rückbezogen werden“ (Reinfried et al. 2009, 407).

Unter *fachlicher Klärung* ist im Modell der Didaktischen Rekonstruktion laut Kattmann et al die kritische Auseinandersetzung mit fachwissenschaftlichen Vorstellungen und Methoden zu verstehen (vgl. Kattmann et al 1997, 8). Diese ist nötig, da „innerfachliche Bezüge zu kurz kommen oder weil historische Verständnisse meist unreflektiert oder sogar unerkant hineinspielen“ (Kattmann et al. 1997, 11). Zusätzlich sollen fachwissenschaftliche Theorien mit fachdidaktischen Methoden untersucht und anschließend strukturiert werden. Bei der fachlichen Klärung sollen sich Lehrende vor allem über die fachspezifischen Termini im Klaren sein, das heißt, spezielle Fachwörter sollen definiert werden. Zusätzlich sollen sie sich auch über die Grenzen der fachwissenschaftlichen Aussagen bewusst werden. Inhalt der fachlichen Analyse sollen sowohl der aktuelle Stand also auch der historische Standpunkt einer Theorie zu einer Thematik sein (vgl. Kattmann et al. 1997, 11).

Nach Reinfried et al weichen Schülervorstellung sehr oft von der wissenschaftlichen Perspektive eines Themas ab (vgl. Reinfried et al 2009, 404). Falls diese nun nicht in eine ansonsten erfolgreiche Unterrichtsplanung mit einbezogen werden, laufen Lehrpersonen Gefahr, dass die gewünschten Lernerfolge nicht erreicht werden bzw. weit hinter der Erwartung liegen. Der Begriff *Schülervorstellungen* beschreibt dabei nicht nur das richtige, bzw. fehlerhafte Wissen der Lernenden, sondern auch deren Alltagsvorstellungen zu einem Thema, welches für sie sinnvoll erscheint. Daher sollten Schülervorstellungen nicht als Hindernis im Unterricht angesehen werden, sondern als Ausgangspunkt des Lernens (vgl. Kattmann et al. 1997, 12).

Die didaktische Strukturierung dient nun als Verbindung zwischen den Ergebnissen der fachlichen Klärung, sowie der Erhebung der Schülervorstellungen zu einer gewissen Thematik. Dabei steht der Vergleich zwischen den Charakteristika der Wissenschaftsperspektive und der Schülerperspektive im Vordergrund, welche gleichwertig behandelt werden. Aus den Differenzen bzw. den Ähnlichkeiten dieser Gesichtspunkte lassen mehrere lernförderliche Ideen, aber auch mögliche Lernschwierigkeiten ableiten. (vgl. Kattmann et al. 1997, 12)

Im Zuge dieser Diplomarbeit fand die Erhebung der Schülervorstellungen zu wesentlichen Aspekten der Optik im Kontext der Lichtverschmutzung mit Hilfe eines Pre- Fragebogens statt, deren Ergebnisse im Kapitel 5.1 näher beschrieben werden. Die Didaktische Rekonstruktion zu den Stationen wird in dem Kapitel 3.2 wiedergegeben, in welchen fachliche Termini spezifiziert, die Schülerperspektiven mit den wissenschaftlichen Kenntnissen verglichen und schließlich die didaktischen Strukturierungen der Konzepte vorgestellt werden. Diese Analyse stellt die Basis für die erstellten Unterrichtsmaterialien dar.

3. Entwicklung der Unterrichtsmaterialien

In diesem Kapitel wird vorgestellt, wie das Unterrichtsdesign entwickelt wurde, bzw. welche Überlegungen und Planungen dahinter stecken. Da die Förderung der Bewertungskompetenz in der Unterrichtseinheit mit dem Kontext der Lichtverschmutzung zusammenhängt, wird hier vor allem die Sachstruktur zu diesem physikalischen Phänomen genauer betrachtet. In Kapitel 3.1 wird zuerst die Planung des Grundkonzepts der Lichtverschmutzung mit Hilfe des CoRe- Rasters näher erläutert. Danach werden auf dieselbe Art und Weise die zugrundeliegenden Basiskonzepte der Lichtverschmutzung präsentiert. Im darauffolgenden Kapitel (Kapitel 3.2) wird die Didaktische Rekonstruktion der einzelnen Stationen genauer beschrieben, welche auf diesen Basiskonzepten beruhen. Das Auswertungsschema der berücksichtigten Aspekte wird schließlich in Kapitel 3.3 dargelegt.

3.1. Planung des Unterrichtskonzepts

Bevor überhaupt mit der Erstellung des Unterrichtsmaterials begonnen werden konnte, musste festgelegt werden, was genau unterrichtet werden soll. Als Hilfestellung für die Planung der Materialien wurden die Leitfragen des Content Representation (CoRe)- Rasters nach Loughran, Mulhall und Berry herangezogen (vgl. Loughran et al 2004, 376). Dieser Planungsraster soll Lehrern und Lehrerinnen dabei helfen den Inhalt eines Themas genauer zu hinterfragen, besondere Merkmale zu identifizieren und diese dann in den Unterricht einzubauen (vgl. Loughran et al. 2004, 376). Dabei wird unter anderem auf Lernziele, Schülervorstellungen, das benötigte Fachwissen und mögliche Schwierigkeiten bei der Vermittlung der Thematik Rücksicht genommen. Aus diesem Grund eignen sich die Leitfragen sehr gut für die Unterrichtsvorbereitung und die Aufbereitung des inhaltlichen Kontexts.

Die acht Leitfragen lauten wie folgt:

1. Was sollen meine Schülerinnen und Schüler über dieses Konzept lernen?
2. Warum ist es wichtig, dass mein Schülerinnen und Schüler das verstehen?
3. Was ich sonst noch über dieses Konzept weiß, dass meine Schülerinnen bzw. Schüler nicht wissen müssen?
4. Welche Lernschwierigkeiten können beim Unterrichten dieses Konzepts auftreten?
5. Welche Schülervorstellungen kenne ich, die ich beim Unterrichten bedenken muss (die meinen Unterricht beeinflussen)?
6. Gibt es weitere Faktoren, die meinen Unterricht zu diesem Thema beeinflussen?

7. Welche Unterrichtsschritte wähle ich zur Vermittlung dieses Konzepts? (inklusive der Gründe warum ich so und nicht anders vorgehe)
8. Konkrete Aufgabenstellungen (inklusive der vermutlich auftretenden Antworten) mit denen ich feststellen kann, ob meine Schülerinnen und Schüler dieses Konzept verstanden haben bzw. welche Missverständnisse entstanden sind.

Auf Basis dieser acht Leitfragen wurde der zu vermittelnde Inhalt durchdacht. Die entwickelten Unterrichtsmaterialien orientieren sich an dieser Planung und wurden auch gemäß diesen Überlegungen umgesetzt. Das gesamte entwickelte Material befindet sich in Anhang A.

In den folgenden sechs Tabellen werden nun die Überlegungen zum Kontext der Lichtverschmutzung dargelegt. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, dass die achte Leitfrage in diesen Tabellen nicht angeführt wird, da die konkreten Aufgabenstellungen zur Überprüfung des inhaltlichen Verständnisses sowie die zu erwartenden bzw. die richtigen Antworten dazu separat in Kapitel 3.3 erarbeitet werden.

Des Weiteren ist in den nachfolgenden Rastern sehr auffällig, dass mehr als eine elementare Grundidee zu den Konzepten behandelt wird. Das liegt daran, dass das Phänomen der Lichtverschmutzung und die damit zusammenhängenden physikalischen Inhalte sehr umfangreich sind und nur schwer auf ein Basiskonzept limitiert werden können. Daher werden in den kommenden CoRe- Rastern mehrere grundlegende Elementarideen zu den jeweiligen Konzepten in jeweils einer Tabelle behandelt, weshalb sie nur teilweise auf den CoRe- Rastern nach Loughran, Mulhall und Berry basieren (vgl. Loughran et al 2004, 376).

In Zusammenhang damit steht auch die Verwendung von zwei verschiedenen Modellen der Optik. Zum Einen wird das Modell der Strahlenoptik herangezogen, wenn es um geometrische Kriterien zur Vorbeugung von Lichtverschmutzung geht, wie beispielsweise beim Aufbau und Funktion einer bestimmten Leuchte. Hier spielt vor allem die Ausbreitung und die Reflexion des Lichts in der Strahlenoptik eine wichtige Rolle. Zum Anderen werden allerdings auch physikalische Konzepte besprochen, die auf die Wellennatur des Lichts rückschließen lassen, wie zum Beispiel die Streuung und die Farbe des Lichts, welche von dessen Frequenz und Wellenlänge abhängen. Da all diese physikalischen Phänomene wesentlich zur Lichtverschmutzung beitragen, werden auch beide Modelle in den Basiskonzepten berücksichtigt.

Lichtverschmutzung	
Ist ein globales Problem, bei dem natürliches Licht von künstlich produziertem Licht überstrahlt wird und so zur Aufhellung des Nachthimmels führt. Durch zu viel Licht, das keinem Beleuchtungszweck dient, entsteht Lichtsmog und Lichtmüll	
1.	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtverschmutzung wird durch den überschwänglichen Gebrauch von künstlichem Licht erzeugt. • „Die Auswirkung von Lichtverschmutzung auf Organismen hängt vom Streulicht, der Beleuchtungsstärke und der spektralen Zusammensetzung des Lichts ab“ (Kostenzer 2003,3), sowie von der Reflexion und Ausbreitung des Lichts. • Durch einfache Vorkehrungen bei Straßenbeleuchtungen kann der Lichtverschmutzung entgegengewirkt werden.
2.	Lichtverschmutzung stellt eine neumoderne Form der Umweltverschmutzung dar.
3.	Lichtverschmutzung stört die zirkadianen Rhythmen des Menschen, welche die Anpassung an natürliche, zeitliche Abläufe des Menschen beschreiben. Außerdem hat sie auch Einfluss auf den Wachstumszyklus der Pflanzen
4.	Falls die Konzepte der Beleuchtungsstärke, Streuung und spektralen Zusammensetzung nicht bekannt sind, könnte es zu Problemen beim Verständnis und Vermittlung der Sachinformationen kommen.
5.	Lichtverschmutzung wird mit dem Umweltproblem der Luftverschmutzung assoziiert und die SchülerInnen glauben, dass Licht auf Grund von Partikeln in der Atmosphäre verschmutzt wird.
7.	<p>Vergleich von drei Bildern: Nachthimmel bei unterschiedlicher Lichtverschmutzungsbelastung</p> <p>Power Point Präsentation über Entstehung und Konsequenzen für Mensch und Tier von Lichtverschmutzung.</p> <p>Auf Basis der Bilder und des Vergleichs sollen die Lernenden die Auswirkungen von Lichtverschmutzung sehen und womöglich selbst auf eine Definition des Begriffs kommen.</p> <p>Den SchülerInnen soll ein Einblick über die Thematik gegeben werden.</p>

Tabelle 3: Planung der Unterrichtseinheit nach dem CoRe- Raster

Spektrale Zusammensetzung des Lichts	
<p>Sonnenlicht wird als weißes Licht bezeichnet und enthält alle Spektralfarben. Künstlich produziertes Licht durch Leuchtmittel, wie zum Beispiel einer LED, welches dem Sonnenlicht ähnelt, enthält ebenfalls alle Farben.</p>	
1.	<p>Mit Hilfe von Leuchtmitteln kann künstliches Licht produziert werden, welches dem Sonnenlicht ähnelt. Allerdings unterscheiden sich diese in der Verteilung der Spektralfarben, wodurch die Lichtfarbe nicht als rein weiß wahrgenommen wird.</p>
2.	<p>Ohne zu wissen, dass sich auch künstlich emittiertes Licht aus spektralen Komponenten zusammensetzt, versteht man nicht, was mit „Blauanteil“ eines Leuchtmittels gemeint ist.</p>
3.	<p>Jede Farbe im Lichtspektrum entspricht einem gewissen Wellenlängenbereich, welcher sich mit der Formel $c = \lambda \cdot f$ unter Berücksichtigung der Frequenz zuordnen lässt.</p>
4.	<p>Es wird nicht erkannt, dass der Blauanteil bei gewissen Leuchtmittel höher ist, als bei anderen.</p>
5.	<p>Sonnenlicht wird nicht als weiß definiert, sondern als gelb, da es auch so von den SchülerInnen wahrgenommen wird. Das kann zu Missverständnissen führen, wenn weißes, sonnenähnliches Licht untersucht wird.</p> <p>Viele Lernenden glauben, dass langwelliges, rotes Licht energiereicher ist als kurzwelliges, blaues.</p>
6.	<p>Manche Leuchtmittel, wie zum Beispiel die Natriumdampf- Hochdrucklampe, sind in der Lage annähernd monochromatisches Licht abzustrahlen, wenn sich das Maximum des emittierten Lichts hauptsächlich in einem bestimmten Wellenlängenbereich befindet. Auch wenn die restlichen Spektralfarben zu einem geringen Anteil vorhanden sind, wird dieses Licht nicht als weißes Licht wahrgenommen. Nicht jedes Leuchtmittel emittiert demnach sonnenähnliches Licht.</p>
7.	<p>Entwicklung der Station Lampenfarbe:</p> <p>Text: Informationen zur spektralen Zusammensetzung von Licht</p> <p>Experiment: Zerlegung des Lichtes von drei unterschiedlichen Leuchtmitteln mit Hilfe von Spektroskopen</p> <p>Der Text dient als Hilfsmittel zur Erlangung von wichtigen Kenntnissen zur Zusammensetzung von Licht.</p> <p>Das Experiment dient zur Festigung der Kenntnisse des Textes.</p>

Tabelle 4: Planung des Unterrichtskonzepts zur spektralen Zusammensetzung des Lichts nach dem CoRe- Raster

Streuung des Lichts	
Streuung des Lichts bezeichnet die Ablenkung von Licht an Materieteilchen.	
1.	Der Blauanteil des emittierten Lichts eines Leuchtmittels wird stärker gestreut als der langwellige, rote Anteil.
2.	Streulicht ist eine der Hauptursachen für die Entstehung von Lichtverschmutzung.
3.	<p>Im Fall der Rayleigh-Streuung absorbieren Luftmoleküle Photonen und werden in Schwingung versetzt. Gleich darauf wird ein Photon derselben Frequenz vom Luftmolekül emittiert. Das Licht wird elastisch gestreut. Das bedeutet, dass es zu keiner Energieübertragung zwischen Photon und Luftmolekül kommt, sondern nur zu einer Richtungsänderung.</p> <p>Auf Grund der höheren Frequenz von Licht im blauen Wellenlängenbereich, wird blaues Licht stärker zur Seite gelenkt als rotes. Da dieser Teil des Lichts seitlich stärker gestreut wirkt, erscheint unser Himmel auch blau.</p>
4.	Der Zusammenhang zwischen der spektralen Zusammensetzung eines Leuchtmittels und der Streuung des Lichtes wird nicht erkannt.
5.	Schülervorstellungen, wie zum Beispiel, dass die Sonne gelbes Licht aussendet, entstehen, wenn das Konzept der Streuung nicht verstanden wird. Im Zusammenhang mit der Rayleigh-Streuung ist meist recht unbekannt, dass die Streuung mit der Frequenz des Photons zu tun hat. Daher wird auch nicht verstanden, warum blaues Licht stärker zur Seite gestreut wird, als rotes.
7.	<p>Einbettung des Konzepts der Streuung in die Station Lampenfarbe:</p> <p>Ein vorgegebener Text soll den SchülerInnen erklären, wie die Streuung des Lichts mit der spektralen Zusammensetzung von Leuchtmitteln zusammenhängt.</p> <p>Im Kontext der Lichtverschmutzung hängt die Verteilung der spektralen Komponenten einer Beleuchtung stark mit der Streuung des Lichtes zusammen, weshalb es sinnvoll ist, diese beiden Konzepte in einer Station zu verbinden.</p>

Tabelle 5: Planung des Unterrichtskonzepts zur Streuung des Lichts nach dem CoRe- Raster

Beleuchtungsstärke	
Messbarer Helligkeitswert, der angibt, wie viel abgestrahltes Licht auf einen Quadratmeter trifft. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux (Lumen/m ²)	
1.	Der Mensch kann sich an einen Beleuchtungsstärkenbereich von weniger als 0,25 Lux bis zu ca. 120.000 Lux anpassen. Das heißt, Menschen können sich auch in der Nacht bei geringeren Beleuchtungsstärken orientieren.
2.	Geringere Beleuchtungsstärken heißt auch, dass weniger Licht pro Quadratmeter abgestrahlt wird. Die Abstrahlung von weniger künstlich produziertem Licht beugt der Lichtverschmutzung vor.
3.	Für Menschen ist Helligkeit ein subjektives Sinnesempfinden, welches von der spektralen Empfindlichkeit der Augen abhängt und sich von Mensch zu Mensch unterscheiden kann. Skotopische Sehzellen sind für das Nachtsehen verantwortlich und reagieren besonders auf grüne Anteile im Licht. Leuchtmittel mit mehr Grünanteil wirken demnach in der Nacht heller.
4.	Die subjektive Helligkeitswahrnehmung wird mit dem Begriff der Beleuchtungsstärke verwechselt.
5.	Je heller die Beleuchtung ist, desto besser, da dadurch die Umgebung viel besser wahrgenommen werden kann. Die Wattangaben geben Auskunft über die Helligkeit eines Leuchtmittels.
6.	Die Beleuchtungsstärke hängt ebenfalls vom Abstand zur Lichtquelle ab. Je weiter man von der Lichtquelle entfernt ist, desto geringer ist die Beleuchtungsstärke. Deswegen sollte bei Messungen der Beleuchtungsstärke immer darauf geachtet werden, den gleichen Abstand zur Lichtquelle einzuhalten.
7.	Entwicklung der Station Beleuchtungsstärke: Text: soll Auskunft über die Beleuchtungsstärke und die hohe Anpassungsfähigkeit der Menschen an diese geben. Experiment: Messung der Beleuchtungsstärke mit Luxmeter Da der Begriff der Beleuchtungsstärke im Allgemeinen nicht sehr bekannt ist, sollen die SchülerInnen zuerst Sachinformationen darüber bearbeiten. Das Experiment soll ihnen zeigen, dass kein großer Unterschied zwischen der Helligkeitswahrnehmung bei verschiedenen Leuchtmitteln besteht, obwohl sich die Beleuchtungsstärken voneinander unterscheiden.

Tabelle 6: Planung des Unterrichtskonzepts zur Beleuchtungsstärke nach dem CoRe- Raster

Reflexion des Lichts	
An einer Spiegeloberfläche ist der Ausfallswinkel des reflektierten Lichtstrahls gleich groß wie der Einfallswinkel.	
1.	Gekrümmte Spiegeloberflächen werden in Reflektorlampen verwendet, damit das Licht besser gelenkt werden kann.
2.	Durch bessere Lichtlenkung kann der Lichtverschmutzung entgegengewirkt werden.
3.	Es wird zwischen der gerichteten Reflexion an Spiegeloberflächen und der diffusen Reflexion an matten Oberflächen unterschieden. Bei der diffusen Reflexion wird das Licht auf Grund der Unebenheiten des Materials nach dem Reflexionsgesetz in alle Richtungen zurückgeworfen, während bei der gerichteten Reflexion die Lichtstrahlen in eine Richtung gelenkt werden.
4.	Für das Verständnis, wie das Licht in Reflektorlampen reflektiert wird, sind Einblicke in den Aufbau der Lampe nötig. Falls diese Kenntnisse nicht vorhanden sind, könnte es zu Verständnisschwierigkeiten kommen, wo sich die Spiegeloberflächen im Lampenschirm befinden und wie die Lichtlenkung genau funktioniert.
5.	An matten Oberflächen herrscht das Konzept vor, dass Licht an der Oberfläche liegen bleibt. Es wird hierbei außer Acht gelassen, dass ein Teil des Lichts in alle Richtungen abgelenkt wird. Die Reflexion an Spiegeloberflächen hingegen, ist den meisten Lernenden bekannt.
7.	<p>Entwicklung einer Station zum Thema Leuchtentyp: Kurzer Einleitungstext zur Lichtlenkung mit Hilfe von Reflexion. Experiment zur Reflexion des Lichts: Reflexion an flachen, konkaven und konvexen Spiegeloberfläche.</p> <p>Es soll ermittelt werden, dass in Leuchten Hohlspiegel zur Lichtlenkung verwendet werden. Um zu wissen, was Lichtlenkung überhaupt ist und warum diese der Lichtverschmutzung vorbeugt, soll den Lernenden mittels des Textes die grundlegenden Überlegungen dazu gegeben werden. Im Experiment sollen sie selbst eruieren, welche Spiegeloberfläche sich am besten zur Lichtlenkung eignet.</p>

Tabelle 7: Planung des Unterrichtskonzepts zur Reflexion des Lichtes nach dem CoRe-Raster

Ausbreitung des Lichts	
Licht breitet sich von einer Lichtquelle so lange geradlinig und in alle Richtungen aus, bis es auf ein Hindernis trifft (vgl. Wiesner et al. 2011, 21)	
1.	Durch vollkommene Abschirmung des Leuchtmittels bei einer Außen- bzw. Straßenbeleuchtung außer nach unten hin breitet sich Licht nicht mehr in alle Richtungen aus, da der Lampenschirm ein Hindernis für die Lichtausbreitung darstellt.
2.	Wenn sich Licht durch eine Abschirmung nicht mehr in alle Richtungen nach außen ausbreitet, sondern nur noch auf Flächen, die unbedingt beleuchtet werden müssen, trifft, dämmt auch dies die Lichtverschmutzung ein.
3.	Licht stellt eine kontinuierliche Strömung dar, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Licht ist demnach etwas, „was von einer Lichtquelle ständig nachgeliefert und abgestrahlt wird“ (Wiesner et al. 2011, 19)
4.	Es wird nicht eingesehen, dass Licht sich immer in alle Richtungen unendlich weit ausbreitet, wenn es auf kein Hindernis trifft. O
5.	Licht wird nicht als Strömung verstanden, sondern als etwas, das sich bis zu seinem Ziel ausbreitet und dann dort liegen bleibt. Es bewegt sich zum Beispiel von der Taschenlampe zur Wand und bleibt dann dort liegen. Zusätzlich liegt die Vorstellung vor, dass Licht eine Ausbreitungskraft hat, welche mit der Entfernung abnimmt.
7.	Einbettung in die Station Leuchtentyp: Experiment: Austretendes Licht einer Lichtquelle wird immer mehr eingeengt. Zum Schluss entsteht ein paralleles Lichtbündel. Auf Basis des Experiments sollen die SchülerInnen erkennen, dass je besser die Abschirmung der Lichtquelle ist, desto besser wird verhindert, dass sich Licht in alle Richtungen ausbreitet.

Tabelle 8: Planung des Konzepts der Ausbreitung des Lichts nach dem CoRe- Raster

3.2. Didaktische Rekonstruktion der Konzepte für das Unterrichtsmaterial.

In diesem Abschnitt werden die oben angeführten Konzepte nach der Didaktischen Rekonstruktion, welche in Kapitel 2.3 besprochen wurde, verarbeitet. Dabei wird genauer auf die fachliche Klärung, welche auch die elementaren Konzepte beinhaltet, die Lernendenperspektiven sowie die didaktische Strukturierung eingegangen. Im Zuge der fachlichen Klärung und der Erläuterung der Lernendenperspektiven zu einem Konzept werden auch Vergleiche zwischen der Wissenschaftsperspektive und der Lernendenperspektive gezogen. Da in der Planung die Idee entstanden ist, die grundlegenden physikalischen Konzepte in einer 20-minütigen Power Point Präsentation und drei Stationen zu implementieren, wird auch die Didaktische Rekonstruktion in Form der alternativen Stationen und der Präsentation wiedergegeben. Die Station der Lampenfarbe beinhaltet dabei die Konzepte der spektralen Zusammensetzung und Streuung, die Station des Leuchtentypes jene der Reflexion und Ausbreitung des Lichts und die dritte die Vermittlung des Terminus und des Konzepts der Beleuchtungsstärke.

3.2.1. Lichtverschmutzung

1. Fachliche Klärung

“Lichtverschmutzung ist jenes künstlich freigesetzte Licht, das die nächtliche Umwelt (unnötig) aufhellt und den biologisch wertvollen Tag- Nacht Rhythmus von Menschen und anderen Organismen stört.“ (Posch 2014, 20)

„Lichtmüll ist jenes Licht, welches keinem Beleuchtungszweck dient und im Gegensatz zu Müll weder entsorgt noch verwertet, sondern nur verhindert werden kann. Es entsteht durch ineffizienten Einsatz und exzessiven Gebrauch.“ (Kostenzer 2003, 13)

„Da Lichtverschmutzung oft zu Lichtglocken über Städten und Industriegebieten führt, welche ähnlich aussehen wie tagsüber Smog von Anhöhen aus betrachtet, wurde für diese Art der Umweltverschmutzung auch der Begriff ‘Lichtsmog’ geprägt.“ (Posch 2014, 20)

Elementare Konzepte

Lichtverschmutzung entsteht durch die überschwängliche Produktion von künstlich produziertem Licht und dessen ineffizienten Gebrauch. Durch Streuung, Reflexion und Ausbreitung des Lichts in alle Richtungen entstehen so Lichtkegel über Städten, die

biologische Einflüsse auf Mensch und Tier hat. Dabei könnte der Lichtverschmutzung mit einfachen Vorkehrungen vorgebeugt werden. Zu diesen zählt zum Beispiel die Verwendung von abgeschirmten Leuchten und von Leuchtmitteln, die nur einen geringen Blauanteil besitzen. Auch der Einsatz von weniger Licht in der Nacht und somit auch von einer geringeren Beleuchtungsstärke der Leuchtreklamen und Straßenbeleuchtungen beugen der Lichtverschmutzung vor.

Historische Entwicklung

Vom ersten Lagerfeuer in der Geschichte angefangen entwickelten die Menschen ein immer größer werdendes Bestreben die Nacht zum Tag zu machen. Schon im 6. Jahrhundert verwendeten die Einwohner in Japan Öl zu Beleuchtungszwecken, welches schließlich auch im westlichen Raum für Straßenlaternen bis ins 18. Jahrhundert verwendet wurde. Erst im 19. Jahrhundert kam es zuerst zur Entdeckung der Gasbeleuchtung und anschließend zur Einführung der elektrischen Beleuchtung, nachdem Thomas Alva Edison die Kohlefadenglühlampe in der Öffentlichkeit präsentierte. Seitdem wurde die Lichtausbeute der Lichtquellen immer effizienter, Strom wurde im Laufe der Geschichte ebenfalls billiger, was zu einem Beleuchtungsboom vor allem in den Städten führte. Die Anzahl der Straßenbeleuchtungen stieg massiv, vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und auch die Verwendung von Leuchtreklamen zu Werbezwecken entwickelte sich rasant in den letzten Jahrzehnten. Ein Punkt, der im Laufe der Geschichte jedoch vernachlässigt wurde, waren die rechtlichen Einschränkungen von exzessivem Gebrauch von künstlichem Licht in den meisten Staaten und Regionen. All diese Faktoren führten schließlich zu dem neumodernen Problem der Lichtverschmutzung(vgl. Posch et al. 2010, 18-24).

Funktion und Bedeutung fachwissenschaftlicher Begriffe

Als *Lichtquelle* wird ein Ort angesehen, von dem Licht ausgeht. Dabei gibt es Lichtquellen, die selbst leuchten, wie zum Beispiel die Sonne, und solche, die auf Grund von physikalischen oder chemischen Vorgängen Licht emittieren, wie zum Beispiel eine Kerze oder eine Leuchtdiode.

Künstliches Licht bezieht sich dabei auf das produzierte Licht der von Menschen entwickelten Lichtquellen. Autoscheinwerfer, Leuchtreklamen und Straßenbeleuchtungen strahlen künstliches Licht ab. Unter *natürlichem Licht* versteht man jenes Licht, das von Sonne, Mond und Sternen emittiert wird.

2. Lernenden- und Wissenschaftsperspektiven³

LP: Lichtverschmutzung ist die Verschmutzung des Lichts durch Luftpartikel. Das Licht kommt nicht mehr so leicht durch die Atmosphäre und wirkt deshalb trüb.

WP: „Lichtverschmutzung beschreibt die Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Leuchtquellen, deren Licht in der Atmosphäre gestreut wird“ (Posch et al. 2010, 7).

LP: Licht hat keine Auswirkungen auf Mensch, Tier und Pflanzenwelt.

WP: „Lichtverschmutzung [...] hat gravierende Auswirkungen auf allen möglichen Gebieten: Astronomische Beobachtungen werden durch künstliche Lichtquellen erschwert, der Tag- Nacht Rhythmus zahlreicher Organismen wird massiv gestört, nicht zuletzt mit negativen gesundheitlichen Auswirkungen auch auf den Menschen“ (Aubrecht 2012, 5).

Vergleich zwischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Perspektiven

Durch den Begriff *Lichtverschmutzung* treten Assoziationen mit bereits bekannten Umweltverschmutzungen wie Luft- und Wasserverschmutzung bei den Lernenden auf, bei denen es um die Verschmutzung der jeweiligen Substanz durch jegliche Luftpartikel geht. Aus der fachlichen Klärung geht jedoch hervor, dass es sich bei Lichtverschmutzung um Verschmutzung der Umgebung durch künstliches Licht handelt. Da auch die negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung erst vor kurzem wissenschaftlich bewiesen wurden, überwiegt die Vorstellung bei den SchülerInnen, dass Lichtverschmutzung keine Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen und Tieren hat bzw. ist vielen noch nicht bewusst, dass Lichtverschmutzung überhaupt existiert. Aus wissenschaftlicher Perspektive jedoch bringt die Lichtverschmutzung nicht nur Beeinträchtigungen bei Himmelsbeobachtungen mit sich, sondern führt unter anderem auch zu vermehrten Schlafstörungen bei Menschen und zu Desorientierung und Störung des Lebensraums bei Tieren und zur Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums.

3. Didaktische Strukturierung

Um überhaupt Bewertungsaufgaben im Kontext der Lichtverschmutzung durchführen zu können, muss zunächst geklärt werden, was mit diesem zentralen Begriff gemeint ist.

³In den folgenden Unterkapiteln wird die Lernendenperspektive immer mit LP und die Wissenschaftsperspektive mit WP abgekürzt.

Deswegen wurde eine kurze Power Point Präsentation erstellt, die den SchülerInnen vermitteln soll, was Lichtverschmutzung ist, wie sie entsteht und was die Konsequenzen davon sind. Zu diesem Zweck sollten die Lernenden zunächst drei Bilder miteinander vergleichen, welche die Himmelsaufhellung bei verschieden starker Lichtverschmutzung zeigt und schließlich definieren, was Lichtverschmutzung wirklich ist.



Abbildung 5: Himmelsaufhellung bei verschieden starker Lichtverschmutzung

Quelle: (Posch et al 2010, 33)

Daraufhin folgte ein Vortrag über die Begriffsdefinitionen von Lichtmüll und Lichtsmog, sowie die Entstehung und Konsequenzen von Lichtverschmutzung für die Wissenschaft, Mensch und Tier. Die Unterlagen zur Präsentation befinden sich in Anhang B. Die eben vorgestellte Einleitung der Unterrichtsintervention stellt einen Teil der präselektionalen Phase im Entscheidungsprozess dar. Hier steht vor allem das Generieren von Sachinformationen im Vordergrund, wobei hervorgehoben werden muss, dass die TeilnehmerInnen die Informationen nicht selbst recherchiert haben, sondern von mir als Untersuchungsleiterin vorgegeben wurden.

Es sei hier angemerkt, dass die Lernenden bereits in der Präsentation darauf aufmerksam gemacht wurden, dass in dieser Einheit auf Grund des Zeitmangels nicht näher auf physiologische Aspekte, die vor allem bei der Wahrnehmung des Menschen von Helligkeit und Farben ausschlaggebend sind, eingegangen wird.

3.2.2. Station Lampenfarbe

1. Fachliche Klärung

Spektrale Zusammensetzung des Lichts

„[...] Das für uns weiße Licht ist also eine Mischung vieler Spektralfarben zu gleichen Teilen. Eine nicht geringe Zahl unterschiedlicher Frequenzmischungen erscheint uns mehr oder weniger weiß“ (Hecht 2002, 136).

„Im Spektrum des Sonnenlichts sind alle Farben von violett, blau, grün, gelb, rot bis dunkelrot vertreten. Keine Farbkomponente fehlt. Es setzt sich sogar noch in Ultraviolette und ins Infrarote hinein fort. Die bläulichen Farbkomponenten entsprechen so genannten kurzen Wellenlängen, die gelblichen und rötlichen Farbkomponenten werden als langwellig bezeichnet“ (Posch 2013, 44).

„Unterschiedliche Lichtquellen emittieren unterschiedliche Spektren. [...] Für das Wohlbefinden und die Akzeptanz einer Beleuchtung spielt das Spektrum und die resultierende Farbtemperatur eine wichtige Rolle. [...] Durch die Wahl der Leuchtmittel in der Außenbeleuchtung mit einer entsprechenden spektralen Zusammensetzung des Lichtes kann der negative Einfluss auf Menschen, Tiere und Pflanzen vermindert werden“ (Völker & Krenz 2013, 89).

Streuung

„[...] Gemäß dem Rayleigh-Gesetz wird kurzwelliges, blaues Licht in klarer Luft wesentlich stärker gestreut als langwelliges, rotes Licht. Darum erscheint der Taghimmel blau. Streuung bedeutet im Kontext der künstlichen Beleuchtung Verlust von Licht auf der Nutzfläche und Erzeugung von Lichtsmog“ (Posch 2013, 44).

Elementare Konzepte

So wie das Sonnenlicht setzt sich auch das emittierte Licht von Leuchtmitteln aus mehreren Spektralkomponenten zusammen. Die Verteilung dieser spektralen Zusammensetzung spielt dabei eine wichtige Rolle, welchen Weißton bzw. welche Farbe Menschen wahrnehmen. Im Kontext der Lichtverschmutzung ist es essentiell zu wissen, dass der kurzwellige Bereich im sichtbaren Spektrum gemäß dem Rayleigh-Gesetz stärker gestreut wird, als der langwellige, was die Entstehung von Lichtsmog fördert. Je höher also der Blauanteil im Leuchtmittel, desto mehr Licht wird auch gestreut. Um zu überprüfen, wie sich die emittierte Lichtfarbe von Leuchtmitteln zusammensetzt, werden sogenannte Spektroskope verwendet.

Historische Entwicklung

Spektrale Zusammensetzung des Lichts

Laut Hecht gelang es Newton als Erstem einen wissenschaftlichen Beweis für die Zusammensetzung des weißen Lichtes aus Spektralfarben zu liefern (vgl. Hecht 2002, 136). Newton schlussfolgerte damals aus einem Experiment mit einem Glasprisma, dass „die Farben, die man beim Durchgang von weißem Licht durch ein Glasprisma sieht, nicht von diesem erzeugt werden“, sondern „lediglich in seine Farbbestandteile aufspaltet“ (Hecht 2002, 136).

Streuung

Bevor Rayleigh beweisen konnte, dass „die Streuung von Licht durch Teilchen, deren Dimension kleiner als eine Wellenlänge sind“ (Hecht 2002, 153) zustande kommt, glaubte man, dass das Blau des Himmels durch die Streuung von Staubpartikeln in der Luft zustande kommt, deren Dimension weitaus größer ist. Dabei herrschte die Vorstellung vor, dass Licht, so wie an matten Oberflächen, an Staubteilchen in der Luft in alle Richtungen reflektiert wird. Rayleigh konnte allerdings beweisen, dass Sonnenlicht von Gasmolekülen, die sich wie Oszillatoren verhalten, gestreut wird. Laut dem Rayleigh-Gesetz kommt es demnach zur stärkeren, seitlichen Streuung von blauem Licht, weil „alle Moleküle elektronische Resonanzen im UV-Bereich besitzen. Je näher die eingestrahlte Frequenz einer Resonanzfrequenz kommt, desto intensiver reagieren die Oszillatoren“ (Hecht 2002, 152) Da sich der blaue Wellenlängenbereich näher am UV- Bereich befindet, kommt es zur stärkeren Streuung.

Funktion und Bedeutung fachwissenschaftlicher Begriffe

Unter einem *Leuchtmittel* bzw. *einer Lampe* versteht man eine Lichtquelle, die mit Hilfe von chemischen oder physikalischen Vorgängen Licht erzeugt. Chemische Leuchtmittel/ Lampen stellen beispielsweise Beleuchtungsquellen dar, die mit Hilfe von Verbrennung Licht erzeugen, so wie Öllampen und Feuerwerke. Im Gegensatz dazu basieren elektrische Leuchtmittel auf physikalischen Prozessen, wie zum Beispiel die Leuchtdiode.

Als *Leuchte* wird die Vorrichtung bezeichnet, in die ein Leuchtmittel bzw. eine Lampe fest eingebaut ist.

Das *Spektroskop* ist ein optisches Gerät, mit dem das Spektrum einer Lichtquelle untersucht werden kann. Es wird vor allem im Gebiet der Astronomie angewandt um das Licht von Sternen und Galaxien zu untersuchen und so auf wichtige Eigenschaften dieser Himmelskörper schließen zu können.

Die *Lichtfarbe* bzw. *Lampenfarbe* eines Leuchtmittels beschreibt die Farbempfindung, welche Menschen wahrnehmen, wenn man auf eine Lampe blickt. Das emittierte Licht einer Energiesparlampe enthält einen hohen Blauanteil, weshalb Menschen die Lichtfarbe nicht als rein weiß, sondern leicht bläulich empfinden.

2. Lernenden- und Wissenschaftsperspektiven

LP: Sonnenlicht besteht nicht aus einem Gemisch von verschiedenen Lichtsorten, schon gar keinem Blauanteil. (Wiesner 1995, 132)

WP: „Weißes Licht ist ein Gemisch aller Farben des sichtbaren Spektrums.“ (Hecht 2002, 136)

LP: „Licht hat keine Farben, es ist hell.“ (Blumör 1993, 84)

WP: Weißes Licht, welches entweder von natürlichen oder von künstlichen Lichtquellen erzeugt wird, setzen sich immer aus allen Spektralfarben zusammen.

LP: „Licht macht andere Gegenstände hell und damit ebenfalls sichtbar. Diese nun sichtbaren Gegenstände können aber weitere Gegenstände nicht beleuchten.“ (Wiesner 1995, 131)

WP: Beleuchtete Oberflächen strahlen Licht wieder ab. Reicht die Intensität des gestreuten Lichtes aus, so können auch andere Objekte beleuchtet werden, an denen das Licht abermals gestreut wird. Licht wird auch an Luftpartikeln gestreut. In einem Raum ohne Luftpartikel kann das Licht nicht gestreut werden und die Umgebung würde schwarz erscheinen, so wie das Weltall.

Vergleich zwischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Perspektiven

Da die Spektralkomponenten des weißen Lichts nur unter besonderen Umständen im Alltag erkennbar werden, wie zum Beispiel bei einem Regenbogen, überwiegt die Vorstellung, dass Licht keine oder nur eine bestimmte Farbe hat. Wie Newton in seinem Prismaversuch aber zeigen konnte, setzt sich Licht tatsächlich aus mehreren Lichtsorten zusammen. Auch das Konzept, dass das Licht an Oberflächen gestreut wird und sich so noch weiter ausbreitet, ist für viele schwer zu verstehen.

3. Didaktische Strukturierung

Bei der schulischen Umsetzung zur Thematik der Lampenfarbe wurde darauf geachtet, dass zuerst ein Verständnis für die spektrale Zusammensetzung des Lichtes geschaffen wird. Denn nur, wenn akzeptiert wird, dass sich Licht aus verschiedenen spektralen Komponenten zusammensetzt, kann auch verstanden werden, dass es verschiedene Farbbereiche gibt, auf die sich physikalische Phänomene wie die Streuung unterschiedlich auswirken. Im entwickelten Material werden die physiologischen Aspekte der Farbmischung nicht berücksichtigt, da zum Ersten die eingeplante Zeit von zwei Stunden nicht dafür ausreichen würde und weil die Lernenden womöglich mit der gleichzeitigen Verarbeitung von so einer großen Menge an Sachinformationen überfordert wären.

Am Anfang der Station zur Lampenfarbe wurde ein Text aus verschiedenen Quellen erstellt, welche im entwickelten Material als Fußnoten angegeben werden. In diesem Text werden die SchülerInnen darüber informiert, wie sich weißes Licht und jenes emittierte Licht von Leuchtmitteln zusammensetzt, und dass man die spektralen Komponenten mit Hilfe eines Spektroskops untersuchen kann. Nachdem den SchülerInnen ein kurzer Einblick in die Thematik verschafft wurde, führten sie ein Experiment mit den gegebenen Spektroskopen durch. In diesem Versuch sollten sie die Lichtspektren einer neutralweißen und warmweißen LED sowie einer Energiesparlampe analysieren und notieren, welche spektralen Komponenten und welche Lampenfarbe sie wahrnehmen können.

4



Abbildung 6: Verwendetes Material für die Untersuchung der Lampenfarben

Abbildung 6 zeigt drei Spektroskope, die drei Leuchtmittel, ein Geschirrtuch zum Angreifen der Leuchtmittel, da diese sich während der Untersuchung erwärmen, und einen Stecker, welcher die Leuchtmittel über die Steckdose mit Strom versorgt.

⁴ Die Abbildungen 6 und 7 zeigen Bilder, die auf eigener Basis aufgenommen wurden.

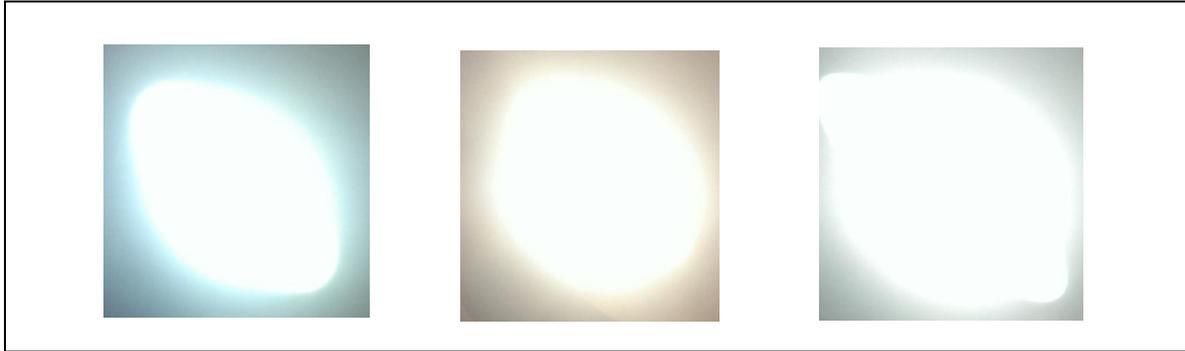


Abbildung 7: Die zu untersuchenden Leuchtmittel. Links: Die Energiesparlampe, Mitte: Die warmweiße LED, Rechts: Die neutralweiße LED

Wie in

Abbildung 7 zu erkennen ist, sind die Unterschiede zwischen dem abgestrahlten Licht der Leuchtmittel teilweise auch schon mit freiem Auge zu erkennen. So kann zum Beispiel der erhöhte Blauanteil in der Energiesparlampe bereits erkannt werden. Hier spielt vor allem die Verteilung der spektralen Komponenten eine wichtige Rolle.

Anschließend lasen die TeilnehmerInnen abermals einen eigens erstellten Text zu den Einflüssen der Spektralverteilung im Hinblick auf die Lichtverschmutzung und deren Auswirkungen auf Mensch und Tier durch. Der Text fokussierte sich dabei sehr stark auf die Nachteile, die bei einem erhöhten Blauanteil im Lichtspektrum auftreten, wie beispielsweise erhöhte Streuung des Lichts und vermehrte Schlafstörungen bei Menschen. Der Text sollte es den SchülerInnen ermöglichen, die Vor- und Nachteile der einzelnen Leuchtmittel zu eruieren, welche dann in einer Tabelle notiert wurden.

Hier muss bemerkt werden, dass die zwei Texte und das Experiment in die präselektionale Phase des Entscheidungsprozesses fallen und die Teilkompetenz „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ unterstützt wird. Die Bewertungsaufgabe zum Schluss dieser Station hingegen ist ein wichtiger Bestandteil der selektionalen Phase, in der die verschiedenen Handlungsoptionen für ein Kriterium, in diesem Fall jenes der Lampenfarbe, miteinander verglichen und abgewogen werden.

3.2.3. Station Beleuchtungsstärke

1. Fachliche Klärung

„[...] Die Beleuchtung dieser Gegenstände wird mit der Beleuchtungsstärke gemessen. Diese ist abhängig von der Stärke der Lichtquelle, von der Entfernung der Lichtquelle und von dem Winkel, unter dem die Lichtstrahlen auf die beleuchtete Fläche treffen. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das Lux. [...] Unter der Beleuchtungsstärke E versteht man also das Verhältnis des rechtwinklig auftreffenden Lichtstroms Φ zur Auftrefffläche A “ (Lohmeyer et al. 2005, 30).

„[...] Die natürliche Helligkeit kann von einem Zehntausendstel bis zu Hunderttausend Lux schwanken und es gibt über diesen gewaltigen Bereich hinweg visuelle Wahrnehmung. [...] Man muss sich klarmachen, dass es keine andere von Lebewesen empfindbare Größe gibt, die auch nur annähernd so stark im Tagesrhythmus zu- und abnehmen kann wie die Beleuchtungsstärke“ (Posch et al. 2010, 16).

Elementare Konzepte

Die Beleuchtungsstärke ist ein wichtiges Maß dafür, wie viel Licht von einer Lichtquelle emittiert wird, auf eine Fläche trifft und so unsere Umgebung ausleuchtet. Auf Grund der Tatsache, dass sich der Mensch an extrem unterschiedliche Beleuchtungsstärken anpassen und sich auch bei geringeren Beleuchtungsstärken noch gut in seiner Umgebung orientieren kann, kann auch bei den Luxwerten der Straßenbeleuchtungen eingespart werden. Dadurch wird weniger Licht ausgestrahlt, was automatisch zu einer Verringerung der Lichtverschmutzung führt. .

Historische Entwicklung

Über die letzten Jahrzehnte nahm die Aufhellung des Himmels und damit auch dessen Beleuchtungsstärke ständig zu. Grund dafür ist, dass der Einsatz der Leuchtmittel bezüglich der Lichtausbeute immer effizienter wurde. Das heißt, dass immer mehr Lichtstrom bei sinkender zugeführter Energie erzeugt werden konnte. Natürlich bestand die Möglichkeit, immer die gleiche Lichtmenge mit dem Einsatz von weniger Energie zu produzieren, doch in der Praxis wurde „immer mehr Licht von immer effizienteren Leuchten freigesetzt“ (Posch et al. 2010, 26). Das bedeutet, dass bei immer effizienterer Lichtausbeute auch die Beleuchtungsstärke und die Anzahl der Außenbeleuchtungen immer mehr zunahm, da sich die Kosten für die Lichterzeugung ebenfalls reduzierten.

Bedeutung und Funktion fachwissenschaftlicher Begriffe

Laut Lohmeyer et al ist mit dem Begriff des *Lichtstroms* „die Lichtenergie, welche von einer punktförmigen Lichtquelle nach allen Richtungen ausgesendet wird“ (Lohmeyer et al 2005, 28) gemeint. Die Einheit des Lichtstroms ist Lumen.

Die *Lichtausbeute* repräsentiert im Prinzip den Wirkungsgrad eines Leuchtmittels und gibt wieder, wie viel Lichtstrom bei einer bestimmten hinzugefügten Energie abgestrahlt wird. Die Einheit der Lichtausbeute ist Lumen pro Watt. Je höher die Lichtausbeute, desto effizienter ist das Leuchtmittel.

Helligkeit kann einmal im physikalischen Sinne und einmal in der subjektiven Wahrnehmung des Menschen definiert werden. In der Physik können mehrere Messgrößen ein Maß für die Helligkeit angeben, wie zum Beispiel die Leuchtdichte oder eben die Beleuchtungsstärke. Im Gegensatz dazu ist die visuelle Wahrnehmung eine subjektive Lichtempfindung, die sich von Person zu Person unterscheiden kann.

Mit Hilfe eines *Luxmeters* kann die Beleuchtungsstärke von verschiedenen Lampen auf eine Fläche gemessen werden. Um verlässliche Messergebnisse zu erhalten, sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass immer vom gleichen Winkel und Abstand zur Lichtquelle aus gemessen wird, da die Beleuchtungsstärke von diesen Parametern abhängt

2. Lernenden- und Wissenschaftsperspektiven

LP: Je mehr Watt eine Lampe besitzt, desto heller leuchtet sie.

WP: Die Wattangabe auf den Leuchtmittelverspackungen geben keine verlässliche Auskunft mehr darüber, wie viel Lichtstrom von dem Produkt ausgesandt wird, da die Lichtausbeute in den letzten Jahrzehnten immer effizienter wurde. Das bedeutet, dass immer mehr Licht bei weniger hinzugefügter Leistung erzeugt werden kann.

LP: Je höher die Beleuchtungsstärke einer Straßenbeleuchtung, desto besser kann man die Umgebung erkennen und desto sicherer kann man sich fühlen. Mehr Licht ist etwas Gutes und trägt zum Wohlbefinden und zur allgemeinen Sicherheit bei.

WP: In Bezug auf Helligkeit denkt und fühlt unser Auge in Zehnerpotenzen. Wird beispielsweise die Beleuchtungsstärke in einem Straßenzug halbiert, dann kann der Mensch dies mit bloßem Auge nicht unterscheiden. (Posch 2013, 43) Zusätzlich hängt

das Helligkeitsempfinden auch davon ab, an welcher Fläche das Licht reflektiert wird. Bei gleicher Beleuchtungsstärke wirkt zum Beispiel ein weißer Raum heller, als ein schwarzer, da dort das Licht besser reflektiert wird. (Jung 1979, 21)

Vergleich zwischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Perspektiven

Wie auch schon bei vielen Menschen zuvor, besteht auch heute noch die Vorstellung, dass viel Licht in der Nacht die Sicherheit der Menschen gewährt. Je heller die Umgebung ist, in der wir uns bewegen, desto sicherer fühlen sich die Menschen. Allerdings würde das menschliche Auge es nicht einmal registrieren, wenn die Beleuchtungsstärke in einer Stadt um 50% reduziert wird, da das Anpassungsvermögen der Augen an die Beleuchtungsstärke so immens breit ist. Bei manchen Lernenden verfestigt sich auch die Idee, dass die Wattangaben Auskunft über die Helligkeit eines Leuchtmittels geben. Früher stimmte dieses Konzept, denn je mehr Watt eine Glühlampe hatte, desto heller leuchtete sie. Die Lichtausbeute stieg also linear an. Heutzutage wird die Lichtausbeute immer effizienter, deswegen gibt die Leistung der hinzugefügten Energie keine Auskunft darüber, wie viel Licht von einem Leuchtmittel ausgesandt wird. Aus der Lumenangabe hingegen lässt sich bestimmen, wie viel Licht von einem Leuchtmittel emittiert wird und dient somit als Indikator für die Helligkeit.

3. Didaktische Strukturierung

Um zu verstehen, was mit der Einheit Lumen pro m² gemeint ist und warum die Wattangabe keine verlässliche Angabe für den abgestrahlten Lichtstrom und somit für die Helligkeit ist, müssen die Definitionen der Lichtausbeute und des Lichtstroms geklärt werden. Erst nachdem diese Begriffe erklärt und definiert wurden, kann auf die Beleuchtungsstärke übergegangen werden. Neben der hohen Anpassungsfähigkeit der Menschen an einen Bereich von ca. 0,25 Lux bis zu ca. 120.000 Lux (Posch et al. 2010, 19), soll außerdem erwähnt werden, dass die Helligkeit auch eine subjektive Sinneswahrnehmung ist, die von Prozessen der Sinneszellen im Auge abhängig ist. Daher soll die Beleuchtungsstärke nicht mit dem menschlichen Helligkeitsempfinden verwechselt werden.

Um den SchülerInnen diesen Inhalt zu vermitteln, wurde wieder ein Text mit dem oben genannten Sachverhalt erstellt. Dieser beinhaltet die wichtigsten zu verarbeiteten Informationen und soll den Lernenden dabei helfen, die darauffolgenden Fragen zu verarbeiten. Um zu demonstrieren, wie hoch das Anpassungsvermögen an verschiedene Beleuchtungsstärken ist, wurde diese Tabelle zum Text hinzugefügt.

Lichtquelle	Beleuchtungsstärke
Sonne (bei klarem Himmel)	Bis zu 128.000 Lux
Tageslicht bei Bewölkung und bei Gewitter	1000- 10 000 Lux, bei Gewitter: 100 Lux
Straßenbeleuchtung	Bis zu 100 Lux
Vollmond	Weniger als 0.25 Lux
Halbmond	Weniger als 0.025 Lux

Tabelle 9: Beleuchtungsstärken verschiedener Lichtquellen, an die sich der Mensch anpassen kann.

Daraufhin sollten die SchülerInnen die folgenden Fragen beantworten um nochmals über den Inhalt des Textes zu reflektieren.

1. Was gibt die Lichtausbeute an?
2. Was gibt die Beleuchtungsstärke an?
3. Was ist aus der Tabelle in Bezug auf die Wahrnehmung der Menschen einer Umgebung bei Nacht zu schließen?
4. Was für eine Bedeutung hat das hohe Anpassungsvermögen der menschlichen Augen an die Beleuchtungsstärke für Außenbeleuchtungen und Lichtverschmutzung?

Nachdem die wichtigsten Sachverhalte geklärt wurden, wurden die Beleuchtungsstärken der zu untersuchenden Leuchtmittel mit Hilfe eines Luxmeters, welches vom Keplergymnasium zur Verfügung gestellt wurde, gemessen. Der Klassenraum wurde dafür abgedunkelt. Die Lernenden wurden darauf aufmerksam gemacht, immer im gleichen Winkel und Abstand zur Lichtquelle zu messen. Diese Informationen wurden in der Überarbeitung des Materials in die Aufgabenstellung hinzugefügt. Zusätzlich sollten die TeilnehmerInnen notieren, wie gut sie ihre Umgebung auf einer Skala von eins bis drei bei den unterschiedlichen Beleuchtungen wahrnehmen konnten.

- 3=Ich kann alles ausgezeichnet erkennen
- 2= Ich kann Umrisse gut erkennen
- 1= Ich kann mich schwer im Klassenzimmer orientieren und fast nichts wahrnehmen.

Nr.	Lichtquelle	Gemessene Lux	Wie gut kann ich die Umgebung erkennen?
1.	Neutralweiße LED		
2.	Energiesparlampe		
3.	Warmweiße LED		

Tabelle 10: Messung der Beleuchtungsstärke und Einschätzung der Sinneswahrnehmung

5



Abbildung 8:
Gleichbleibende
Ausrichtung der Lampe



Abbildung 9:
Verwendetes Luxmeter

Auch hier diente der Einleitungstext als Informationsquelle für das Kriterium Beleuchtungsstärke und die Fragen und das Experiment als Hilfestellung zur Reflexion der generierten Sachinformationen. In der Bewertungsaufgabe kam es anschließend wieder zum Vergleichen und Abwiegen der verschiedenen Leuchtmittel. Somit wurden wichtige Prozesse der präselektionalen und selektionalen Phase grundsätzlich durchlaufen. .

⁵ Abbildung 8 und 9 zeigen Bilder, die auf eigener Basis aufgenommen wurden.

3.2.4. Station Leuchtentyp

1. Fachliche Klärung

Ausbreitung des Lichtes

„In homogenen, isotropen Stoffen bilden die Lichtstrahlen gerade Linien. [...] Da auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit in allen Richtungen dieselbe ist, muss auch der Abstand zwischen zwei Wellenfronten, gemessen längs eines Strahls, überall derselbe sein“ (Hecht 2002, 181).

„Licht breitet sich geradlinig aus, bis es auf etwas trifft“ (Wiesner et al. 2011, 21).

Im Unterrichtsmaterial wurde nicht näher auf die Ausbreitung des Lichts als Strömung eingegangen, da hauptsächlich die geradlinige Ausbreitung in alle Richtungen für die Lichtverschmutzung eine Rolle spielt.

Reflexion

„Reflexion stellt eine besondere Form der Lichtstreuung dar, die an glatten Oberflächen stattfindet und bei der das ankommende Licht, je nach Einfallrichtung, in einer bestimmten Vorzugsrichtung reflektiert wird“ (Wiesner et al. 2011, 35).

„Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel (Hecht 2002, 170). [...] Der zweite Teil des Reflexionsgesetzes besagt, dass der einfallende Strahl, die Flächennormale und der reflektierte Strahl in einer gemeinsamen Ebene- der sogenannten Einfallsebene- liegen“ (Hecht 2002, 172)

Es sei hier angemerkt, dass die Zitate von Wiesner bereits auf Basis von fachwissenschaftlichen Literaturquellen fachdidaktisch rekonstruiert wurden.

Elementare Konzepte

Licht einer Lichtquelle breitet sich geradlinig in alle Richtungen aus, außer es trifft auf ein Objekt, an dem es reflektiert wird. An Spiegeloberflächen kommt es zur gerichteten Reflexion des Lichts. In Reflektorlampen werden die Prinzipien der Reflexion und der Lichtausbreitung genutzt, um Licht auf die Fläche zu lenken, auf der sie gebraucht wird. Um zu verhindern, dass sich Licht in alle Richtungen ausbreitet werden beispielsweise Leuchten montiert, die das Leuchtmittel so abschirmen, dass das austretende Lichtbündel eingegrenzt und somit geschmälert wird. Gleichzeitig werden konkave Spiegel in den Leuchten angebracht, die die einzelnen Lichtstrahlen auf eine bestimmte, zu beleuchtende Fläche konzentrieren sollen.

Historische Entwicklung

Ausbreitung des Lichts⁶

Bereits 300 v. Chr. gelang es Euklid die Grundsätze der geometrischen Optik zu beschreiben. In diesen besagt er, dass sich Licht geradlinig und strahlenförmig ausbreitet. Die geradlinige Ausbreitung des Lichtes brachte Newton im 17. Jahrhundert dann auf die Idee, dass Licht aus kleinen Partikeln bestehen könnte, die geradlinig durch den Raum befördert werden. Diese Lichtteilchen können bei Auftreten an Oberflächen abprallen und so ihre Richtung verändern. Dieses Prinzip erklärt demnach, wie es zur Reflexion des Lichts kommt, kann aber andere Phänomene des Lichtes nicht erläutern, wie etwa die Beugung des Lichts. Dafür wurde in den nächsten Jahrhunderten die Wellentheorie zur Ausbreitung des Lichts aufgestellt, auf die hier aber nicht näher eingegangen wird.

Reflexion

Das Reflexionsgesetz war bereits den alten Griechen schon bekannt, welche das Gesetz durch Beobachtungen der Verhältnisse an einem ebenen Spiegel ohne weiteres herleiten konnten. Das Einzige, was sich seitdem verändert hat, ist die Art und Weise der Experimente zum Reflexionsgesetz, da heutzutage Blitzlampen oder ein Laser mit niedriger Leistung dazu verwendet werden.

Bedeutung und Funktion fachwissenschaftlicher Begriffe

Als *Reflektorlampe* wird eine Beleuchtungsart bezeichnet, die in der Leuchte einen gewölbten Spiegel, um genauer zu sein, einen Hohlspiegel montiert hat. Die konkave Spiegeloberfläche des Reflektors bewirkt nämlich, dass die Lichtstrahlen der Lichtquelle so reflektiert werden, dass sie auf ein kleineres Gebiet konzentriert werden. (vgl. Jung 1979)

Im Gegensatz zu den Hohlspiegeln gibt es auch noch jene Spiegel mit einer konvexen Oberfläche. Diese Spiegel werden dann als *Wölbspiegel* bezeichnet. Da sie die Lichtstrahlen nicht konzentrieren, sondern diese weiter auseinander zerstreuen, eignen sie sich eher nicht zur effizienten Lichtlenkung in Reflektorlampen.

Ein *Lichtbündel* entsteht, wenn die geradlinige Ausbreitung des Lichtes durch eine Abschirmung verhindert wird und Licht nur aus einer Öffnung austreten kann. Tritt das Licht kegelförmig aus der Öffnung aus, wird das austretende Licht auch als *Lichtkegel* bezeichnet. Wird das austretende Lichtbündel immer mehr von anderen Hindernissen, wie zum Beispiel

⁶ Quelle zur Geschichte der Ausbreitung des Lichts: <http://www.led-info.de/grundlagen/licht/was-ist-licht/geschichte.html>

Blenden, eingeengt, so entsteht ein *Lichtstrahl*, welcher allerdings nur ein ideales mathematisches Modell für die Ausbreitung des Lichts ist. In der Realität stellt Licht nie einen einzigen Strahl dar.

Der Schirm, der über ein Leuchtmittel zur Lichtlenkung verwendet wird, wird normalerweise als *Leuchtschirm* oder *Lampenschirm* bezeichnet, wobei sich Leuchtschirme auf Außenbeleuchtungen beziehen und Lampenschirme auf Innenbeleuchtungen.

2. Lernenden- und Wissenschaftsperspektiven

LP: „Licht ist die Helligkeit, die auf einem beleuchteten Gegenstand liegt und dort liegen bleibt. [...] Eine vermittelnde Entität, quasi ein „Bote“, wird nicht in Erwägung gezogen, die Beziehung ist die einer Fernwirkung“ (Wiesner 1995, 131).

WP: „Licht stellt eine kontinuierliche Strömung dar mit einer sehr großen, aber dennoch endlichen Strömungsgeschwindigkeit. Die Ausbreitung des Lichts erfolgt geradlinig“ (Wiesner et al. 2011, 18)

LP: „Licht bewegt sich nur in der Einschaltphase. [...] Dann strömt nichts mehr, ein statischer Zustand hat sich eingestellt“ (Wiesner et al. 2011, 19).

WP: „Licht wird vom Sender kontinuierlich abgestrahlt und bewegt sich von der Quelle weg“ (Wiesner et al. 2011, 19)

Vergleich zwischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Perspektiven

Häufig tritt das Konzept bei den Lernenden auf, dass Licht an Oberflächen liegen bleibt. Zwar wird verstanden, dass Licht an Spiegeloberflächen reflektiert wird, doch an matten Oberflächen wird auf die Reflexion und Streuung von Licht vergessen. Zusätzlich wird die Ausbreitung des Lichts nicht als kontinuierliche, geradlinige Strömung verstanden, sondern als etwas, das ausgesandt wird, sein Ziel erreicht und dort haften bleibt. Dazwischen befindet sich jedoch kein Licht, weil man dieses ja auch nicht sehen kann. Im Gegensatz dazu beschreibt die Wissenschaftsperspektive das Konzept, dass das Licht sich von einer Quelle aus als Strömung in alle Richtungen ausbreitet und ständig von der Lichtquelle abgestrahlt werden muss. Dieses Konzept kann verifiziert werden, indem man zum Beispiel Kreidestaub zwischen den Raum von der Lichtquelle und dem beleuchtenden Objekt wirft. Durch den Staub wird das Licht in alle Richtungen abgelenkt, wodurch ein Teil des Lichts auch in unser Auge trifft und somit sichtbar wird.

3. Didaktische Strukturierung

Im entwickelten Material wurden vor allem das Konzept der geradlinigen Ausbreitung des Lichts und der Reflexion in Hinblick auf die Lichtlenkung einer Leuchte berücksichtigt. Dabei sollte verstanden werden, dass ein Lichtbündel durch Blenden so eingengt werden können, dass ein paralleles Lichtbündel entsteht. Des Weiteren sollten die SchülerInnen erkennen, dass sich konkave Spiegeloberflächen in Reflektorlampen sehr gut dafür eignen, das Lichtbündel auf eine bestimmte Fläche zu konzentrieren. In Bezug auf diese zwei Konzepte wurde zunächst wieder ein Text verfasst, welcher den TeilnehmerInnen erklären soll, worum es bei der Lichtlenkung geht und wie diese in Zusammenhang mit der Vorbeugung von Lichtverschmutzung stehen. Anschließend führten die Lernenden zwei Versuche zum Thema Ausbreitung des Lichts und Reflexion an Spiegeloberflächen durch.

Beim ersten Versuch sollen die SchülerInnen mit Hilfe von Blenden ein Lichtbündel einengen. So sollen sie verstehen, dass durch gute Abschirmung der Lichtquelle verhindert werden kann, dass sich das Licht in alle Richtungen ausbreitet.

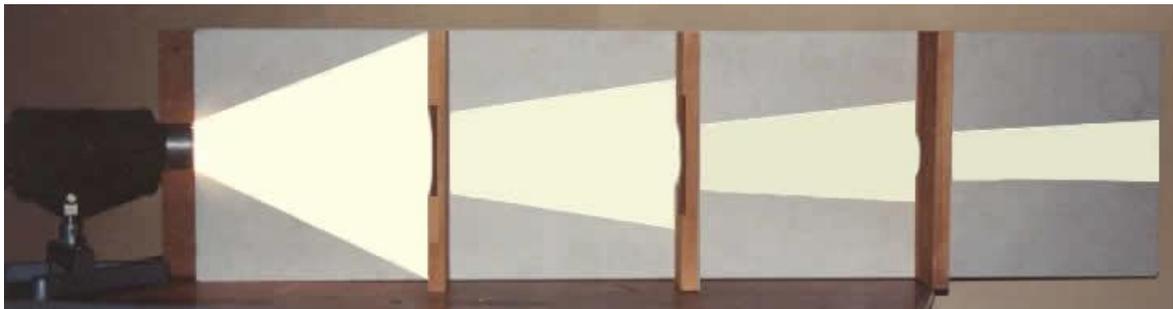


Abbildung 10: Idee zum Versuch der Ausbreitung des Lichts.

Quelle: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/lichtausbreitung/lichtbündel-lichtstrahl>

Beim zweiten Experiment sollten die SchülerInnen die Reflexion an drei verschiedenen Spiegeloberflächen untersuchen, um zu sehen, welche sich am besten zur Lichtlenkung eignen. Dafür wurden ein flacher Spiegel und ein Kugelspiegel, der eine konkave und konvexe Oberfläche besitzt, verwendet. In der nächsten Abbildung werden die Materialien für die beiden Experimente gezeigt.

7



Abbildung 11a:

Links: 6 Holzklötze als Blenden, oben
rechts: Spalten für optisches Gerät zur
Erzeugung von Lichtstrahlen, unten
rechts: Optische Leuchte;



Abbildung 11b:

Links: Ebener Spiegel
Rechts: Kugelspiegel mit konkaver und
Und konvexer Spiegeloberfläche

Bei der flachen Spiegelebene gilt das Reflexionsgesetz:

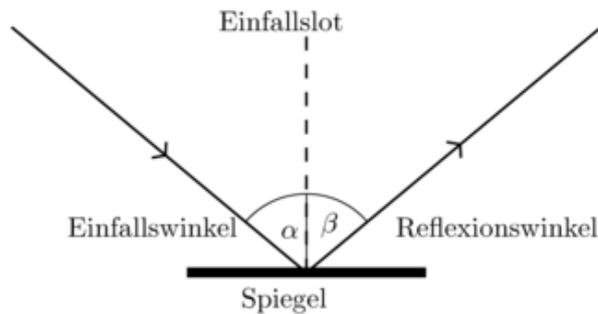


Abbildung 12: Reflexion am flachen Spiegel

Quelle: <http://www.4teachers.de/?action=keywordsearch&searchtype=images&searchstring=Reflexionsgesetz>

An der konkaven und konvexen Spiegeloberfläche soll die Reflexion so aussehen (vgl. Hecht 2002, 302):



Abbildung 13: Reflexion
konkaver Spiegel

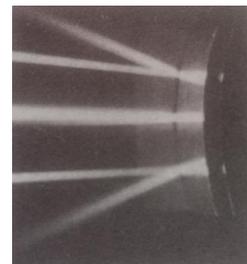


Abbildung 14: Reflexion
konvexer Spiegel

⁷ Abbildung 11 a und b zeigen Bilder, die auf eigener Basis aufgenommen wurden.

Wie auch schon in den Stationen zuvor wurde den SchülerInnen dann der Auftrag gegeben, drei unterschiedliche Leuchtentypen zu beurteilen um zu untersuchen, welcher Typ sich am besten für eine optimale Lichtlenkung eignet. Die Experimente dieser Station, sowie die Bewertungsaufgabe zum Schluss stellen abermals, wie auch schon in den zwei Stationen zuvor, wichtige Bestandteile der präselektionalen Phase und selektionalen Phase dar. Hier werden wiederum die Teilkompetenzen „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ und „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ zu einem bestimmten Grad angewandt. Das Bewertungsbeispiel dieser Station, wie auch die der drei anderen, wird in Kapitel 4.2 vorgestellt. Auch die Bewertungstabelle und das Concept Cartoon, welche vor allem die Prozesse des Entscheidens und Reflektierens der zweiten Teilkompetenz beinhalten, werden in diesem Kapitel vorgestellt.

3.3. Auswertungsschema für die entwickelten Stationen

Nach der Beschreibung, zu welchen Überlegungen die Stationen entwickelt wurden, muss ein Schema erstellt werden, welches die Effektivität der Aufgaben untersucht und überprüft, wie gut die SchülerInnen den Sachinhalt verstanden haben. Der Grund, warum sich das Auswertungsschema im Kapitel zur Erstellung des Unterrichtskonzepts befindet, findet sich in der achten Leitfrage des CoRe- Rasters, welche darauf hinweist, dass die Überprüfung der Aufgabenstellungen in der Planung und Entwicklung des Materials berücksichtigt werden soll.

Da auch die Aufgaben zur Unterstützung des Bewertungsstrukturwissens in Verbindung mit dem Sachstrukturwissen wichtige Aussagen über die Bewertungskompetenz treffen, müssen beide Sachverhalte in einem Auswertungsschema berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Kategoriensystem entwickelt, welches je nach Berücksichtigung relevanter Sachverhalte und Verwendung der richtigen fachlichen Termini als auch der Qualität der Lösung zu Bewertungsaufgaben Punkte verteilt. Mittels der erreichten Punkte können dann die Ergebnisse der TeilnehmerInnen analysiert werden um herauszufinden, wo es Schwierigkeiten gab und was bei einer Vor- bzw. Nachbearbeitung des Phänomens Lichtverschmutzung unbedingt bedacht werden muss. Zusätzlich zeigen die Resultate auch, wie leicht es den SchülerInnen fiel, innerhalb kürzester Zeit ein Bewertungsstrukturwissen zu entwickeln. Deswegen werden in den nächsten Abschnitten die Kategoriensysteme der einzelnen Stationen beschrieben.

3.3.1. Auswertungsschema für die Beleuchtungsstärke

Wie zuvor bei der Didaktischen Rekonstruktion zur Station der Beleuchtungsstärke demonstriert wurde, wurde zum Zweck der Vermittlung ein Text zusammengestellt, den die TeilnehmerInnen durchlesen und dessen Fragen sie anschließend beantworten sollen. Daraufhin führten sie ein kurzes Experiment durch, in welchem sie die Beleuchtungsstärke der verschiedenen Leuchtmittel messen und in eine Tabelle eintragen mussten. Mittels der gegebenen Informationen aus dem Text und dem Experiment sollten sie schließlich zu der Entscheidung kommen, welches Leuchtmittel im Hinblick auf die Beleuchtungsstärke am geeignetsten für die Außenbeleuchtung wäre. In Tabelle 11 und Tabelle 12 wird gezeigt, wie die Punktevergaben für die ersten beiden Fragen dieser Station lauten. Da es nur zwei Möglichkeiten gab, die genannt werden konnten um die Frage vollkommen zu beantworten, konnten auch nur maximal 2 Punkte dafür vergeben werden.

Punkte	Was gibt die Lichtausbeute an?
2 Punkte	Wie viel Licht pro hinzugefügter elektrischer Leistung erzeugt wird UND wie viel Lumen pro Watt erzeugt werden
1 Punkt	Wie viel Licht pro hinzugefügte elektrische Leistung erzeugt wird ODER wie viel Lumen pro Watt erzeugt werden.
0 Punkte	Keines von beiden.

Tabelle 11: Kategoriensystem für Frage 1.b.1 zur Station Beleuchtungsstärke

Punkte	Was gibt die Beleuchtungsstärke an?
2 Punkte	Wie viel Lumen auf einen Quadratmeter treffen UND wie stark eine Fläche beleuchtet wird.
1 Punkt	Wie viel Lumen auf einen Quadratmeter treffen ODER wie stark eine Fläche beleuchtet wird.
0 Punkte	Keines von beiden.

Tabelle 12: Kategoriensystem für Frage 1.b.2 zur Station Beleuchtungsstärke

Die nächsten beiden Tabellen beziehen sich auf die Fragen 1.b.3 und 1.b.4. Hier sei angemerkt, dass besonders bei der Erstellung dieser Kategorien darauf geachtet wurde, dass alle nötigen Informationen zur Erlangung der höchsten Punkteanzahl auch explizit im Text zu finden waren. Die Antwortmöglichkeiten unterscheiden sich vor allem durch die Verwendung der Begriffe Licht bzw. Dunkelheit und Beleuchtungsstärke und durch die

Anzahl der genannten Schlussfolgerungen. Die meisten Punkte in Frage 1.b.3 konnten deswegen nur erreicht werden, wenn der Fachbegriff der Beleuchtungsstärke in der Antwort verwendet wurde und wenn die Anpassung an extrem unterschiedliche Beleuchtungsstärken in Bezug auf die Orientierung bei Nacht erläutert wurde. Frage 1.b.4 steht in direkter Verbindung mit der vorherigen Fragestellung. Hier wurde bei der Vergabe der Punkte darauf geachtet, ob ein Bezug zur Außenbeleuchtung und zur Lichtverschmutzung hergestellt wurde und ob, wie schon zuvor, der richtige Fachbegriff angewandt wurde.

Punkte	Was ist aus der Tabelle in Bezug auf die Wahrnehmung der Menschen einer Umgebung bei Nacht zu schließen?
3 Punkte	Dass sich Menschen an extrem unterschiedliche Beleuchtungsstärken anpassen können UND sich somit auch bei geringer Beleuchtungsstärke/ wenig Licht orientieren und sehen können.
2 Punkte	Dass sich Menschen an extrem unterschiedliche Beleuchtungsstärken anpassen können ODER dass sich Menschen auch bei geringer Beleuchtungsstärke/ wenig Licht orientieren und sehen können.
1 Punkt	Der Mensch braucht nicht viel Licht bei Nacht, da sich die Augen an die Dunkelheit anpassen.
0,5 Punkte	Die menschlichen Augen passen sich der Dunkelheit an.
0 Punkte	Keines von beiden.

Tabelle 13: Kategoriensystem für Frage 1.b.3 zur Station Beleuchtungsstärke

Punkte	Was für eine Bedeutung hat das hohe Anpassungsvermögen der menschlichen Augen an die Beleuchtungsstärke für Außenbeleuchtungen und Lichtverschmutzung?
3 Punkte	Da sich Menschen auch bei geringeren Beleuchtungsstärken gut orientieren können, müssen Außenbeleuchtungen nicht so eine hohe Beleuchtungsstärke aufweisen. Das heißt, weniger Licht wird auf eine Fläche gestrahlt und wirkt somit der Lichtverschmutzung entgegen.
2 Punkt	Da der Mensch in der Nacht nicht so viel Licht braucht, muss nicht so viel Licht von der Außenbeleuchtung abgestrahlt werden. Das wirkt der Lichtverschmutzung entgegen.
1 Punkt	Da der Mensch in der Nacht nicht so viel Licht braucht, muss nicht so viel Licht von der Außenbeleuchtung abgestrahlt werden.
0 Punkte	Alle anderen Antworten.

Tabelle 14: Kategoriensystem für Frage 1.b.4 zur Station Beleuchtungsstärke

Nach der Bearbeitung des Textes wurde von den Lernenden verlangt, dass sie ein Experiment zur Beleuchtungsstärke durchführen und sich dann für ein Leuchtmittel entscheiden. Zusätzlich sollten sie zwei Argumente für ihre Entscheidung formulieren, damit sie sich in der Rolle als BürgermeisterIn auch vor den EinwohnerInnen rechtfertigen können. Auch für die Bewertungsaufgabe wurde ein Auswertungsschema erstellt. In der folgenden Tabelle ist es auffällig, dass für alle Entscheidungsmöglichkeiten Punkte vergeben werden. Das hängt damit zusammen, dass es im Hinblick auf die Bewertungskompetenz keine ganz richtige bzw. falsche Entscheidung gibt, da alle Vor- und Nachteile aufweisen. Jedoch gibt es in Bezug auf die Verringerung der Lichtverschmutzung Leuchtmittel, die sich besser eignen, was sich in der Punktevergabe widerspiegelt.

Punkte	Für welche Lampe entscheide ich mich?
3 Punkte	Warmweiße LED
2 Punkt	Neutralweiße LED
1 Punkte	Energiesparlampe

Tabelle 15: Kategoriensystem für die Entscheidung bezüglich der Beleuchtungsstärke

Bei der Auswertung der Bewertungsaufgabe wurde unter anderem speziell darauf geachtet, wie ausgiebig die Antworten formuliert wurden und ob wiederum der Begriff der Beleuchtungsstärke verwendet wurde. In welcher Reihenfolge die Argumente genannt wurden, spielt bei der Zuteilung der Punkte keine Rolle, es muss auch nicht der genaue Wortlaut wiedergegeben werden, sondern die sinngemäße Übereinstimmung der Argumente mit den gezeigten Kategorien. Auffällig ist auch, dass sogenannte Partial Points vergeben wurden. Partial Points wurden deswegen gewählt, weil die Antwortmöglichkeiten, die unter diese Kategorie fallen, entweder nicht vollständig dokumentiert oder auch physikalisch nicht vollkommen richtig sind. In Argument 2 erhält die Antwort „wenig Lichtverschmutzung“ beispielsweise nur einen Partial Point, da diese Antwort zwar richtig ist, dies allerdings auf alle ausgewählten Leuchtmittel in der Unterrichtintervention zutreffen könnte. Es fehlt die nötige Begründung, warum es zu weniger Lichtverschmutzung kommt, um ein sinnhaftes Argument zu ergeben. In Argument eins hingegen erhält die Antwort „der Mensch kann sich an Dunkelheit anpassen“ nur einen Partial Point, weil sie physikalisch gesehen nicht korrekt ist, da sich der Mensch an geringe Beleuchtungsstärken anpassen kann, jedoch bei Dunkelheit nicht in der Lage ist irgendetwas zu sehen. Dennoch erhält die Antwort einen halben Punkt, weil im Prinzip verstanden ist, was im Zusammenhang mit der Nacht und Beleuchtung gemeint ist.

Punkte	Argument 1
2 Punkte	Auf Grund des hohen Anpassungsvermögens unserer Augen an verschiedene Beleuchtungsstärken, also auch kleinen, kann man sich auch bei geringer Beleuchtungsstärke gut orientieren und die Umgebung gut wahrnehmen.
1 Punkt	Der Mensch kann sich auch bei wenig Licht gut orientieren, weil die Augen sich an wenig Licht anpassen können.
0.5 Partial Points	Der Mensch braucht nicht so viel Beleuchtung um sich zu orientieren ODER Der Mensch kann sich an Dunkelheit anpassen ODER die Umgebung kann gut wahrgenommen werden.
0 Punkte	Andere Antworten.

Tabelle 16: Kategoriensystem für erstes Argument zur Station Beleuchtungsstärke

Punkte	Argument 2
2 Punkte	Da bei einer geringeren Beleuchtungsstärke weniger Licht, das dann auf eine Fläche trifft, abgestrahlt wird, wirkt sich eine geringe Beleuchtungsstärke auch positiv auf die Verminderung der Lichtverschmutzung aus.
1 Punkt	Weil die Lampe am wenigsten Lux hat, wirkt sie der Lichtverschmutzung am ehesten entgegen.
0.5 Partial Points	Weniger Lichtverschmutzung ODER Straße wird trotzdem ausgiebig beleuchtet ODER hat am wenigsten Lux
0 Punkte	Andere Antworten.

Tabelle 17: Kategoriensystem für zweites Argument zur Station Beleuchtungsstärke

3.3.2. Auswertungsschema für die Lampenfarbe

Gleich wie zuvor wurde auch für diese Station ein Auswertungsschema erstellt. Anhand des zuvor durchgeführten Experiments und dem gelesenen Text sollten Vor- und Nachteile der einzelnen Leuchtmittel ermittelt werden, die dann in die Entscheidung einfließen sollen. Zuerst wurde das Kategoriensystem für die Stärken und Schwächen der Leuchtmittel verfasst. Hier wurde wiederum darauf geachtet, dass die nötigen Informationen im Informationstext zu finden waren, bei manchen Vor- und Nachteilen musste jedoch auf Basis des Experiments eine gewisse Interpretationsarbeit verrichtet werden, was auch in der Punktevergabe berücksichtigt wurde.

Punkte	Vorteile neutralweiße LED
1 Punkt	Zieht nicht so viele Insekten an, trägt nicht so viel zu Schlafstörungen bei, nicht so starke Streuung
0 Punkte	Alle anderen Antworten

Tabelle 18: Punktevergabe für die Vorteile der neutralweißen LED

Punkte	Nachteile Neutralweiße LED
1 Punkt	Doch noch recht hoher Blauanteil → mehr Streuung oder mehr Insektenanziehung oder mehr Schlafstörung
0 Punkte	Alle anderen Antworten

Tabelle 19: Punktevergabe für die Nachteile der neutralweißen LED

Punkte	Vorteile Energiesparlampe
1 Punkte	Hohe Lichtausbeute oder wenig benötigte Energie
0 Punkte	Alle anderen Antworten

Tabelle 20: Punktevergabe für die Vorteile der Energiesparlampe

Punkte	Nachteile Energiesparlampe
3 Punkte	Enthält hohen Blauanteil, was mehr Insekten anzieht und zu Schlafstörungen führen kann. Außerdem wird Blauanteil mehr gestreut, die Energiesparlampe streut also am meisten und trägt so sehr zur Lichtverschmutzung bei.
2 Punkte	Zwei dieser Kriterien werden genannt: Starke Streuung, Schlafstörungen oder Anziehung von Insekten
1 Punkt	Nur eines der oben genannten Kriterien wird genannt.
0 Punkte	Keines der oben genannten Kriterien wird genannt.

Tabelle 21: Punktevergabe für die Nachteile der Energiesparlampe

Punkte	Vorteile warmweiße LED
3 Punkte	Diese drei Kriterien werden genannt: viel langwelliges Licht, führt zu weniger Schlafstörungen, weniger Insektenanziehung, am wenigsten Streuung
2 Punkte	Zwei der oben genannten Kriterien werden genannt.
1 Punkt	Eines der oben genannten Kriterien wird genannt.
0 Punkte	Keiner der oben genannten Kriterien wird genannt.

Tabelle 22: Punktevergabe für die Vorteile der warmweißen LED

Punkte	Nachteile warmweiße LED
1 Punkt	Weniger Lichtausbeute
0 Punkte	Alle anderen Antworten

Tabelle 23: Punktevergabe für die Nachteile der warmweißen LED

Was bei diesem Kategoriensystem besonders auffällig ist, ist die unterschiedliche Punktevergabe bei den einzelnen Leuchtmitteln. Grund für diese Differenzen ist der zusammengestellte Text, der für die Aufklärung der Stärken und Schwächen verwendet wurde. Der Text erläutert sehr detailreich, dass vor allem der Blauanteil eines Leuchtmittels zur Lichtverschmutzung beiträgt, da dieser stärker gestreut wird, manche Insektenarten stärker anzieht und bei Menschen Schlafstörungen verursachen kann. Daraus ergibt sich, dass sich die warmweiße LED mit dem geringsten und die Energiesparlampe mit dem höchsten Blauanteil in ihren Vor- und Nachteilen genau widersprechen, was auch in der Punktevergabe dieser beiden Leuchtmittel erkenntlich ist. Da die neutralweiße LED genau im Mittelfeld liegt und weder zu viele, noch sehr wenige Blauanteile besitzt, musste für die Erläuterung der Vor- und Nachteile etwas Interpretationsarbeit von den SchülerInnen geleistet werden. Da keine klaren Stärken und Schwächen der neutralweißen LED im Text formuliert wurden, wurde dies auch in der Punktevergabe berücksichtigt, indem man einen Punkt für zumindest eines der aufgelisteten Kriterien gewinnen kann. In der nächsten Tabelle wird das Auswertungsschema für die Entscheidung und deren Begründung demonstriert.

Punkte	Für welchen Lampentyp würdest du dich als Bürgermeisterin nun entscheiden?
3 Punkte	Warmweiße LED
2 Punkt	Neutralweiße LED
1 Punkt	Energiesparlampe

Tabelle 24: Punktevergabe für die Entscheidung eines Leuchtmittels

Punkte	Für welchen Lampentyp würdest du dich als Bürgermeisterin nun entscheiden? Begründe warum.
3 Punkte	Drei der folgenden Kriterien werden erwähnt: Langwelliges/kurzwelliges Licht, niedriger Blauanteil, Streuung, Schlafstörung und Anziehung von Insekten, wirkt der Lichtverschmutzung entgegen
2 Punkte	Zwei der oben genannten Kriterien werden genannt.
1 Punkt	Nur eines der oben genannten Kriterien wird genannt.
0 Punkte	Keines der oben genannten Kriterien wird genannt.

Tabelle 25: Punktevergabe für die genannten Kriterien in der Begründung

Die Punktevergabe für die Entscheidung für das Leuchtmittel erfolgte genau gleich wie bei der Beleuchtungsstärken- Station und wird deswegen nicht mehr detaillierter beschrieben. Zur Punktevergabe in Tabelle 25 sei hinzugefügt, dass bei den Ergebnissen zusätzlich darauf geachtet wird, ob die genannten Kriterien sinnvoll mit einander verbunden wurden. Die Sätze sollten vollständig dokumentiert sein, ansonsten können sie nicht die volle Punktezahl erreichen. Da die korrekte Verknüpfung aller angefügten Aspekte schon an Expertenwissen grenzt und nicht davon ausgegangen wird, dass die TeilnehmerInnen mehr als drei Punkte in ihrer Argumentation erwähnen, können maximal drei Punkte erreicht werden. Sollte dennoch der Fall eintreten, dass manche alle der genannten Blickpunkte aufschreiben, so erhalten sie zusätzliche Partial Points pro Kriterium in der Auswertung der Ergebnisse.

3.3.3. Auswertungsschema für den Leuchtentyp

In der dritten Station geht es darum, anhand von zwei Experimenten zu eruieren, welcher Leuchtentyp sich am besten dazu verwenden ließe, Lichtverschmutzung zu verringern. Um zu analysieren, wie gut die SchülerInnen die physikalischen Prinzipien dahinter verstanden haben, wurden wiederum Kategorien für die zwei Experimente und die Bewertungsaufgabe erstellt, die nun vorgestellt werden.

Punkte	Skizzierung der Ausbreitung von Licht
1 Punkt	Die Ausbreitung des Lichtes wurde richtig eingezeichnet.
0 Punkte	Die Ausbreitung des Lichtes wurde falsch eingezeichnet.

Tabelle 26: Punktevergabe für die Skizzierung der Lichtausbreitung

Punkte	Was kannst du aus diesem Experiment auf die Ausbreitung des Lichtes schließen?
2 Punkte	Das Licht breitet sich so lange geradlinig aus, bis es auf etwas trifft.
1 Punkte	Das Licht breitet sich kegelförmig aus, bis es auf etwas trifft.
0,5 Partial credits	Nur: Licht breitet sich kegelförmig aus.
0 Punkte	Alle anderen Antworten

Tabelle 27: Punktevergabe für Antworten der ersten Frage zur Lichtausbreitung

Punkte	Was kannst du aus diesem Experiment über den geeignetsten Leuchtentyp schließen?
3 Punkte	Folgende drei Kriterien werden genannt: Der geeignetste Leuchtentyp schließt das Leuchtmittel vollkommen, außer nach unten, ein, richtet Licht auf den Teil der Straße, der beleuchtet werden muss und strahlt Licht nicht in alle Richtungen ab.
2 Punkte	Zwei der oben genannten Kriterien werden erläutert.
1 Punkt	Eines der oben genannten Kriterien wird erläutert.
0 Punkte	Keines der oben genannten Kriterien wird erläutert.

Tabelle 28: Punktevergabe für Antwort der zweiten Frage zur Lichtausbreitung

Punkte/ Skizze	Strahlengang in der Skizze
2 Punkte	SchülerInnen haben mindestens zwei ein- und ausfallende Lichtstrahlen richtig eingezeichnet.
1 Punkt	SchülerInnen haben nur einen ein- und ausfallenden Lichtstrahl eingezeichnet.
0,5 Punkt	SchülerInnen haben mehrere reflektierte Strahlen eingezeichnet.
0 Punkte	Alles andere

Tabelle 29: Punktevergabe für die Skizze aus dem zweiten Experiment

Punkte	Welche Oberfläche eignet sich unter Berücksichtigung der Lichtlenkung und Lichtverschmutzung am besten für eine Straßenleuchte?
2 Punkte	Eine konkave Oberfläche eignet sich für diesen Zweck am besten, da das Licht besser gesammelt werden kann und so zur besseren Lichtlenkung dient.
1 Punkte	Eine flache Oberfläche eignet sich am besten, da sie nicht zu viel ungebrauchtes Licht abstrahlt, aber immer noch eine genügend große Fläche ausleuchten kann.
0 Punkte	Alle anderen Antworten.

Tabelle 30: Punktevergabe für Antwort der ersten Frage zur Reflexion des Lichtes

Da in dieser Aufgabe nur sehr wenig zu lesen war und die Antworten der TeilnehmerInnen hauptsächlich auf die Resultate der Experimente basieren, wurde bei der Punktevergabe auf die möglichen Interpretationen der Ergebnisse geachtet. Beim ersten Experiment zum Beispiel, breitet sich das Lichtbündel kegelförmig aus der Öffnung aus. Allerdings geschieht dies durch die Abschirmung der Lichtquelle, welche verhindert, dass sich Licht in alle Richtungen ausbreitet. Daran sollen die Lernenden erkennen, dass Licht sich nur so lange ausbreitet, bis es auf etwas trifft. Außerdem kann man am Einengen des Lichtbündels erkennen, dass sich der Lichtstrahl, der direkt aus der Öffnung tritt, sich geradlinig ausbreitet. Dies wurde allerdings von keinem der TeilnehmerInnen berücksichtigt. Beim zweiten Experiment muss ergänzt werden, dass die Punktevergabe für die Skizze erst nach der Durchführung der Einheit erstellt wurde, da es auch hier anscheinend ein paar Missverständnisse gab. Das Auswertungsschema für diese beruht daher auf die Ergebnisse der SchülerInnen. Außerdem werden in beiden Experimente Partial Points für jeweils eine

Antwort gegeben. Beim ersten Experiment betrifft dies den Fall, wenn die Ausbreitung des Lichtes nur als kegelförmig angenommen wird. Diese Erklärung ist zwar physikalisch nicht korrekt, doch es ist eine Common Sense Antwort, da es beim Versuch tatsächlich so aussieht. Beim zweiten Experiment wird ein Partial Point vergeben, wenn die SchülerInnen mehrere reflektierte Strahlen eingezeichnet haben. Obwohl keine Aussagen über das Reflexionsgesetz wiedergibt und auch im Normalfall als nicht richtig eingestuft wird, so erfüllt die Skizzierung der reflektierten Strahlen dennoch den Zweck, dass die SchülerInnen sehen, wie die Lichtstrahlen an den verschiedenen Oberflächen abgelenkt werden. Dadurch können sie auch interpretieren, welche Oberfläche sich am besten für die Lichtlenkung eignet, was das Ziel des Experiments in diesem Fall erfüllt. Die nächsten zwei Tabellen fokussieren sich auf die abschließende Bewertungsaufgabe der Station.

Punkte	Bewerte anhand der Experimente, wie gut die gezeigten Leuchten das Licht lenken können. In den Feldern für Lichtlenkung kannst du unten angeführten Werteinheiten verwenden.
3 Punkte	Wenn die SchülerInnen den Leuchtentyp zur warmweißen LED auf dem Handout mit „sehr gut“, den zur neutralweißen LED mit „nicht sehr gut“ und den mittleren Leuchtentyp zur Energiesparlampe mit „gar nicht“ bewerten.
2 Punkte	Wenn die SchülerInnen den Leuchtentyp zur warmweißen LED und den Leuchtentyp zur neutralweißen LED mit „sehr gut“ und jenen zur Energiesparlampe mit „gar nicht“ bewerten.
1 Punkt	Wenn die SchülerInnen den Leuchtentyp zur Energiesparlampe mit sehr gut bewerten.

Tabelle 31: Punktevergabe für den ersten Teil der Bewertungsaufgabe

Punkte	Begründung der Bewertungsaufgabe
3 Punkte	Wenn drei dieser relevanten Kriterien näher erörtert werden: Lichtverschwendung durch den Leuchtentyps, Lichtlenkung des Leuchtentyps, Ausbreitung des Lichts, Lichtverschmutzung
2 Punkt	Wenn zwei dieser relevanten Kriterien genannt werden.
1 Punkt	Wenn ein relevantes Kriterium genannt wird.
0 Punkte	Andere Antworten.

Tabelle 32: Punktevergabe für den zweiten Teil der Bewertungsaufgabe

Auch hier gibt es bei der Beantwortung des ersten Teils der Bewertungsaufgabe keine falsche Antwort und daher Null Punkte. Bei der Begründung wurde beachtet, auf welche Kriterien bei den verschiedenen Leuchtentypen insgesamt eingegangen wurde. Die Kriterien beziehen sich dabei auf die Erkenntnisse, die aus den Experimenten gewonnen werden sollen, wie zum Beispiel Schwächung der Lichtverschmutzung bzw. die Ausbreitung des Lichtes durch Lichtlenkung. Werden drei dieser Kriterien explizit in der gesamten Begründung erläutert, so kann die maximale Punkteanzahl erreicht werden.

4. Untersuchungsdesign

In diesem Kapitel wird das zugrundeliegende Forschungsdesign dieses Diplomarbeitprojekts mit den gewählten Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen vorgestellt. Es soll näher erörtert werden, mit Hilfe welcher Methoden die Daten erhoben wurden und warum diese Methoden gewählt wurden. Prinzipiell setzt sich die Untersuchung aus drei Teilen zusammen, die anschließend im Detail näher besprochen werden. Diese setzen sich zusammen aus einem Pre- und Posttest, der Datenerhebung anhand der Bewertungsaufgaben der Unterrichtsintervention und den sogenannten Think- Aloud Interviews. Es sei hier hervorgehoben, dass im Unterkapitel 4.2, welches sich mit der Datenerhebung des Unterrichtskonzepts beschäftigt, nur die Bewertungsaufgaben zur Förderung des Bewertungsstrukturwissens beschrieben werden. Auf die Verarbeitung des fachlichen Wissens wurde bereits in der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.2) näher eingegangen. Das Auswertungsschema für die Bewertungsaufgaben sowie für die Aufgaben zur Aneignung der physikalischen Konzepte befinden sich allerdings beide in Kapitel 3.3. Hier sei bereits angemerkt, dass die gesamte Datenerhebung mit SchülerInnen der siebten Klasse des Kepler Gymnasiums in Graz im Laufe des Monats März 2015 durchgeführt wurde. Die genaueren Rahmenbedingungen werden ebenfalls im Kapitel 5 gleichzeitig mit der Auswertung erläutert.

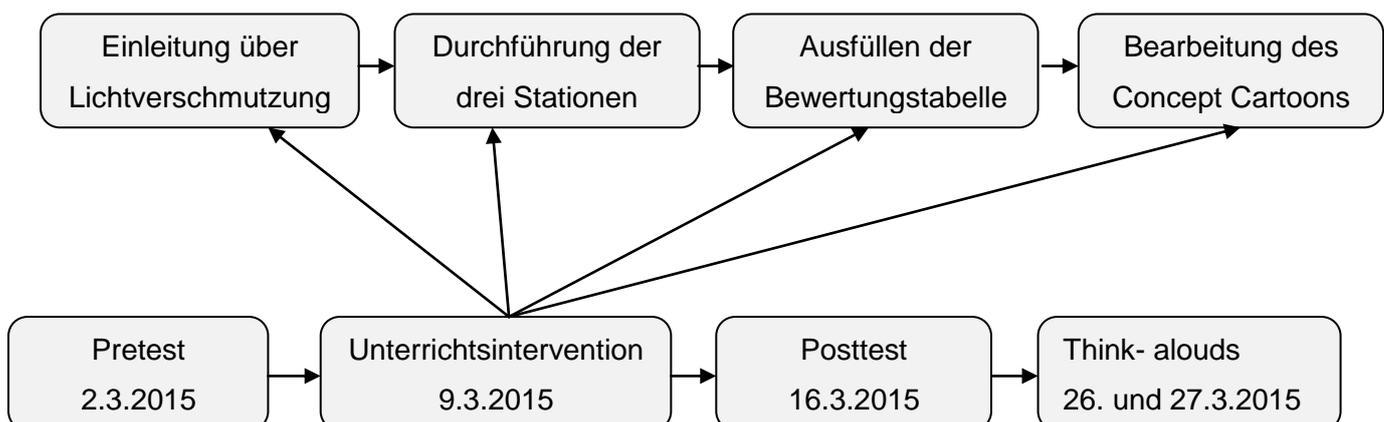


Abbildung 15: Phasen der Datenerhebung und der Unterrichtsintervention

4.1. Datenerhebung durch den Pre- und Posttest

Um einen Vergleich zwischen dem Wissensstand über Lichtverschmutzung und der Bewertungskompetenz zwischen den an der Unterrichtintervention teilnehmenden SchülerInnen und jenen, die nicht daran teilnahmen, herstellen zu können, wurden zwei Fragebögen entwickelt. Der erste Test wurde am 2.3.2015 durchgeführt, der Posttest hingegen fand am 16.3.2015 nach Durchführung der entwickelten Einheit statt. Beide Fragebögen wurden von den anwesenden SchülerInnen der siebten Klasse im Physikunterricht ausgefüllt. Beim ersten Termin nahmen insgesamt 15 von 19 SchülerInnen teil, wobei beim zweiten Fragebogen 17 von 19 SchülerInnen mitmachten. Da der Umfang des Fragebogens jeweils 10 Seiten umfasst, wird der Pretest im Anhang C angefügt. Um jedoch einen Einblick in die Art und Weise der Fragestellungen zu geben, wird jeweils ein Beispiel in den kommenden Abschnitten dargelegt. Auf Grund der Tatsache, dass sich die grundlegenden Fragestellungen des ersten Fragebogens nicht erheblich von jenen des Post-Tests unterscheiden, werden die Differenzen zwischen diesen im Kapitel 4.1.2 einzeln herausgehoben, sodass der Post-Test keinen eigenen Anhang benötigt.

4.1.1. Aufbau des Pretests

Der Pretest bestand im Prinzip aus drei Teilen und wurde aus Items von verschiedenen bestehenden Testinstrumenten zusammengestellt und mit selbst entwickelten Fragen ergänzt. Der erste Teil beschäftigte sich am Anfang mit der Profilerstellung der SchülerInnen und deren Einstellung zu Physik. Sinn und Zweck dieser Profilerstellung war es, mehr über die Motivation der SchülerInnen in Bezug auf Physik herauszufinden und zu sehen, welchen Stellenwert das Fach in der Schule und im Alltag für sie besitzt. Dabei wurden vier Fragestellungen aus dem Internationalen Schülerfragebogen von PISA aus dem Jahr 2006 (vgl. Frey et al. 2009, 113) und 2000 (vgl. Kunter et al. 2003, 106) herangezogen. Zusätzlich sollte der erste Ausschnitt überprüfen, an welche bestimmten Themenbereiche der Optik aus der Sekundarstufe I sich die Lernenden noch erinnern können. Die Antworten aus dieser Frage leisteten einen wichtigen Beitrag zur Einschätzung über die Vorkenntnisse der Lernenden zu optischen Phänomenen und waren letztlich auch für die Konzeption der Intervention relevant. Die folgende Abbildung soll ein Beispiel für das verwendete Item zur Selbsteinschätzung in Physik darstellen.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu
Mir fällt Physik leicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin für Physik begabt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bringe in Physik gute Leistungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 16: Fragestellung zum Selbstkonzept der Befähigung in Physik. Quelle: Internationaler Schülerfragebogen von PISA 2000

Der zweite Bestandteil zielte darauf ab, Schülervorstellungen, die für die Entwicklung des Unterrichtsmaterials als fundamental angesehen werden könnten, zu eruieren. Laut Didaktischer Rekonstruktion, welche im Kapitel 2.3 vorgestellt wurde, sollen Schülervorstellungen als Ausgangspunkt des Schulunterrichts und des erstellten Materials gelten. Aus diesem Grund war die Erhebung der Schülervorstellungen für die Erstellung des Unterrichtsmaterials äußerst bedeutend. Die Fragen setzten sich zum einen Teil aus Testheft-Items, welche im Zuge der didaktischen Forschung zur Erstellung von Unterrichtsmaterialien zum Thema Optik von der Universität Wien erstellt wurden, und zum anderen aus zwei Fragen zur Lichtspektroskopie sowie der Lichtzusammensetzung aus dem Light and Spectroscopy Concept Inventory aus dem Jahr 2006⁸ zusammen. Da es ein Hauptanliegen dieser Forschungen war, typische Schülervorstellungen zu verschiedenen Themen der Optik ausfindig zu machen, repräsentierte das Testheft und die LSCI 2006 eine ideale Methode zur Erhebung von Alltagsvorstellungen, die für die geplante Unterrichtseinheit relevant sind.

Abbildung 17 dient als Beispiel für die verwendete Fragestellung im Vorfragebogen.

⁸ Fragen zu finden auf:

ftp://ftp.aip.org/epaps/astron_educ_review/E-AERSCZ-5-2006020/LSCIspring2006.pdf

3. Kinder sitzen in der Nacht um ein Lagerfeuer.

a. Was trifft zu? Bitte nur eine Antwort ankreuzen.

Licht vom Lagerfeuer:



- ist nur um die Flammen herum.
- ist nur im beleuchteten Bereich zwischen Feuer und Kindern.
- kommt nur bis zu den Kindern.
- kommt nur bis zum Haus.
- kommt weiter als bis zum Haus.

b. Wie erklärst du dieses Verhalten von Licht bei Nacht?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Das Licht hält sich nur dort auf, wo es entsteht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Licht breitet sich so weit geradlinig aus, bis es auf etwas trifft.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Licht breitet sich so weit aus, wie wir es sehen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Ausbreitungskraft von Licht nimmt mit der Entfernung ab.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 17: Beispiel für ein Testitem aus dem Pre- und Posttest

Abbildung 17 demonstriert zwei Charakteristika des Fragebogens. Erstens, die Konzeption der Fragestellung beinhaltet immer das Beantworten von Teil a und die anschließende Begründung in Teil b. Zusätzlich weist dieses Beispiel beide Arten der Fragen auf, nämlich das Ankreuzen einer Multiple Choice Antwort, sowie das Anhängen einer richtigen oder falschen Aussage. Alle anderen Fragen ordneten sich in der gleichen Art und Weise oder als reine Multiple Choice bzw. als Ankreuzen von richtig oder falsch an. Bei der Zusammensetzung des Fragebogens, der für diese Arbeit verwendet wurde, wurde speziell darauf geachtet, dass Thematiken der Optik abgefragt werden, welche für die Lichtverschmutzung hohe Relevanz aufweisen. Daher setzten sich die ersten 10 Fragen des zweiten Teils in der Endversion aus Multiple Choice Fragen zur Reflexion, zur Ausbreitung des Lichts, zur Streuung von Licht, zur Zusammensetzung von Licht und zur Watt- und Lumenangabe auf einer Leuchtmittelverpackung zusammen. Die letzte genannte Kategorie

betrifft Frage 10. Sie zielte darauf ab zu überprüfen, ob die Lernenden der weit verbreiteten Ansicht sind, dass die Wattangabe eines Leuchtmittels Aussagen über das abgestrahlte Licht preisgeben. Zudem gibt die Frage darüber Aufschluss, ob die SchülerInnen mit dem Begriff der Lichtausbeute vertraut sind.

Ein weiteres Merkmal des zweiten Teils betrifft die Fragen 11 und 12, welche sich spezifisch auf die Einschätzung der Bewertungskompetenz der SchülerInnen beziehen. Diese Aufgabenstellungen wurden selbst basierend auf dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz entwickelt. Sie sollen dabei helfen, den Unterschied vor und nach der Einheit in Bezug auf das systematische Treffen von Entscheidungen aufzuweisen und um zu untersuchen, ob die Einheit tatsächlich fördernd für diese Vorgehensweise gewesen ist. Dabei wurden die Fragen so konzipiert, dass es möglich ist, den Schülern und SchülerInnen eine Niveaustufe aus dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz zuzuordnen. Die Antwortmöglichkeiten von Frage 11 repräsentieren die unterschiedlichen Niveaus der Bewertungskompetenz und ihre verschiedenen Verhaltensmuster, wie in Abbildung 18 ersichtlich ist.

11. Du kaufst dir ein neues Tablet. Es gibt eine riesige Auswahl, wie kommst du schließlich zur Entscheidung, welches du nimmst? (Bitte wähle eine Antwort)

- Ich gehe ins Geschäft und suche mir das Tablet aus, das mir am besten gefällt.
- Ich recherchiere im Vorhinein etwas im Internet und nehme dann das billigste Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets im Internet und kaufe dann, wenn möglich, ein leistungsstarkes und günstiges Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Tablets, die geeignet für mich wären.

Abbildung 18: Erstellte Frage zur Einschätzung der Bewertungskompetenz

Hier ist wiederum erkenntlich, wodurch sich die Kompetenzstufen unterscheiden, wobei besonderes Augenmerk auf Anzahl der Kriterien und die gewählte Entscheidungsstrategie, welche auch in Kapitel 2.2 vorgestellt wurden, zu richten ist. Die erste Antwort gibt das spontane, intuitive Entscheidungsmuster wieder, worin sich hingegen die anderen drei Stufen in der Intensität der Recherche, die Anzahl der relevanten Kriterien und die

angewandte Entscheidungsstrategie unterscheiden. Während in den Antwortmöglichkeiten zwei und drei hauptsächlich non- kompensatorisch nach dem K.O System entschieden wird, erlaubt Antwort vier zu einer Auswahl an Tablets zu gelangen, welche die Forderungen an das technische Gerät erfüllen. Dadurch erfolgt die Entscheidungsfindung kompensatorisch.

Frage 12 beabsichtigte zu überprüfen, welche Handlungsoptionen die SchülerInnen in einer Problemsituation anführen und für welche Option sie sich anhand der Vor- und Nachteile entscheiden würden. Die Fragestellung repräsentiert im Prinzip den Handlungs- und Denkprozess der selektionalen Phase aus dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz, in welchem das Bewerten, Reflektieren und Entscheiden über die Handlungsoptionen stattfindet, jedoch mit dem Unterschied, dass die intensive Auseinandersetzung mit Sachinformationen zu der Frage fehlte. Um einen Einblick in die Fragestellung zu schaffen, werden nun die Angaben von Frage 12 in Abbildung 19 dargestellt:

12. Als du spät in der Nacht nach Hause gekommen bist, hast du wieder einmal vergessen die Außenbeleuchtung eures Hauses auszuschalten. Du kannst dir schon denken, dass dein Vater dir wieder eine Moralpredigt halten wird und 100.000 Gründe findet, warum die Außenbeleuchtung keinesfalls unnötig lange euer Grundstück erhellen soll.
- a. Um auf das Gespräch vorbereitet zu sein überlegst du dir alle möglichen Gründe, die dein Vater anführen könnte, warum die Außenbeleuchtung nicht zu lange eingeschaltet bleiben soll. Bitte schreib in vollständigen Sätzen.
- b. Weil du gut vorbereitet bist, hast du dir ein paar Lösungsstrategien für das Außenbeleuchtungsproblem überlegt. Was alles könntest du deinem Vater vorschlagen, damit die Außenbeleuchtung das nächste Mal nicht die ganze Nacht lang euer Grundstück erhellt? Überleg dir für jede vorgeschlagene Maßnahme auch ob es Vor- bzw. Nachteile gibt.
- c. Welche der Maßnahmen ist aus deiner Sicht die beste? Begründe, warum? Bitte schreibe in vollständigen Sätzen.

Abbildung 19: Fragestellung zum Handlungsprozess der selektionalen Phase

Der letzte Teil des Vorfragebogens beschäftigte sich ausschließlich mit der Thematik der Lichtverschmutzung und umfasste nur eine Seite. Da das Phänomen der Lichtverschmutzung in der Öffentlichkeit noch recht unbekannt ist, war es auch ein Anliegen herauszufinden, welche Vorstellungen und Assoziationen die SchülerInnen zu dem Begriff haben bzw. welches Wissen sie darüber schon besitzen, falls sie schon etwas über Lichtverschmutzung gehört haben.

Zusammenfassend kann bemerkt werden, dass der Vorfragenbogen besonders darauf abzielte, das Wissen über Optik und die Schülervorstellungen zu relevanten Bereichen für die Lichtverschmutzung genauer zu eruieren um sie dann in die Materialerstellung einfließen zu lassen. Die geplante Zeitdauer für das Ausfüllen des Fragebogens betrug 20 Minuten, jedoch benötigten die SchülerInnen 40 Minuten, da der Umfang der Fragestellungen unterschätzt wurde. Da eine ganze Schulstunde (50 Minuten) zur Verfügung stand, ergab dies kein Problem für die Fragebogenerhebung und alle SchülerInnen konnten den Fragebogen in Ruhe ausfüllen.

4.1.2. Aufbau des Posttests

Prinzipiell spiegelt der Aufbau des Posttests jenen des Vorfragebogens wider, bis auf ein paar markante Differenzen, die hier hervorgehoben werden. Da die Profilerstellung der Lernenden schon im Pretest durchgeführt wurde, wurde dieser Teil beim Posttest für die SchülerInnen ausgelassen, ebenso wie die expliziten Fragestellungen über die Schülervorstellungen zur Lichtverschmutzung im letzten Teil des Pretests. Anstatt dessen wurden am Anfang des Posttests die Fragen der PISA Studie 2006 speziell auf die Unterrichtseinheit zur Förderung der Bewertungskompetenz umformuliert und mussten nur von jenen SchülerInnen ausgefüllt werden, die an der Einheit teilnahmen. Die folgende Abbildung dient als Beispiel für die umformulierte Fragestellung

<p>In dieser Unterrichtseinheit</p> <ul style="list-style-type: none">• arbeitete ich mit, weil ich es immer so mache.• strengte ich mich an, weil ich gerne alles richtig mache.• beteiligte ich mich, weil es sich so für eine Schülerin/ einen Schüler gehört.• arbeitete ich mit, weil ich die Inhalte später bestimmt gebrauchen kann.• waren mir die Inhalte wichtig, weil sie auch für viele Dinge im Alltag wichtig sind.• arbeitete ich mit, damit ich mich später in diesem Fach auskenne.

Abbildung 20: Umformulierte Fragestellung zur Evaluierung der Lernmotivation

Die Befragung der teilnehmenden SchülerInnen über die Einheit soll Auskunft über deren Lernmotivation in der Einheit geben. Außerdem soll sie ermöglichen einen Vergleich zwischen den Antworten aus dem Vor- und Nachfragebogen herzustellen um zu erörtern, ob die Art und Weise der entwickelten Einheit auch interessant für die Lernenden im allgemeinen Physikunterricht ist. Zusätzlich zu den umformulierten Fragen zur Lernmotivation wurde auch über das gewonnene Wissen zur Lichtverschmutzung und Bewertungskompetenz ermittelt sowie um Feedback zur gesamten Einheit gebeten.

Die nächsten zehn Fragen unterschieden sich in keiner Weise von jenen aus dem Pretest, doch die Unterschiede zwischen den Antworten aus dem Vor- und Nachfragebogen jener SchülerInnen, die an der Einheit teilnahmen, können sehr aufschlussreich über den Einfluss des gegebenen Inputs in den gehaltenen Unterrichtsstunden sein. Aus diesen lässt sich ableiten, ob die Stunde dabei half, manche Schülervorstellungen zu korrigieren, oder sogar neue Schülervorstellungen schuf. Der Vergleich hilft dabei genauer zu analysieren, was vor bzw. nach so einer Unterrichtsstunde unbedingt besprochen werden muss, um Missverständnisse von physikalischen Konzepten zu verhindern.

Besonders interessant für die Beantwortung der Forschungsfrage, ob die Unterrichtsintervention erfolgreich die Bewertungskompetenz der SchülerInnen gefördert hat, sind die gegebenen Antworten auf die Frage 11 des Posttests. Hierbei wurde speziell als Kontext eine Entscheidungssituation für ein neues Leuchtmittel auf einem Balkon vorgegeben, wobei die Lernenden wiederum die selektive Phase eines Entscheidungsprozesses durchlaufen. Da der Posttest von der ganzen Klasse ausgefüllt wurde, geben die Unterschiede zwischen den Antworten der teilnehmenden und nicht-teilnehmenden SchülerInnen Auskunft darüber, inwiefern die Einheit die Bewertungskompetenz förderte. Zudem kann auch ein Vergleich der angewendeten Entscheidungsstrategien im Pre- und im Posttest gemacht werden. Der Grund für die Annahme, dass überhaupt Unterschiede zwischen den Antworten existieren, liegt darin, dass sich die teilnehmenden SchülerInnen in der Unterrichtseinheit mit den Sachinformationen zu verschiedenen Leuchtmitteln näher auseinandergesetzt haben und somit in der präselektionalen Phase die Teilkompetenz Generieren und Reflektieren von Sachinformationen zu einem gewissen Maße erworben haben. Das spezifische Wissen zu Leuchtmitteln, welches für eine systematische Entscheidungsfindung notwendig ist, wurde bei den SchülerInnen, die nicht teilgenommen haben, nicht im Unterricht erarbeitet. Deshalb stellt auch der Posttest ein wichtiges Instrument zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage dar.

4.2. Datenerhebung durch die Unterrichtseinheit

Die Erstellung (siehe Kapitel 3) und Auswertung (siehe Kapitel 5) der Unterrichtsmaterialien stellen den Hauptteil der praktischen Arbeit dar. In diesem Unterkapitel wird näher auf die Beschreibung der Methoden zur Förderung des Metastrukturwissens bzw. des Bewertungsstrukturwissens, welche die Bewertungsaufgaben in den Stationen, die Bewertungstabelle und das Concept Cartoon betreffen, eingegangen. Die genaue Erstellung des Materials und Experimente für die Vermittlung der physikalischen Konzepte anhand der Didaktischen Rekonstruktion wurde bereits in Kapitel 3.2 vertieft, die Auswertungen zu den Bewertungsaufgaben sowie zu den fachlichen Aufgaben befinden sich in Kapitel 5.2.

Damit die folgenden Beispielaufgaben ohne Probleme verstanden werden können, ist es elementar zu wissen, dass sechs SchülerInnen der siebten Klasse des Keplergymnasiums die Aufgabe gestellt wurde, sich in der Rolle als BürgermeisterIn für eine Straßenbeleuchtung zu entscheiden, die der Lichtverschmutzung in dem Dorf entgegenwirkt. Da sich die SchülerInnen in diese Rolle hineinversetzen, sollen sie auch dieser Perspektive argumentieren. Dies soll ihnen dabei helfen die Problemsituation aus einer anderen Perspektive zu betrachten und auch andere gesellschaftsrelevante Gesichtspunkte in ihrer Entscheidungsfindung einzubauen. Die genaue Aufgabenstellung kann im Anhang A gefunden werden. Ursprünglich war es geplant, die Datenerhebung mit zehn SchülerInnen am Nachmittag nach der Schule durchzuführen, doch leider konnten im Endeffekt nur sechs SchülerInnen daran teilnehmen, darunter jeweils drei Mädchen und drei Buben. Der Unterricht zur Förderung der Bewertungskompetenz im Kontext der Lichtverschmutzung umfasste zwei einhalb Unterrichtseinheiten und fand schließlich am 9.3.2015 von 14.30 Uhr bis 16.30 Uhr statt. Die folgende Zeiteinteilung stellt einen groben Plan für die Implementierung des Unterrichtskonzepts dar.

Zeit	Methode	Ziel
20 Minuten	Begrüßung + Einleitung durch Untersuchungsleiterin	Die SchülerInnen sollen einen Einblick darüber gewinnen, was Lichtverschmutzung ist und über die Konsequenzen informiert werden.
10 Minuten	Einteilung in 3 Gruppen und Erklärung des Arbeitsauftrags	Die SchülerInnen sollen genau wissen, was sie zu tun haben. Dafür werden ihnen die Aufgabenschritte erklärt.
60- 90 Minuten	Absolvierung der drei Arbeitsstationen (Je ca. 20 Minuten)	Die Schüler sollen in Gruppen Sachinformationen generieren, verarbeiten und reflektieren.
15 Minuten	Ausfüllen der Bewertungstabelle	Die SchülerInnen sollen abermals über die verschiedenen Kriterien reflektieren und diese aus Sicht des Bürgermeisters gewichten. Dies soll ihnen helfen, zu einer Entscheidung zu kommen.
15 Minuten	Concept Cartoon	Die Schüler sollen mit Hilfe eines Concept Cartoons ihre Stellung als BürgermeisterIn beziehen.

Tabelle 33: Zeitplan für die Unterrichtsintervention

4.2.1. Bewertungsaufgaben der Stationen

Da sich die Forschung dieser Arbeit auf die Förderung der Bewertungskompetenz fokussiert, mussten für die entwickelten Materialien Aufgabenstellungen erstellt werden, die es ermöglichen, das Bewertungsstrukturwissen zu fördern und die Bewertungskompetenz der SchülerInnen zu messen. Um dies zu erreichen, wurden zuerst für den Schluss jeder Station Bewertungsaufgaben verfasst, die die Lernenden dazu animieren sollten, nochmals über den Inhalt der einzelnen Stationen zu reflektieren, was ein wichtiges Prozedere in der präselektionalen Phase darstellt. Hier sei hervorgehoben, dass es nicht Ziel dieses Diplomarbeitsprojekts ist, verschiedene Typen der Bewertungsaufgaben zu erstellen, zu

analysieren und zu evaluieren. Die hier gezeigten Bewertungsaufgaben dienen lediglich dem Zweck, die SchülerInnen dabei zu unterstützen, Strategien zu entwickeln, wie man bei einem Entscheidungsprozess vorgehen kann. Die erstellten und verwendeten Aufgaben basieren jedoch nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen.

Die Aufgaben sind sehr stark an Beispielen von Hostenbach et al (2011, 276) und Ostermeyer et al (2012, 43-50) orientiert. Dabei war es bei diesen Aufgaben noch nicht Sinn und Zweck gleich eine finale Entscheidung zu treffen, sondern je nach Inhalt der Station nochmals darüber nachzudenken und zu bewerten, welche Auswahloption die jeweiligen Anforderungen zur Verminderung der Lichtverschmutzung am besten erfüllen. Der Prozess des Reflektierens und Gewichtens der Sachinformation wird bei der Bewertungstabelle (siehe Kapitel 3.2.2) abverlangt, wobei gleichzeitig auch die Entscheidungsfindung stattfindet. Die folgenden Abbildungen demonstrieren die unterschiedlichen Bewertungsaufgaben zu den einzelnen Stationen, welche die TeilnehmerInnen während der Einheit durcharbeiteten. Alle Bewertungsaufgaben befanden sich am Schluss des jeweiligen Aufgabenblattes einer Station. Es sei kurz angemerkt, dass die Formatierung der Beispielaufgaben hier verändert wurde, damit sie sich dem Format der Arbeit besser anpassen.

Für welche Lampe entscheidest du dich in Hinblick auf die Beleuchtungsstärke, Lichtausbeute und Lichtverschmutzung? Für die Angaben der Lichtausbeute siehe auf dein Aufgabenblatt. Mit welchen Argumenten würdest du deine Entscheidung vor den Einwohnern, die ihre Sicherheit beibehalten wollen, verteidigen?

Für diese Lampe entscheide ich mich: _____

Argument 1: _____

Argument 2: _____

Abbildung 21: Bewertungsaufgabe für die Station Beleuchtungsstärke

In dieser Bewertungsaufgabe sollten sich die Lernenden für eine Beleuchtungsart entscheiden. Als Unterstützung dienten ein vorgegebener Text und die selbst durchgeführte Messung der Beleuchtungsstärke von den verschiedenen Leuchtmitteln. Dabei sollten die SchülerInnen für jenes Leuchtmittel argumentieren, welches ihrer Meinung nach den Zweck zur Verringerung der Lichtverschmutzung und die Bedürfnisse der EinwohnerInnen am

besten gewährleistet. Die Argumente sollten dabei auf Fakten, die im Text zu finden waren, basieren. Gleichzeitig war es ein Anliegen, die SchülerInnen nochmals darauf hinzuweisen, dass sie sich in der Rolle des Bürgermeisters bzw. der Bürgermeisterin befinden und deswegen auch die Folgeaktionen der EinwohnerInnen berücksichtigen sollen. Wie schon in Kapitel 2.2 in der Beschreibung des Göttinger Modells erwähnt, trägt der Perspektivenwechsel in verschiedene betroffene Personen einer Entscheidung eine fundamentalen Teil zur Entscheidungsfindung bei (vgl. Hostenbach et al. 2011, 279). Die erhobenen Daten dieser Aufgabe helfen den TeilnehmerInnen nicht nur bei der Reflexion des Inputs, sondern sie geben auch Auskunft darüber, wie die Inhalte kognitiv bearbeitet wurden, wie diese in die Argumentation der SchülerInnen mit einfließt und wie gut sich die Lernenden in die Rolle hineinversetzen konnten.

Bewerte anhand der Experimente, wie gut die gezeigten Leuchten das Licht lenken können. In den Feldern für Lichtlenkung kannst du die unten angeführten Werteinheiten verwenden. Begründe deine Bewertung.
 3= sehr gut, 2= nicht sehr gut, 1= gar nicht

			
Lichtlenkung			
Begründung			

Abbildung 22: Bewertungsaufgabe für die Station Leuchtentyp

Auch hier wurde von den TeilnehmerInnen verlangt, auf Basis der durchgeführten Experimente darauf zu schließen, welche Lampe das Licht am besten lenkt und somit auch der Lichtverschmutzung am meisten entgegenwirkt. Entscheidend bei solch einer Aufgabe ist es nicht nur nach der Gewichtung der einzelnen Kriterien zu fragen, sondern auch eine konkrete Begründung zu verlangen. Hier sollen sich die Lernenden wiederum überlegen, anhand welcher Kriterien sie zu ihrer Gewichtung gekommen sind und nicht nur rein intuitiv die verschiedenen Leuchtentypen beurteilen. Demnach kommt es zu einer erneuten

Reflexion der durchgearbeiteten Inhalte, was die TeilnehmerInnen beim anschließenden Ausfüllen der Bewertungstabelle (siehe Tabelle 34) unterstützen soll. Des Weiteren verweisen die genannten Begründungsaspekte und die Beurteilung der verschiedenen Leuchtentypen wiederum auf die Verständlichkeit der Inhalte dieser Station, da die Überlegungen der SchülerInnen Rückschlüsse darauf geben können, wo Missverständnisse entstanden sind und was gut funktioniert hat. Dieser Blickpunkt spielt besonders bei der Überarbeitung des Unterrichtsmaterials eine wichtige Rolle.

Liste anhand dieses Textes und der untersuchten Lichtspektren die Vor- und Nachteile der verschiedenen Lampentypen in die folgende Tabelle ein:

	Neutralweiße LED	Energiesparlampe	Warmweiße LED
Vorteile			
Nachteile			

Für welchen Lampentyp würdest du dich als BürgermeisterIn nun entscheiden?
Begründe warum:

Abbildung 23: Bewertungsaufgabe für Station Lampenfarbe

Diese Art der Bewertungsaufgabe repräsentiert eine typische Vorgehensweise in der selektionalen Phase eines Entscheidungsprozesses. Mittels gegebener Sachinformationen werden Vor- und Nachteile genauer eruiert, die bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden müssen. Auch hier wird wieder nach dem geeignetsten Leuchtmittel gefragt und nach einer Begründung verlangt.

Abschließend soll zu den Bewertungsaufgaben im Unterrichtskonzept nochmals unterstrichen werden, dass es Ziel dieser Aufgaben war, den SchülerInnen dazu zu verhelfen Bewertungsstrukturwissen zu erlangen. Dabei spielt das rekursive Reflektieren über gewonnenes Wissen und das anschließende Vergleichen zwischen alternativen Handlungsoptionen eine zentrale Rolle. Außerdem dienen diese Aufgaben als

Erhebungsmethode zur Analyse der Entwicklung der Bewertungskompetenz der TeilnehmerInnen.

4.2.2. Die Bewertungstabelle

Anhand der Bewertungsaufgaben der einzelnen Stationen, die oben vorgestellt wurden, wird sichtbar, dass der Ablauf der einzelnen Stationen prinzipiell ein systematisches Vorgehen in der Entscheidungsfindung vorstrukturiert. Die SchülerInnen bearbeiten Sachinformationen, führen Experimente durch und reflektieren schließlich nochmals über die gewonnenen Erkenntnisse, was den ersten Teil der selektionalen Phase widerspiegelt. Doch da diese Phase am Ende nach einer Entscheidung für eine Handlungsoption verlangt, ist der Entscheidungsprozess noch nicht vollkommen. Um den TeilnehmerInnen dabei zu helfen nochmals über alle Kriterien im Aufgabenblatt zu reflektieren und schließlich zu einer Entscheidung zu kommen, wurde die Bewertungstabelle nach der Idee von Eggert et al übernommen und auf den Kontext der Lichtverschmutzung angepasst (vgl. Eggert et al 2008, 18).

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe		Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe							
Beleuchtungsstärke							
Lebensdauer							
Lichtausbeute							
Investitionskosten							
Jährliche Stromkosten							
Leuchtentyp							
Summe	XXXXXXXXXXXX						

Tabelle 34: Bewertungstabelle zum erneuten Reflektieren über relevante Kriterien

In dieser Tabelle wurde von den Lernenden verlangt, die Kriterien zuerst nach Relevanz aus Sicht des Bürgermeisters bzw. der Bürgermeisterin auf einer Skala von eins bis drei zu gewichten. Drei bedeutete in diesem Fall, dass das Kriterium sehr wichtig ist, zwei ist wichtig und eins drückte aus, dass der Aspekt ziemlich unwichtig ist. Anschließend konnten für je ein Kriterium insgesamt 12 Punkte auf die verschiedenen Leuchtmittel verteilt werden. Dabei wurde darauf geachtet, wie gut ein Kriterium die Anforderungen, die der Bürgermeister bzw. die Bürgermeisterin an die Straßenbeleuchtung stellt, erfüllt. So könnte zum Beispiel die Leuchtdiode 1 in der Kategorie der Lichtfarbe sieben Punkte erreichen, während die Energiesparlampe nur zwei Punkte und die zweite Leuchtdiode drei Punkte erhalten. Der Wert ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung und der erhaltenen Punkte. Zum Schluss werden die Werte aller Kriterien für ein Leuchtmittel summiert. Aus der Summe der Punkte lässt sich schließen, welche Straßenbeleuchtung aus der Perspektive des Bürgermeisters/ der Bürgermeisterin am besten geeignet wäre.

Die Bewertungstabelle ist nicht nur ein besonders nützliches Instrument für die SchülerInnen zur Reflexion der gesamten gewonnenen Sachinformationen, sie verkörpert auch einen hilfreichen Indikator zur Analyse der Bewertungskompetenz. So gibt sie beispielsweise Auskunft darüber, inwiefern es den TeilnehmerInnen gelingt, sich in die BürgermeisterInnen-Rolle hineinzusetzen, wenn die Gewichtung genauer betrachtet wird. Werden, zum Beispiel, die jährlichen Stromkosten der Beleuchtung, die für jeden Bürgermeister/ jede Bürgermeisterin eine hohe Relevanz aufweisen, mit eins gewichtet, kann darauf zurückgeschlossen werden, dass es den SchülerInnen nicht immer leicht fällt aus Sicht ihrer Rolle zu gewichten.

4.2.3. Das Concept Cartoon

Ein Nachteil der Bewertungstabelle ist jedoch, dass die Gedanken der SchülerInnen nicht in Worten verschriftlicht werden und somit keine Auskunft darüber geben, ob die Konzepte der Einheit verstanden wurden bzw. auf welcher Niveaustufe der Bewertungskompetenz sich die TeilnehmerInnen befinden. Zu diesem Zwecke wurde ein Concept Cartoon entwickelt, welches ermöglicht, die SchülerInnen auf ein Bewertungsniveau zu stufen und zu überprüfen, ob auf Basis ihrer Schülervorstellungen die physikalischen Konzepte der Einheit verinnerlicht wurden.

Laut Kabapinar verkörpert das Concept Cartoon eine konstruktivistische Lehrmethode, welche auf den Vorkenntnissen und konzeptuellen Vorstellungen der Lernenden aufbaut (vgl. Kabapinar 2009, 136). In einem Concept Cartoon werden alternative Ideen bezüglich z. B. eines physikalischen Sachinhalts als Aussagen unterschiedlicher Personen in einem Comicausschnitt wiedergegeben. Die Lernenden sollen dann auf die Statements der

Charaktere im Comic reagieren und ihren eigenen Gedankengang zu dem Phänomen hinzufügen. Aus dem Cartoon heraus können auch angeregte Diskussionen entstehen, weshalb sich diese Methode auch hervorragend für den Physikunterricht eignet (vgl. Kabapinar 2009, 137). Nach der Definition von Keogh, Naylor und Wilson sollen Concept Cartoons folgende Eigenschaften besitzen (vgl. Keogh et al 1998, 219):

- beinhalten nur wenig Text
- physikalische Phänomene sollen in Relation zu Alltagssituationen präsentiert werden
- alternative Ideen sollen auf Basis von Schülervorstellungen ausgewählt werden, damit sie für SchülerInnen glaubhaft wirken
- unter den Ideen befindet sich auch der physikalisch richtige Zugang
- die alternativen Ideen sollen als gleichwertig präsentiert werden, damit die SchülerInnen nicht sofort bemerken, welche Aussage die richtige ist.

Um einen besseren Einblick in das erstellte Cartoon zu gewährleisten, wird dieses in Abbildung 24 gezeigt.

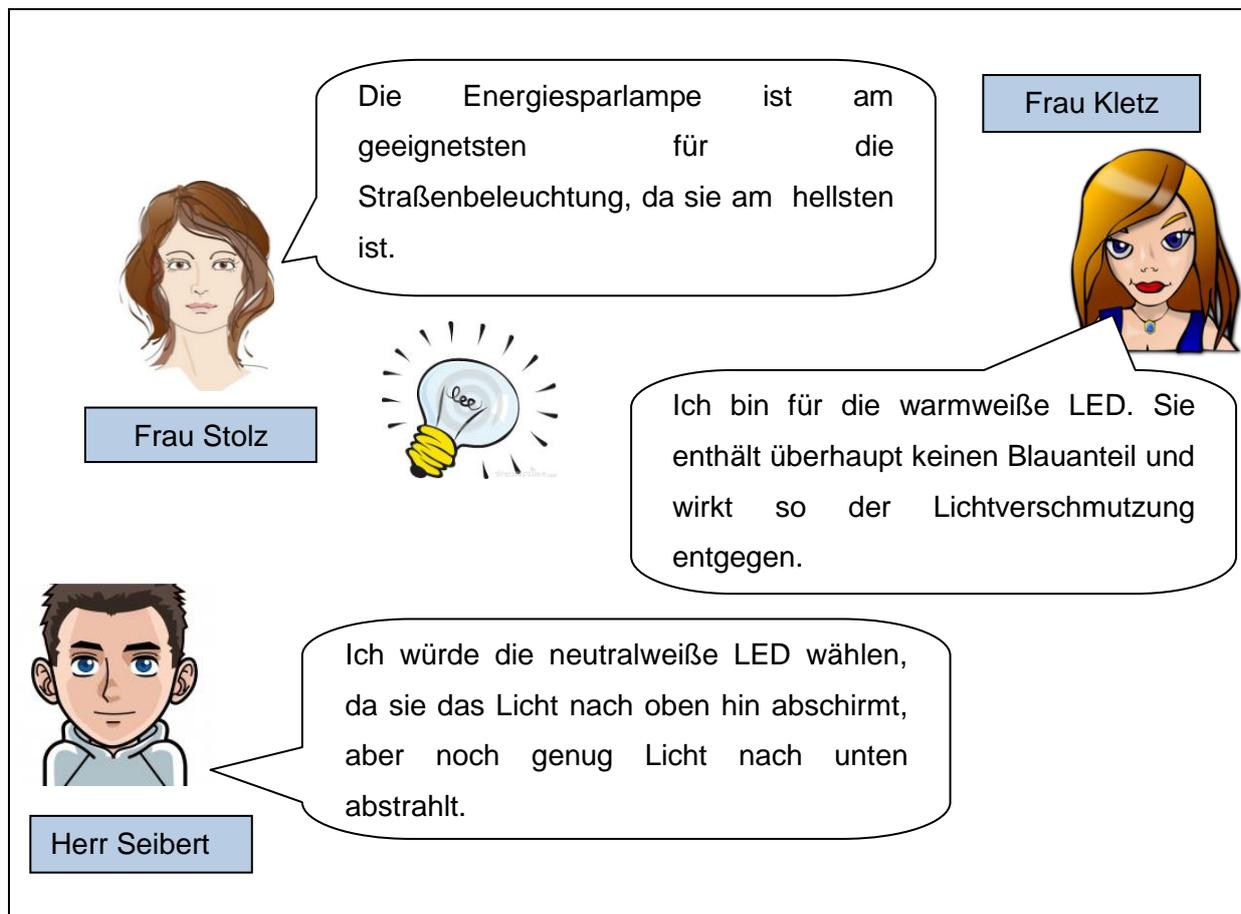


Abbildung 24: Entwickeltes Concept Cartoon für die Unterrichtseinheit

Die Aufgabe der TeilnehmerInnen war es demnach, auf die Aussagen der dargestellten Personen zu reagieren. Wie aus dieser Abbildung erkenntlich ist, sind die Statements kurz und prägnant, basieren auf typischen Schülervorstellungen zum Thema Helligkeit und Zusammensetzung des Lichts (siehe Kapitel 3.2) und werden als gleichwertig behandelt. Auf Grund der Tatsache, dass es bei der Bewertungskompetenz keine zu hundert Prozent richtige oder falsche Entscheidung gibt, erschien allerdings die Formulierung eines richtigen Zugangs nicht sinnvoll. Anstatt dessen wurden in allen drei Aussagen spezifische Schülervorstellungen eingebaut und darauf geachtet, wie die Lernenden auf diese eingehen.

Wie schon zuvor kurz erwähnt, dient das Concept Cartoon auch zur Einschätzung der Bewertungskompetenz und gilt somit als wichtiges Erhebungsmittel zur Beantwortung der Forschungsfrage. Wie in Tabelle 2 ersichtlich ist und in Kapitel 2.2 schon näher erläutert wurde, unterscheiden sich die Niveaus zwischen den berücksichtigten Kriterien sowie der gewählten Entscheidungsstrategie. Da die SchülerInnen ihre Gedanken und Argumente beim Concept Cartoon in schriftliche Form bringen, können diese Charakteristika aus ihren Reaktionen zu den Statements herausgearbeitet werden. Bei der Konzeption des Cartoons wurde zusätzlich darauf geachtet, dass sich die Aussagen der Charaktere speziell auf die Sachinformationen, welche in den Stationen vermittelt wurden, beziehen. Dadurch ist es nicht nur möglich, die Lernenden einem Bewertungsniveau zuzuteilen, sondern auch zu erörtern, inwiefern sie den Input der Stationen in ihre Argumentation mit einfließen lassen. Somit lässt sich zusätzlich analysieren, ob der physikalische Input verinnerlicht wurde.

Zusammenfassend kann bemerkt werden, dass die Aufgaben wesentliche Blickpunkte der präselektionalen aber hauptsächlich der selektionalen Phase eines Entscheidungsprozesses beinhalten. So stehen das Generieren und vor allem das Reflektieren der Sachinformationen im Vordergrund, sowie das Argumentieren aus einer fremden Perspektive. Die Struktur aller gestellten Aufgaben im Unterrichtsdesign ist aufbauend, da sich die Lernenden zuerst mit den einzelnen Stationen auseinandersetzen, danach über die gesamten Handlungsoptionen auf einmal reflektieren und schließlich für eine dieser Optionen argumentieren können. Letzteres stellt demnach die Formulierung der gewählten Handlungsoption dar, was das Endprodukt der selektionalen Phase wiedergibt.

4.3. Datenerhebung durch die Think- Aloud Interviews

Die Think-Aloud Methode für Interviews stammt ursprünglich aus der Forschung zur Kognitiven Psychologie. Sie repräsentiert eine Erhebungsmethode der qualitativen Forschung, welche den Anspruch hat „Lebenswelten von innen heraus aus Sicht der handelnden Menschen zu beschreiben“ (Flick et al. 2008, 14). Im Gegensatz zu den quantitativen Forschungsmethoden, die auf Grund großer Mengen an Daten oft standardisieren, zielen qualitative Interviews darauf ab, offener und näher auf die Perspektiven einzelner Personen zuzugehen und diese in der Forschung zu berücksichtigen (vgl. Flick et al. 2008, 17). In den Think-Alouds werden nun TeilnehmerInnen dazu aufgefordert, ihre Gedanken und Ideen, die ihnen während der Absolvierung einer Aufgabe spontan in den Kopf kommen, sofort auszusprechen (vgl. Charters 2003, 68). Die Idee dahinter ist, die innere Rede, die während eines Denkprozesses in jeder Person stattfindet, an die Oberfläche zu bringen, um daraus wertvolle Daten für die Forschungsauswertung zu erhalten (vgl. Young 2005, 20).

Diese Methode weist mehrere Vorteile auf, wie zum Beispiel, dass die teilnehmenden Personen an einer konkreten Aufgabe arbeiten und dazu ihre Gedanken in Worte fassen, wodurch die Daten verwertbarer werden, als bei einer hypothetischen Aufgabenstellung. Zudem erlauben Think- Alouds den Interviewten nicht, sich eine Antwort zu überlegen, die womöglich richtiger ist oder von den Experten bevorzugt wird, da ihnen nicht die Zeit bleibt diese gedanklich zu sortieren und zu formulieren. Dadurch wird der Einfluss des Interviewers auf die Antworten der TeilnehmerInnen limitiert (vgl. Young 2005, 22).

Nachteile solch eines Interviews sind beispielsweise Probleme bei der Verbalisierung der Gedanken und Schwierigkeiten beim gleichzeitigen Prozess von Denken und Reden, da kognitive Überlegungen meistens in Ruhe durchgeführt werden. Durch diese Problematiken kann es oft zu längeren Reaktionsverzögerungen kommen, was den spontanen Gedankenstrom der Think- Alouds unterbricht (vgl. Young 2005, 23). Um dies zu vermeiden, müssen die gestellten Aufgaben sorgfältig gewählt werden, sodass sie kognitiv nicht zu über- bzw. unterfordernd für die TeilnehmerInnen sind. Laut Ericcson and Simon (1980, zitiert nach Charter 2003, 72) interferieren kognitiv überstrapazierte Aufgaben mit der Verbalisierung der Gedanken, während kognitiv nicht sehr anspruchsvolle Übungen zu einer automatisierten Antwort führen können.

Der Leitidee für die Think- Alouds in Bezug auf diese Arbeit zielte darauf ab herauszufinden, mit Hilfe welches Gedankenweges SchülerInnen generell zu einer Entscheidung kommen, was sie dabei berücksichtigen bzw. denken und welchen Einfluss die intensive Auseinandersetzung mit Sachinformationen auf diesen Prozess hat. Zu diesem Zweck

wurden Aufgabenstellungen herangezogen, die den Interviewten schon aus den Fragebögen bzw. aus der Unterrichtseinheit bekannt waren, wie beispielsweise ein Statement aus dem Concept Cartoon. Die Verwendung von bereits bekannten Aufgaben bezweckt, dass die TeilnehmerInnen nicht überfordert mit dem Interview sind und so in der Lage sind ihre Gedanken spontan zu formulieren. Zusätzlich werden spezifische, offene Fragen zur Bewertungskompetenz sowie zur Einheit gestellt, unter anderem auch, wie leicht es ihnen fällt, sich in eine andere Rolle hineinzusetzen und was sie aus der Einheit außer physikalischen Konzepten noch lernen konnten. Die Interpretation der Interviews soll demnach weitere Aufschlüsse darüber zur Verfügung stellen, ob sich die Unterrichtseinheit fördernd auf die Bewertungskompetenz auswirkte, oder nicht. Der gesamte Think-Aloud Ablauf wird in Anhang D zur Verfügung gestellt.

5. Auswertung der Daten

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die Daten der Fragebögen, der Unterrichtseinheit, sowie der Think- Aloud Interviews vorgestellt. Die Reihenfolge erfolgt chronologisch nach den Durchführungsdaten. Als Erstes werden demnach die Ergebnisse des Pretests (Kapitel 5.1) ausgearbeitet, darauf folgen dann die Untersuchungsergebnisse des Unterrichtskonzepts (Kapitel 5.2), die Resultate des Posttests (Kapitel 5.3) und die Interpretation des Interviews in Kapitel 5.4. Gleich nach der Auswertung werden wichtige Erkenntnisse für die Untersuchung und die Beantwortung der Forschungsfragen interpretiert und dokumentiert. In den kommenden Unterkapiteln baut sich die Struktur demnach immer so auf, dass zunächst die Auswertung der Daten präsentiert wird und anschließend auch die markantesten Interpretationen, welche relevant für die Diskussion der Ergebnisse und Implementation im realen schulischen Kontext sind, analysiert werden.

5.1. Auswertung des Pretests

Wie in Kapitel 4.1 schon kurz angemerkt, fand der Pretest am Montag dem 2.3.2015 um 13.25 Uhr im Keplergymnasium statt. Der Fragebogen wurde dabei in der Physikstunde von den anwesenden SchülerInnen der 7. Klasse ausgefüllt und dauerte ungefähr 40 Minuten. Die Zahl der TeilnehmerInnen beträgt in diesem Fall 15 Lernende aus dem naturwissenschaftlichen Zweig, wovon vier weiblich und elf männlich waren. Alle SchülerInnen befanden sich im Alter zwischen 16 und 18 Jahren. Über 50% der befragten Personen erhielten zuletzt die Note „Sehr Gut“ im Unterrichtsfach Physik, wobei die restlichen TeilnehmerInnen ebenfalls ein „Gut“ erlangten. Auf Grund der Tatsache, dass fast

alle der teilnehmenden Personen Deutsch als Muttersprache haben, wird bei der Interpretation der Ergebnisse nicht auf mögliche sprachliche Hindernisse in Bezug auf den Fragebogen geachtet.

5.1.1. Lernmotivation, Bedeutung der Lehrinhalte und Selbsteinschätzung im Physikunterricht

In diesem Teil der Auswertung werden die Ergebnisse zu den verwendeten PISA- Items demonstriert, die Aussagen über die Lernmotivation und Selbsteinschätzung der Lernenden, sowie über die Bedeutung des Lehrstoffes im Physikunterricht, treffen sollen. Dafür wurden vier Tabellen erstellt, die wiedergeben, was die Ursachen für die Lernmotivation im Physikunterricht verantwortlich sind und was die SchülerInnen ihrer Meinung nach aus dem Unterricht mitnehmen können. Hierbei ist es wichtig zu wissen, dass die SchülerInnen in Hinblick auf die ersten drei Tabellen mehrere Antwortmöglichkeiten ankreuzen konnten. Um einen Vergleich zwischen der Lernmotivation und der Bedeutung des Inhaltes im allgemeinen Physikunterricht und der abgehaltenen Unterrichtseinheit herstellen zu können, wird bei genannten Aspekten zwischen TeilnehmerInnen und nicht- TeilnehmerInnen unterschieden. Die Bezeichnungen werden mit TL für die sechs teilnehmenden Lernenden und nTL für die neun nicht teilnehmenden Lernenden an der Intervention in der Tabelle abgekürzt.

	Im Physikunterricht.....	Nennungen nTL	Nennungen TL
a.	...arbeite ich mit, weil ich es immer so mache	46,7%	20%
b.	...strenge ich mich an, weil ich gerne alles richtig mache.	13,3%	6,7%
c.	...beteilige ich mich, weil es sich so für eine Schülerin/ einen Schüler gehört	26,7%	13,3%
d.	...arbeite ich mit, weil ich die Inhalte später bestimmt gebrauchen kann.	20%	0 %
e.	...sind mir die Inhalte wichtig, weil sie auch für viele Dinge im Alltag wichtig sind.	13,3%	0 %
f.	...arbeite ich mit, damit ich mich später in diesem Fach auskenne	20%	13,3%

Tabelle 35: Ergebnisse von Item 1 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen im Physikunterricht

Aus Tabelle 35 ist sehr gut zu erkennen, dass die Lernmotivation der meisten SchülerInnen extrinsische Gründe hat, wie zum Beispiel die Aufgabe eines/r Lernenden im Unterricht mitzuarbeiten, was auch den Erwartungen des Lehrkörpers und der Institution Schule entspricht. Die Assoziation, dass ein guter Schüler bzw. eine gute Schülerin im Unterricht engagiert ist, überwiegt hier als Motivation zur Mitarbeit, was aus den Ergebnissen zu Antwort a und c ersichtlich ist. Im Gegensatz dazu wurden die Antwortmöglichkeiten, die einen intrinsischen Anreiz zur Interaktion im Physikunterricht mit sich bringen, wie beispielsweise den eigennützigen Gebrauch des Lehrinhaltes im alltäglichen Leben, von nicht einmal fünfzig Prozent der Befragten angekreuzt. Ein weiteres markantes Merkmal der Resultate aus Tabelle 35 ist, dass im Gegensatz zu den nicht teilnehmenden Lernenden keiner aus der Interventionsgruppe die Antwortmöglichkeiten d und e als wesentlichen Aspekt für die Lernmotivation nannten. Auch hier ist sichtbar, dass für sie extrinsische Faktoren eine relevantere Rolle spielen.

	Im Unterricht in Physik...	Nennungen nTL	Nennungen TL
a.	...finde ich die Inhalte richtig spannend.	13,3%	0%
b.	...bin ich mit Freude dabei.	13,3%	6,7%
c.	...macht mir der Unterricht Spaß.	40%	6,7%
d.	...möchte ich gern mehr über dieses Thema erfahren.	6,7%	13,3%

Tabelle 36: Ergebnisse von Item 2 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen im Physikunterricht aus Interesse

Während in der Fragestellung aus Tabelle 35 zumeist mehrere Antworten angekreuzt wurden, war es besonders bei dieser Frage interessant, dass zwei SchülerInnen aus der Interventionsgruppe hier keine der Möglichkeiten auswählten. Diese Tatsache weist darauf hin, dass Physik für sie ein Pflichtfach ist, welches sie im Zuge ihrer Schulkarriere einfach absolvieren müssen und somit für sie keine der Antwortmöglichkeiten als adäquat erschienen. Als Gegenpart dazu gab jedoch fast die Hälfte der Lernenden an, dass sie Spaß am Unterricht haben. Ein weiteres Merkmal dieser Resultate ist ebenfalls, dass nur wenige SchülerInnen Motivation zeigen, sich auch außerhalb des schulischen Kontexts mit Inhalten der Physik zu beschäftigen, was auch mit den Ergebnissen aus Tabelle 37 zusammenhängen könnte.

	Im Unterricht in Physik...	Nennungen nTL	Nennungen TL
a.	...wird deutlich, dass der Lernstoff auch im Alltag wichtig ist.	20%	13,3%
b.	...wird erkennbar, wofür die Experimente nützlich sind.	26,7%	6,7%
c.	...lernt man, wo die Inhalte praktisch angewendet werden.	33,3%	13,3%
d.	...werden wir darüber informiert, dass dieser Stoff für andere Themen wichtig ist.	33,3%	20%

Tabelle 37: Ergebnisse von Item 3 zur Bedeutung der Lehrinhalte in Physik

Hier ist erkenntlich, dass der Alltagsbezug des Physikunterrichts für nur ca. 20% der nicht Teilnehmenden und 13,3% der Teilnehmenden relevant ist. Im Zusammenhang mit Tabelle 36 kann deswegen darauf geschlossen werden, dass den SchülerInnen ohne die Relevanz im Alltag das Interesse an physikalischen Inhalten fehlt und sie sich dadurch auch nicht außerhalb des Schulunterrichts damit beschäftigen. Auch hier war es wiederum auffällig, dass für zwei der Lernenden keine der Antwortmöglichkeiten als passend erschien, wobei dies nicht dieselben SchülerInnen wie im vorherigen Abschnitt betrifft. Außerdem zeigt die hohe Anzahl der Nennungen in Antwort d, dass für die meisten SchülerInnen die Inhalte des Physikunterrichts Bedeutung für andere Themen haben, wobei die Themen in der Fragestellung nicht klar definiert werden. Allerdings kann anhand der Tatsache, dass anscheinend der Alltagsbezug im Unterricht oftmals fehlt, interpretiert werden, dass damit Thematiken in Bezug auf das Fach Physik gemeint sind. Unter dieser Annahme erweisen die Lehrinhalte abermals eine schulische Bedeutung für die Lernenden, jedoch keine persönliche auf den Alltag bezogene.

Für die Auswertung zum Selbstkonzept zur Befähigung im Physikunterricht (vergleiche Abbildung 16) wurde die Skalierung der Erhebungsinstrumente von PISA 2000 verwendet. Dafür wurde der Durchschnitt der folgenden Punkteverteilung berechnet:

- trifft zu= 1 Punkt
- trifft eher zu= 2 Punkte
- trifft eher nicht zu= 3 Punkte
- trifft gar nicht zu= 4 Punkte

Der Maximalwert lag dabei bei 3,7 und betrifft die Selbsteinschätzung eines/r TeilnehmerIn aus der Interventionsgruppe. Der minimalste Wert beträgt 1,3 und wurde von insgesamt drei

der 15 SchülerInnen erreicht, die alle aus der beforschten Gruppe stammen, die nicht an der Unterrichtseinheit teilnahmen. Der durchschnittliche Wert über die ganze Klasse gesehen, beträgt 2,6, jener aus der Interventionsgruppe 2,1 und aus der beforschten nicht teilnehmenden Gruppe 1,9. Die dazugehörigen Standardabweichungen für diese Werte betragen 0,6 für die Selbsteinschätzung der gesamten Klasse, 0,8 für die teilnehmenden SchülerInnen und 0,5 für die nicht TeilnehmerInnen. Aus den Ergebnissen der Selbsteinschätzung der SchülerInnen im Fach Physik kann geschlossen werden, dass obwohl alle der Befragten in Physik sehr gute bis gute Leistungen erbringen, sie sich eher als durchschnittlich bzw. nicht als begabt einschätzen. Diese Erkenntnisse treffen auf beide untersuchten Gruppen zu. Dies könnte damit zusammenhängen, dass Physik allgemein oftmals als komplexes und schwer zu verstehendes Fach angesehen wird, was Lernende zu meist einschüchtert. Ein Indiz für diese Schlussfolgerung ist auch der Vergleich zu den Ergebnissen der PISA Studie 2000 zum Selbstkonzept der Befähigung in Physik, da die Resultate aus diesem Pretest nicht sonderlich davon abweichen. Auch in der PISA Untersuchung beträgt der durchschnittliche Wert von 823 Befragten im Haupttest 2,7 und die Standardabweichung 0,8, was eine hohe Ähnlichkeit zu den Forschungsergebnissen dieses Vorfragebogens aufzeigen (vgl. Kunter et al. 2003).

Allgemein kann aus den erhobenen Daten zur Profilerstellung erörtert werden, dass die Motivation der SchülerInnen im Physikunterricht eher auf schulischen Bedingungen und Anforderungen basiert. Dies schließt allerdings nicht aus, dass sie Spaß am Unterricht haben und auch die Relevanz von Physik für andere Fachgebiete erkennen. Weiters ist ersichtlich, dass für viele der Nutzen von physikalischem Wissen im Alltag fehlt, weshalb für sie der Antrieb fehlt sich auch außerschulisch damit zu beschäftigen.

5.1.2. Schülervorstellungen zum Thema Optik

Wie auch schon in Kapitel 4.1.1 erläutert, zielte dieser Teil des Fragebogens darauf ab, den Wissensstand der SchülerInnen über Optik sowie deren Vorstellungen zu diesem Thema zu eruieren. Aus der Frage, ob sie schon einmal Optikunterricht hatten und woran sie sich erinnern können, ging hervor, dass sie vor allem im Bereich der geometrischen Optik grundsätzliche Einblicke besitzen, wie beispielsweise über Lichtbrechung und Linsen. 26,7% der 15 Befragten erwähnten allerdings auch, dass sie keine Erinnerungen an jeglichen Optikunterricht hätten.

Die folgenden Diagramme demonstrieren die Resultate des Fragebogens über Optik jener SchülerInnen, wobei immer zwischen den teilnehmenden und nicht- teilnehmenden Lernenden an der Einheit unterschieden wird. Diese Differenzierung soll den Vergleich mit

den Ergebnissen im Posttest vereinfachen. Wie auch schon in Kapitel 3.1.1 beschrieben wurde, besteht jede Frage aus zwei Teilen, nämlich der konkreten Antwort auf eine Frage und der Begründung dazu. Für die Auswertung wurde zunächst darauf geachtet, inwiefern der erste Teil der Frage beantwortet wurde. War die Antwort hier richtig oder teilweise richtig, wurde auch die Begründung noch genauer analysiert. Unter teilweise richtig wird hier das Ankreuzen von Common Sense Antworten ohne das Ankreuzen des physikalisch angemessensten Konzepts gemeint. Darunter versteht man, dass die Antwort zwar nicht falsch ist, aber physikalisch auch nicht ganz richtig.

In Frage 1a zur Reflexion des Lichtes an einem Spiegel wäre zum Beispiel Möglichkeit 4, dass ein heller Fleck am Spiegel gesehen wird, so eine Antwort. Diese Antwortmöglichkeit stimmt zwar, doch das virtuelle Bild vom Lichtfleck entsteht eigentlich hinter der Spiegeloberfläche und nicht auf dieser selbst. Im nächsten Schritt wurden die Begründungen näher in Betracht gezogen. Nur wenn die Begründungen mit der richtigen Antwort aus Teil a komplett übereinstimmen, wurde die Fragestellung als vollkommen verstanden gewertet. Teilweise verstanden bezieht sich hier auf das Auslassen von weiteren richtigen Antworten, wie zum Beispiel in Frage 10, in der auch der Quotient aus den Lumen und den Watt ein Indikator für die Lichtausbeute eines Leuchtmittels ist. Kreuzten die Lernenden hier hingegen die typischen Schülervorstellungen an, wurde das Konzept als nicht verstanden angesehen, wie beispielsweise, dass Licht auf dem Spiegel oder der Decke liegen bleibt. Wurde schon die erste Frage nicht korrekt angekreuzt, wurde die gesamte Fragestellung als nicht verstanden gewertet. Hier wird das Auswertungsschema noch einmal überblicksmäßig erläutert:

- Richtige Antwort (Teilitem a) + richtige Begründung (Teilitem b) = vollkommen verstanden
- Teilweise richtige Antwort (Teilitem a) + richtige Begründung (Teilitem b) = teilweise verstanden
- (teilweise) richtige Antwort (Teilitem a) + teilweise Begründung (Teilitem b) = teilweise verstanden
- Falsche Antwort (Teilitem a) = nicht verstanden
- Richtige Antwort (Teilitem a) + falsche Begründung (Teilitem b) = nicht verstanden

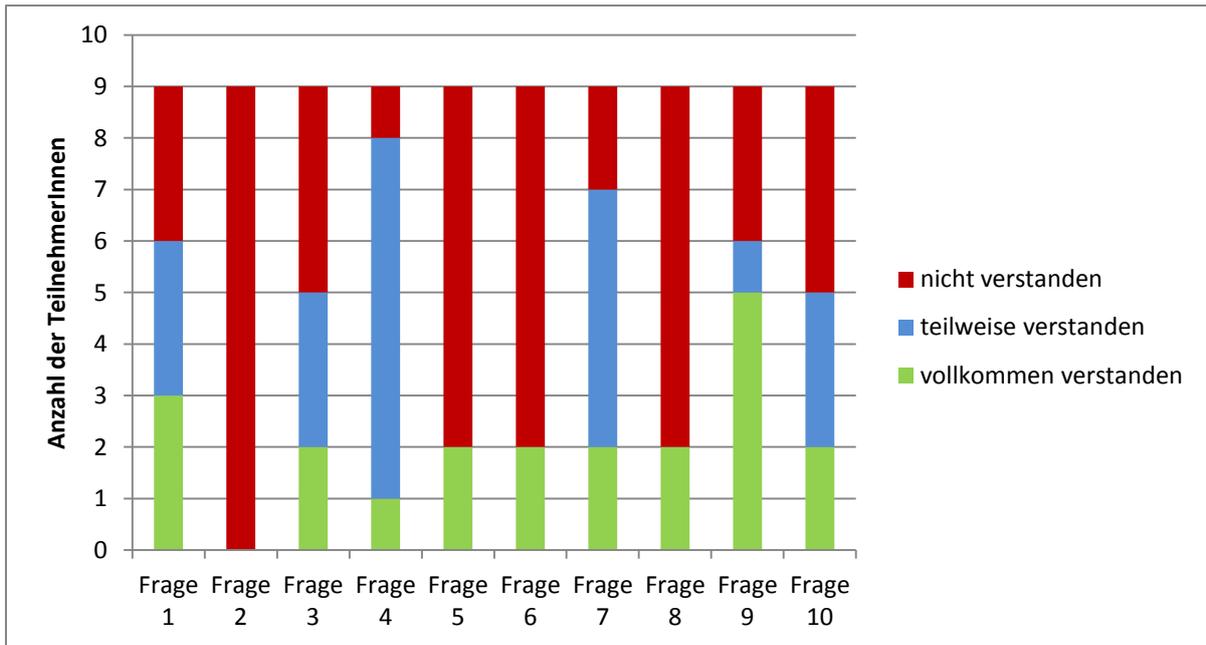


Abbildung 25: Ergebnisse aus dem Pretest der nicht- teilnehmenden Lernenden

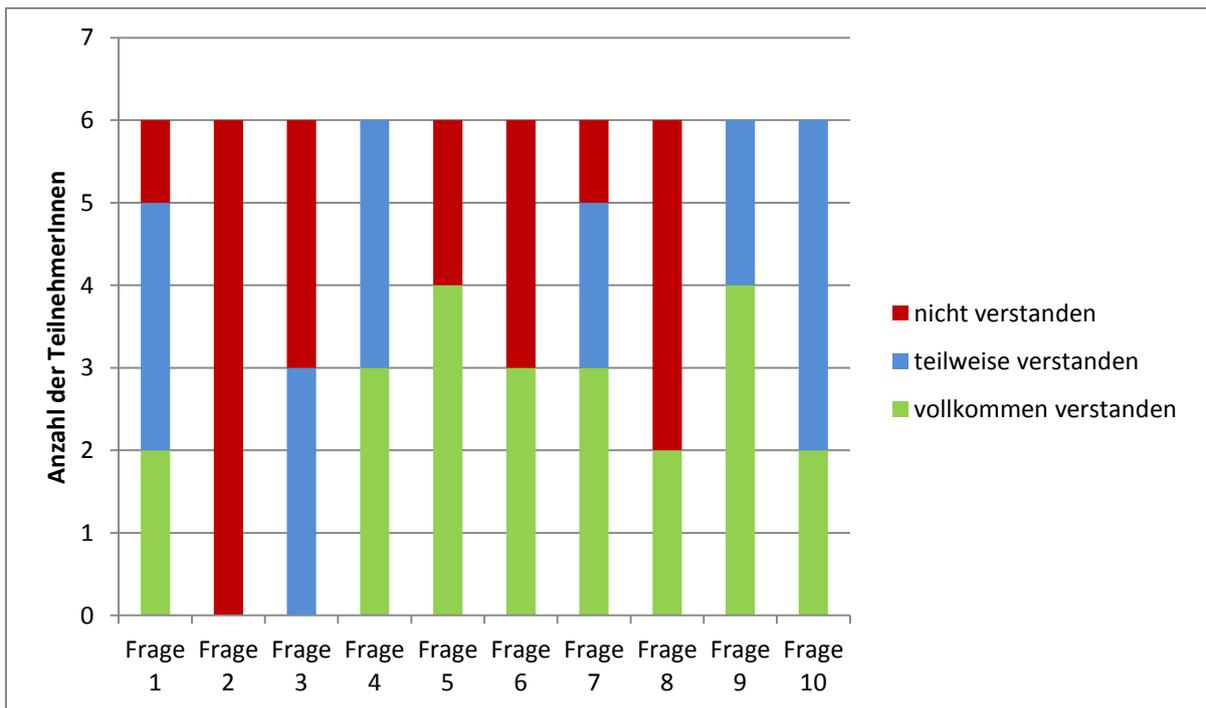


Abbildung 26: Ergebnisse aus dem Pretest der teilnehmenden Lernenden

Aus den Resultaten des Pretests geht hervor, dass die SchülerInnen ein grundsätzliches Verständnis der Optik haben, diese jedoch sehr von Alltagsvorstellungen beeinflusst werden bzw. physikalisch nicht ganz korrekte Konzepte vorherrschen. Besonders vorherrschend ist die Idee, dass Licht an Oberflächen liegen bleibt, wie am Beispiel der Stoffdecke in Frage 2

und an der Wand bei Frage 6 erkenntlich ist. Grundsätzlich ist aus den Diagrammen erkennbar, dass beide Gruppen ähnliche Vorkenntnisse über optische Phänomene besitzen. Allerdings schnitt die Inventionsgruppe bei Frage 4 zur Ausbreitung des Lichts bei Tag und Nacht sowie bei Frage 9 und 10, welche sich mit dem Spektrum des emittierten Lichts einer Natriumdampflampe und den Lumen- bzw. Wattangaben beschäftigten, positiver ab, als ihre MitschülerInnen. Da die Vorkenntnisse zum Zeitpunkt des Pretests noch einigermaßen gleichwertig sind, wird es interessant zu sehen, wie sich die Wissensstände der TeilnehmerInnen am Unterrichtskonzept im Gegensatz zu ihren Kollegen verändern.

Anhand dieser Ergebnisse konnten folgende relevante Schülervorstellungen bzw. Wissensbestände herausgefunden werden, die im Unterrichtsdesign berücksichtigt wurden:

1. Die SchülerInnen wissen, dass Licht an Spiegeloberflächen reflektiert wird, wenden zumeist jedoch nicht das Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) an.
2. Es herrscht die Vorstellung vor, dass Licht eine Ausbreitungskraft besitzt und diese mit der Distanz abnimmt.
3. Die meisten SchülerInnen wissen zwar, dass man ohne Nebel Laserstrahlen nicht sieht, wissen jedoch nicht, dass es an der Streuung des Lichtes liegt.
4. Photonen mit langer Wellenlänge sind energiereicher als jene mit kurzer.
5. Die Lichtausbeute ist den SchülerInnen kein Begriff.
6. Bei manchen überwiegt auch die Idee, dass die Wattangabe ein Indikator für das abgestrahlte Licht eines Leuchtmittels ist.

5.1.3. Ergebnisse der Fragen zur Bewertungskompetenz

Die nächste Abbildung demonstriert die Ergebnisse bezüglich der Frage, wie SchülerInnen beim Kauf eines neuen Tablets vorgehen. Die vier Antwortmöglichkeiten repräsentieren dabei die alternativen Niveaus. Auch hier wurde zwischen den teilnehmenden und nichtteilnehmenden Lernenden an der entwickelten Einheit unterschieden, damit der spätere Vergleich leichter fällt.

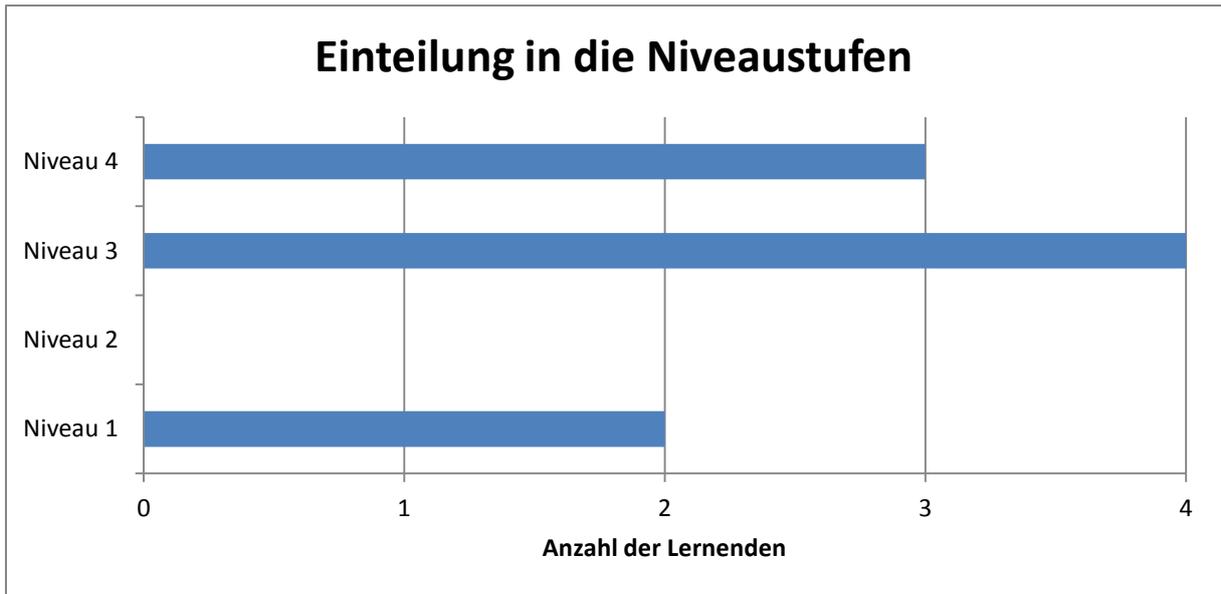


Abbildung 27: Resultate der nicht- teilnehmenden Lernenden zur Vorgehensweise beim Tabletkauf

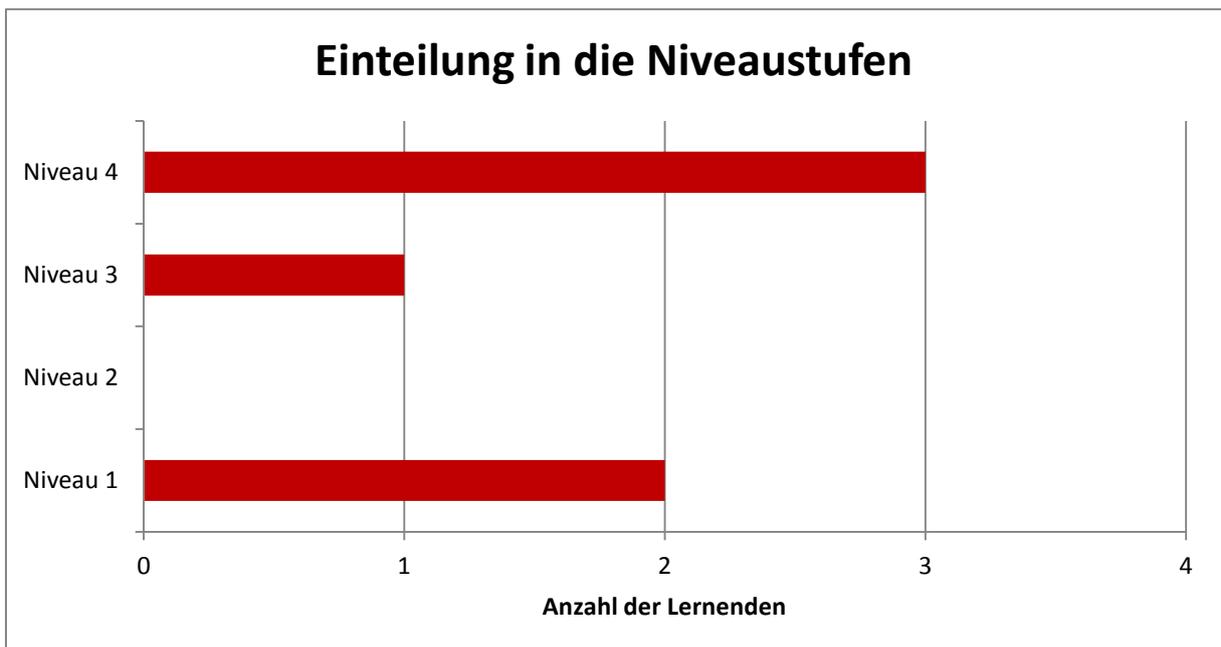


Abbildung 28: Resultate der teilnehmenden Lernenden zur Vorgehensweise beim Tabletkauf

Es sei hier angemerkt, dass diese Ergebnisse auf der Selbsteinschätzung der SchülerInnen basieren und rein hypothetisch beantwortet wurden. Allein die Vorgabe der verschiedenen Antwortmöglichkeiten, die jeweils einem Niveau von Bewertungskompetenz zugeordnet werden können, kann Einfluss auf die Wahl nehmen. Interessant an den Resultaten war, dass keiner der Befragten die zweite Antwortmöglichkeit wählte, was darauf hinweist, dass der günstigste Preis wahrscheinlich nicht das ausschlaggebendste Kriterium beim Kauf eines

Tablets war. Es ist auch interessant, dass in Summe gesehen sich die meisten für eine Antwortalternative entschieden, die Niveaustufe 3 entspricht. Da sich Niveau 3 und 4 nur noch von der Entscheidungsstrategie her unterscheiden, kann darauf geschlossen werden, dass SchülerInnen beim Kauf solch einer Ware nach dem K.O System vorgehen und somit die non- kompensatorische Strategie anwenden. Dabei fokussieren sie sich auf für sie relevante Kriterien und wählen schlussendlich das Objekt, das diese am besten erfüllt.

Bei der zwölften Frage wurde überprüft, auf welcher Bewertungsstufe sich die SchülerInnen ohne Vorbereitung aus der (prä-)selektionalen Phase befinden. Bei der Frage nach den Gründen, warum Außenbeleuchtungen in der Nacht nicht zu lange eingeschalten sein sollen, wurden die folgenden Aspekte in den Antworten genannt. Die Häufigkeit gibt dabei an, wie viel Prozent der gesamten SchülerInnen diesen Blickpunkt einbezogen haben:

	Berücksichtigte Aspekte:	Nennungen nTL	Nennungen TL
1.	Hoher Strom- bzw. Energieverbrauch	88,9%	66,7%
2.	Hohe Stromkosten	77,8%	50%
3.	Mücken bzw. Gelsen tauchen auf	11,1%	16,6%
4.	Die Lampe wird schneller kaputt	11,1%	33,3%
5.	Nachbarn fühlen sich durch helle Außenbeleuchtung gestört	11,1%	16,6%
6.	Lichtverschmutzung	11,1%	0%
7.	Tiere fühlen sich vom Licht gestört	11,1%	0%

Tabelle 38: Häufigkeitsverteilung der berücksichtigten Aspekte

Wie aus Tabelle 38 ersichtlich ist, wird von 88,9% der nicht teilnehmenden und von 66,7% der teilnehmenden Befragten vor allem der hohe Energie- bzw. Stromverbrauch, der in direkter Verbindung mit den Kosten für die Außenbeleuchtung steht, angegeben. Zusätzlich werden auch ökologische Blickpunkte, wie die Anziehung von Insekten und die Störung der Lebenswelt von anderen Tieren und Menschen berücksichtigt, allerdings von nur 11,1% der gesamten Klasse und aus der Gruppe der Nicht-TeilnehmerInnen. Es ist als durchaus positives Ergebnis zu sehen, dass innerhalb einer Schulklasse auf Kriterien geachtet wird, die sowohl soziale, ökologische als auch ökonomische Blickpunkte einbeziehen.

Die unten angeführten Abbildungen illustrieren, wie viele SchülerInnen eine, zwei oder drei Handlungsoptionen für das Problem mit der Außenbeleuchtung nennen konnten. Dabei wird auch berücksichtigt, ob sie in der Lage waren relevante und physikalisch richtige Vor- und Nachteile für ihre Handlungsoption zu finden. Unter teilnehmende Lernende fallen nochmals jene SchülerInnen, die bei der Unterrichtseinheit mitwirken.

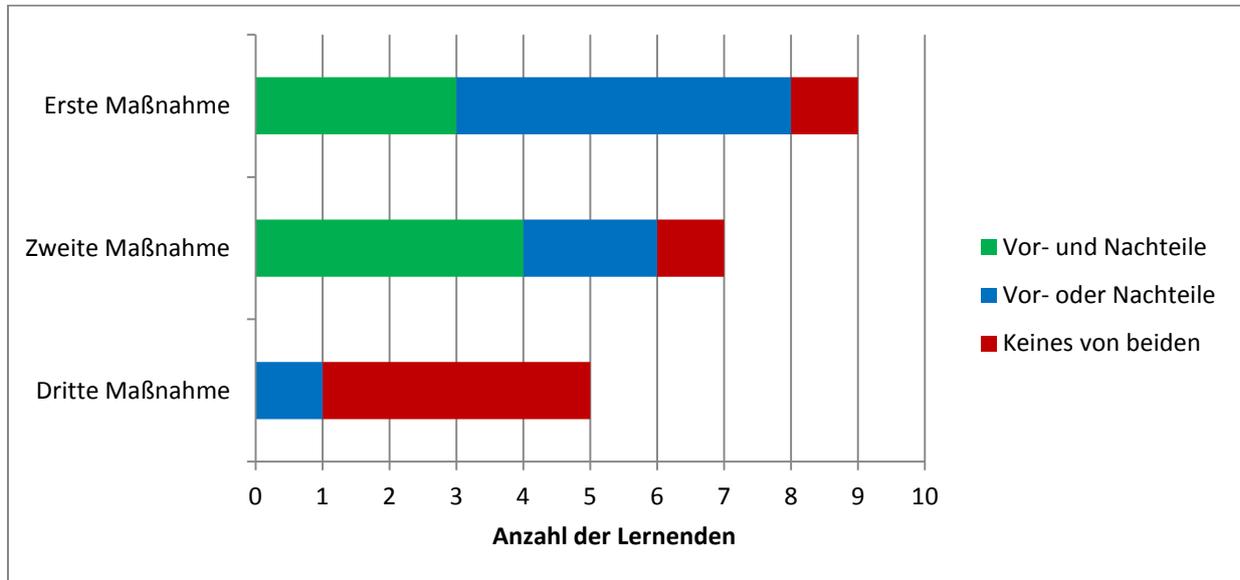


Abbildung 29:Häufigkeit der genannten Maßnahmen und der erwähnten Vor- und Nachteile der nicht- teilnehmenden Lernenden

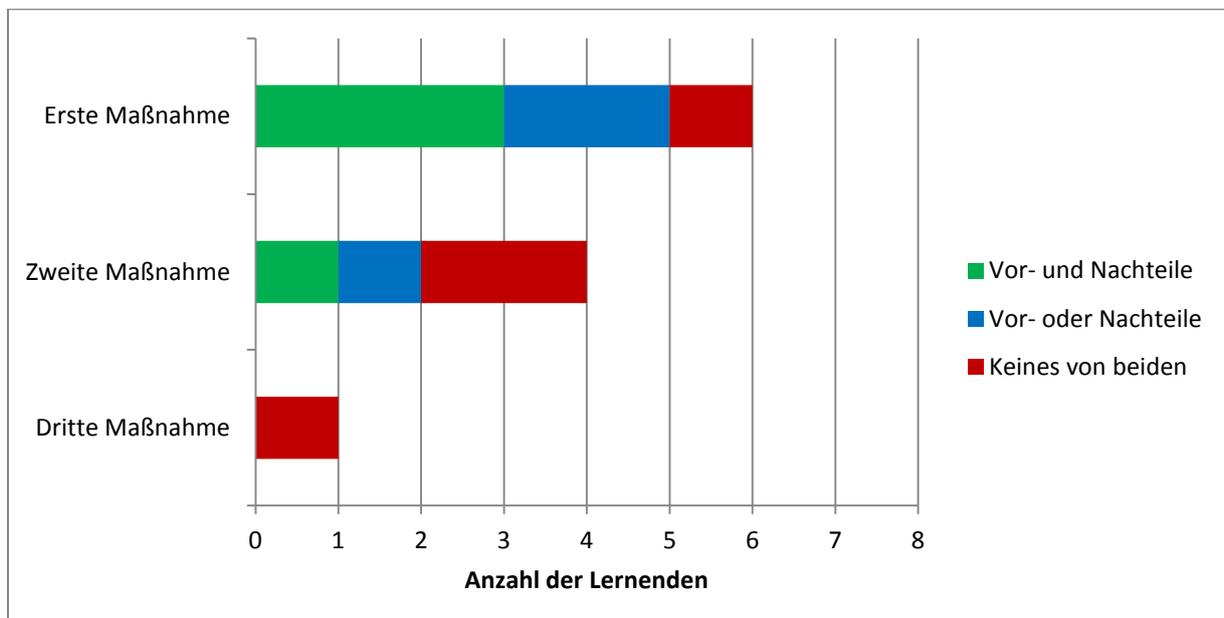


Abbildung 30:Häufigkeit der genannten Maßnahmen und der erwähnten Vor- und Nachteile der teilnehmenden Lernenden

An diesen beiden Abbildungen ist zu erkennen, dass die SchülerInnen aus beiden Sektionen beim Nennen von drei Maßnahmen und deren Vor- und Nachteilen Schwierigkeiten hatten. Unter den meist genannten Handlungsoptionen befanden sich der Kauf eines Bewegungsmelders bzw. eines Timers oder der Erwerb einer Energiesparlampe, die nicht so viel Licht ausstrahlt. Den meisten gelang es zwar, zumindest eine Maßnahme zu erwähnen, doch bei der Angabe von relevanten Vor- und Nachteilen traten vermehrt Probleme auf. Die zumeist aufgelistete Kehrseite der Optionen war wiederum die Investitionskosten der zu kaufenden Anlagen. An den Ergebnissen ist dadurch zu sehen, dass allen Lernenden in diesem Fall das nötige Wissen zu Außenbeleuchtungen und deren Vor- bzw. Nachteilen fehlt, wodurch es ihnen schwer fällt, relevante Blickpunkte in ihre Vorschläge einfließen zu lassen. Diese Vermutung spiegelt sich auch im letzten Teil der zwölften Frage wieder, in der die Befragten dazu aufgefordert wurden, für eine Maßnahme zu argumentieren. Das nächste Diagramm wurde mittels der gegebenen Antworten aus Teilfrage c konstruiert und gibt die Anzahl der erwähnten Kriterien wieder.

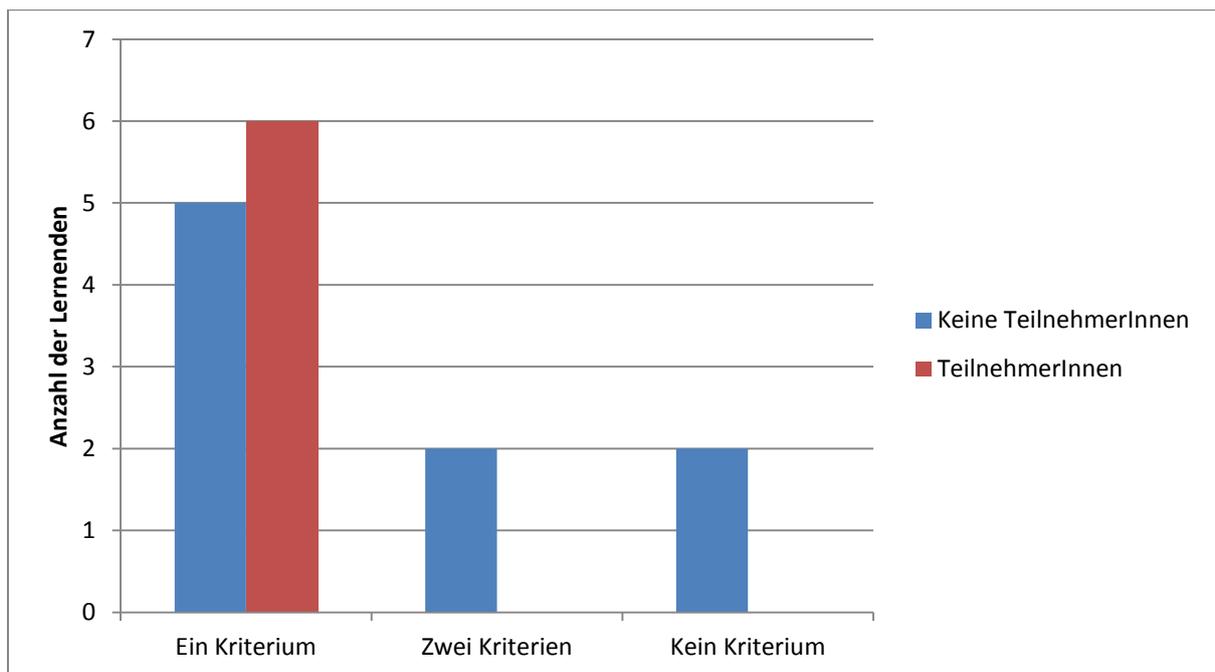


Abbildung 31: Genannte Kriterien in der Begründung für die Maßnahmenauswahl

In Abbildung 31 kann festgestellt werden, dass die meisten SchülerInnen nur einen relevanten Blickwinkel, der zumeist die Kosten oder die Energieverschwendung betrifft, für die Argumentation ihrer Maßnahme beachten. Dies ist allerdings nicht sehr überraschend, da die Lernenden auch schon Schwierigkeiten beim Nennen von positiven und negativen Auswirkungen ihrer Handlungsoptionen hatten. Die Kriterien, nach denen am Anfang der Fragestellung gefragt wurde und die in Tabelle 38 aufgelistet sind, wurden in der

Argumentation nicht mehr berücksichtigt. In Abbildung 31 ist besonders beachtlich, dass alle Lernenden, die an der Unterrichtsinvention teilnehmen, sich bei ihren Argumenten jeweils auf ein Kriterium fokussierten und es nur zwei nicht teilnehmenden Befragten möglich war, zwei Kriterien zu erwähnen.

Zusammenfassend kann aus diesem Teil des Pretests demnach geschlossen werden, dass die SchülerInnen sehr einfallsreich und innovativ denken, wenn es um fundamentale Kriterien geht, die bei der Außenbeleuchtung in Betracht gezogen werden müssen. Außerdem haben die Ergebnisse ergeben, dass das Nachdenken über mögliche Maßnahmen eines Problems und deren positive und negative Folgeerscheinungen ohne jegliche Recherche ein Problem für alle Lernenden dieser Klasse darstellt. Zwar kommen vielen von ihnen bis zu drei Optionen in den Sinn, doch sie können spontan und aus dem Bauch heraus keine geeigneten Kehrseiten oder Stärken anführen. Die Bewertungskompetenz aller SchülerInnen zu diesem Zeitpunkt liegt demnach auf dem ersten bzw. bei manchen von ihnen auf dem zweiten Niveau, da sie zwar zwei relevante Kriterien benennen können, ihre Dokumentation aber noch nicht vollständig und ausführlich genug ist um auf eine höhere Stufe zu gelangen. Zudem sei gesagt, dass den SchülerInnen auf Grund der expliziten Frage nach der besten Maßnahme keine andere Wahl gelassen wurde, als die non-kompensatorische Entscheidungsstrategie zu verwenden, die ebenfalls ein Merkmal der zweiten Bewertungsstufe ist.

Ein weiterer Punkt, der hier unbedingt angebracht werden sollte, sind die unterschiedlichen Resultate der beiden Bewertungsfragen. Werden nochmals Abbildung 27 und Abbildung 28 betrachtet, erkennt man, dass die SchülerInnen aus beiden Gruppen sich zumeist auf den Bewertungskompetenzniveaus 3 und 4 eingliederten. Aus der Fragestellung 12 konnte jedoch eruiert werden, dass den SchülerInnen das nötige Hintergrundwissen zu einer bestimmten Entscheidungsfindung fehlt, um wirklich nach den Strategien dieser Niveaus vorgehen zu können und sie sich zumeist auf den Stufen 1 bzw. 2 befinden. Diesen Resultaten nach stellt das Format aus Frage 11 eine Einschätzung zum eigenen Vorgehen bei Entscheidungsfragen dar, das Format zu Fragestellung 12 überprüft jedoch wirklich, inwiefern die die Entscheidungsstrategien der einzelnen Niveaus angewandt werden.

5.1.4. Schülervorstellungen zur Lichtverschmutzung

Im letzten Teil des Fragebogens wurde versucht, herauszufinden, ob die SchülerInnen schon einmal etwas von Lichtverschmutzung gehört haben oder nicht und welche Schülervorstellungen sich durch diesen Begriff ergeben.

Von den befragten Personen gaben drei an, dass sie schon einmal etwas von Lichtverschmutzung gehört haben, von welchen zwei jedoch den Begriff mit jenem der Luftverschmutzung verwechselten. Demnach gab es eine/n von 15 SchülerInnen, der/die genau definieren konnte, was mit Lichtverschmutzung gemeint ist. Dabei handelte es sich nicht um eine/n Schülerin der TeilnehmerInnen. Es werden nun ein paar der Ideen über Lichtverschmutzung, die des Öfteren in den Antworten auftauchten, präsentiert:

Idee 1: „Viel Staub im Licht bzw. in der Luft.“

Idee 2: „Wenn das Sonnenlicht schwer durch die Atmosphäre kommt und es etwas trüb erscheint.“

Idee 3: „Wenn Menschen dauerhaft einem Licht ausgesetzt sind, welches für sie schädlich sein kann.“

Die erste und zweite Idee repräsentiert die Assoziation mit Luftverschmutzung. Das heißt, durch die Ähnlichkeit der beiden Begriffe entsteht die Vorstellung, dass das Licht selbst von Luftpartikeln verschmutzt wird. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass Licht lediglich von Staubpartikeln durch Reflexion und Brechung abgelenkt werden kann und es so zu Streueffekten kommt. Es stimmt zwar, dass durch erhöhte Staubanteile weniger Licht in unser Auge trifft, jedoch wird das Licht selbst dabei nicht verschmutzt. Die dritte Idee repräsentiert die Überlegung, dass es Licht gibt, welches für Menschen Schäden hervorbringen könnte, welche durchaus richtig ist, da ein hoher Blauanteil in künstlich produziertem Licht Einfluss auf den Tag- und Nachtrhythmus des Menschen hat. Diese Resultate stellen demnach heraus, dass der eigentliche Begriff „Lichtverschmutzung“ sehr leicht zu Verwirrungen führen kann, da er eine hohe Ähnlichkeit mit „Luftverschmutzung“ aufweist und damit assoziiert wird. Wie auch schon Posch hervorhebt, geht es bei Lichtverschmutzung „nicht um eine Verschmutzung des Lichts, sondern um die Verschmutzung des natürlichen Verhältnisses von Hell und Dunkel durch Kunstlicht“ (Posch 2010, 7), was auch im entwickelten Unterrichtskonzept betont wurde.

Allgemein ergab der Fragebogen, dass die SchülerInnen typische Vorstellungen zu verschiedenen Themen zur Optik verinnerlichen. Sie besitzen grundsätzliche Kenntnisse über die Konzepte der Reflexion, Streuung und Ausbreitung des Lichts, welche wichtige Themen der Lichtverschmutzung repräsentieren, haben diese jedoch nur teilweise verstanden. Im Bezug auf die Bewertungskompetenz verweisen die Ergebnisse darauf, dass die Befragten im Grunde sehr viel Wert auf die Auseinandersetzung und Recherche über

zentrale Kriterien beim Kauf eines Tablets legen, was ein Merkmal von systematischem Vorgehen bei der Entscheidungsfindung widerspiegelt. Zudem wurde bestätigt, dass diese Vorgehensweise sehr problematisch ist, wenn kein Vorwissen zum Entscheidungskontext vorliegt. Das Format der Fragestellung scheint im Kontext Bewertungskompetenz einen großen Einfluss auf das Vorgehen bzw. die Entscheidung der Lernenden zu haben.

5.2. Auswertung der Unterrichtseinheit

In diesem Unterkapitel werden nun die Ergebnisse, welche die TeilnehmerInnen am Unterrichtskonzept erzielten, präsentiert. Dazu werden zunächst die Ergebnisse der Unterrichtsstationen in Betracht gezogen, die nach dem in Kapitel 3.3 vorgestellten Schema ausgewertet wurden und Aufschlüsse darüber geben sollen, wie gut die Sachinhalte verstanden wurden. Die analysierten Daten bieten einerseits die Basis für die Interpretationen zu den Lernprozessen der einzelnen Stationen und andererseits können daraus bereits Implikationen für die nötige Überarbeitung der Materialien bzw. deren Implementierung im Regelunterricht erarbeitet werden. Zusätzlich werden Beispiele der Bewertungstabelle und des Concept Cartoons angeführt und in Betracht gezogen um Rückschlüsse auf die Förderung der Bewertungskompetenz ziehen zu können. Die ausgefüllten Bewertungstabellen und Concept Cartoons werden nicht explizit in der Datenanalyse angefügt, sondern befinden sich im Anhang E.

Die Unterrichtsintervention, welche aus zwei einhalb Unterrichtseinheiten bestand, fand am Montag dem 9.3.2015 von 14.30 bis 16.30 am Keplergymnasium in Graz statt. Ursprünglich war es ausgemacht, dass zehn SchülerInnen bei der Durchführung des Konzepts teilnehmen, doch leider konnten im Endeffekt nur sechs SchülerInnen mitmachen, von denen jeweils drei männlich und weiblich waren. Die teilnehmenden Lernenden waren alle im Alter zwischen 16 und 17 Jahren und befanden sich in der siebten Klasse des BRG Kepler. Bei der Erarbeitung der verschiedenen Stationen arbeiteten die SchülerInnen in zweier Teams, wobei immer ein Team jeweils eine Stationsrubrik behandelte. Beim Vorfragebogen gab keiner der Beteiligten an, eine andere Sprache außer Deutsch zu Hause zu sprechen, weshalb auch in diesem Fall in der Interpretation nicht auf linguistische Barrieren geachtet wird. Es sei hier auch angemerkt, dass um die Anonymität der SchülerInnen gewährleisten zu können, die Namen mit den Bezeichnungen SchülerIn 1 bis 6 ausgetauscht wurden.

5.2.1. Auswertung der Station Beleuchtungsstärke

Die hier präsentierten Ergebnisse basieren auf dem Auswertungsschema, das in Kapitel 3.3.1 erläutert wurde. Insgesamt gab es bei der Beleuchtungsstärke- Station 17 Punkte zu erreichen. Die maximale Punkteanzahl, die in einem Abschnitt zu erreichen war, also zum Beispiel bei den Fragen zu dem Text, wird immer in der Kopfzeile der Tabelle angegeben.

Station Beleuchtungsstärke: maximal 10 Punkte					
Frage	1.b.1	1.b.2	1.b.3	1.b.4	Gesamt
SchülerIn 1	1	1	0,5	0	2,5
SchülerIn 2	1	1	1	1	4
SchülerIn 3	1	1	0	1	3
SchülerIn 4	1	1	2	0	4
SchülerIn 5	1	1	2	1	5
SchülerIn 6	1	1	2	1	5

Tabelle 39: Auswertung der Fragen zum Text

Station Beleuchtungsstärke: maximal 7 Punkte				
Frage	3.a	3.a.1	3.a.2	Gesamt
SchülerIn 1	3	0,5	0	3,5
SchülerIn 2	3	0,5	0,5	4
SchülerIn 3	3	0,5	0,5	4
SchülerIn 4	3	0,5	0,5	4
SchülerIn 5	3	0,5	0,5	4
SchülerIn 6	3	0,5	0,5	4

Tabelle 40: Auswertung der Bewertungsaufgabe

	SchülerIn 1	SchülerIn 2	SchülerIn 3	SchülerIn 4	SchülerIn 5	SchülerIn 6
Gesamte Punkteanzahl	6	8	7	8	9	9

Tabelle 41: Gesamte gewonnene Punkteanzahl der teilnehmenden Lernenden

Grundsätzlich haben die TeilnehmerInnen bei dieser Station unter der Berücksichtigung, dass die maximal erreichbare Punkteanzahl Expertenwissen wiedergibt, nicht schlecht abgeschnitten. Aus den Resultaten ist erkenntlich, dass sie vor allem mit der Verwendung des Fachterminus Beleuchtungsstärke Probleme hatten und sie diesen nicht in ihre Argumentationen einbezogen. Meistens wurde der Fachbegriff mit der Verwendung der Worte „Licht“ und „Dunkelheit“ umgangen, wobei Letzteres zu einer typischen Schülervorstellung führte, nämlich, dass Menschen auch im Dunklen sehen können. Zudem haben die meisten den Aspekt der Lichtverschmutzung nicht berücksichtigt bzw. konnten den Bezug zwischen dem Text, dem Experiment und der Verringerung der Lichtverschmutzung nicht klar formulieren. Bedenkt man allerdings die kurze Zeitdauer von ungefähr 20 bis 25 Minuten, in der sich die SchülerInnen mit den vorgelegten Informationen auseinandersetzten und dass sie im Vorhinein keine Kenntnisse über den Terminus der Beleuchtungsstärke hatten, so sind die Ergebnisse sehr erfreulich und verweisen auf elementares Verständnis der Inhalte, auf welchem man sehr gut aufbauen kann.

5.2.2. Auswertung der Station Lampenfarbe

Bei der Station der Lampenfarbe konnte eine maximale Punkteanzahl von 16 erreicht werden. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden zudem die Resultate des Experiments zur Lampenfarbe, in welchem die Spektralkomponenten ermitteln werden mussten, berücksichtigt, da die spektrale Zusammensetzung eine große Auswirkung auf die Vor- und Nachteile der Leuchtmittel und somit auch auf die Entscheidung für eine Beleuchtungsart hat. Wurde zum Beispiel fälschlicherweise bei der neutralweißen LED ein niedrigerer Blauanteil wahrgenommen als bei der warmweißen, so hat dies einen Einfluss auf die darauffolgende Zuweisung der Stärken und Schwächen eines Leuchtmittels. Stimmt jedoch die Argumentation in jedem Fall mit den Resultaten aus dem Experiment überein, wird die Verteilung der Punkte so behandelt, als ob die Verwechslung nicht stattfand.

In der folgenden Tabelle stehen die Abkürzungen nw für neutralweiße und ww für warmweiße LED.

Station Lampenfarbe: maximal 10 Punkte							
	Vorteile nw. LED	Nachteile nw. LED	Vorteile ESL	Nachteile ESL	Vorteile ww. LED	Nachteile ww. LED	Gesamten Punkte
SchülerIn 1	0	0	1	1	0	1	3
SchülerIn 2	0	0	0	1	1	0	2
SchülerIn 3	0	0	1	1	1	1	4
SchülerIn 4	0	0	0	1	1	0	2
SchülerIn 5	1	1	1	3	2	1	9
SchülerIn 6	1	1	1	3	2	1	9

Tabelle 42: Auswertung der genannten Vor- und Nachteile der Leuchtmittel

Station Lampenfarbe: maximal 6 Punkte			
	Entscheidung	Begründung	Gesamten Punkte
SchülerIn 1	3	1	4
SchülerIn 2	3	3	6
SchülerIn 3	3	0	3
SchülerIn 4	3	1	4
SchülerIn 5	2	2	4
SchülerIn 6	2	2	4

Tabelle 43: Auswertung des gewählten Leuchtmittels und die Begründung für die Entscheidung

	SchülerIn 1	SchülerIn 2	SchülerIn 3	SchülerIn 4	SchülerIn 5	SchülerIn 6
Gesamte Punkteanzahl	7	8	7	6	13	13

Tabelle 44: Gesamte erreichte Punktezahl der Lernenden in der Station Lampenfarbe

Aus den Ergebnissen zu der Station Lampenfarbe kann man sehen, dass die SchülerInnen Probleme dabei hatten, Vor- und Nachteile aus dem Experiment und dem Text herauszufiltern. Zwar wurde jedes Kästchen im Aufgabenblatt ausgefüllt, jedoch konnte durch die Antworten nicht immer eindeutig belegt werden, dass der Inhalt klar verstanden wurde. Denn obwohl der Text explizit mehrere Nachteile der Energiesparlampe aufzeigte, konnten auch in dieser Kategorie nur zwei von sechs SchülerInnen die volle Punkteanzahl erlangen. Das lässt darauf schließen, dass erstens der Text womöglich zu wenig Information über die anderen Leuchtmittel zur Verfügung stellte und zweitens, dass die SchülerInnen generell Probleme damit hatten die konkreten Vor- und Nachteile aus dem Text zu

extrahieren. Interessanterweise entschieden sich dennoch fast alle für die warmweiße LED und konnten zumeist auch mehr als eine plausible Begründung dafür angeben, was darauf verweist, dass sie den Kontext prinzipiell verstanden haben. Auch jene SchülerInnen, die sich für die neutralweiße LED entschieden, konnten legitime Gründe dafür nennen, warum sie diese gewählt haben.

Wenn wiederum das Gesamtergebnis betrachtet wird, so ist erkennbar, dass die TeilnehmerInnen im Schnitt recht gut abgeschnitten haben. Sie haben das Grundprinzip, dass ein hoher Blauanteil eines Leuchtmittels negative Auswirkungen auf die Tier- und Menschenwelt haben kann, verstanden und dies zumeist in ihrer Argumentation untergebracht.

Allerdings zeigen vor allem die Resultate der Vor- und Nachteile auch, dass diese Station bei der Realisierung des Unterrichtskonzepts im Regelunterricht im Idealfall unbedingt noch einmal nachbesprochen werden muss, damit die SchülerInnen wirklich verstehen, wo die Stärken und Schwächen der einzelnen Leuchtmittel liegen. Das heißt, die Konsequenzen von Lichtverschmutzung auf Grund der spektralen Zusammensetzung und die Streuung des Lichtes müssen noch genauer und detaillierter durchgearbeitet werden, damit das erworbene Fachwissen effektiver in die Entscheidungsfindung einfließen kann.

5.2.3. Auswertung der Station Leuchtentyp

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Station des Leuchtentypes, dargelegt. Dabei werden in der ersten Tabelle die Ergebnisse der zwei Experimente aufgezeigt, während in der zweiten die Resultate der Bewertungsaufgabe illustriert werden. Auch hier wurde wieder das in 3.3.3 vorgestellte Auswertungsschema verwendet. In dieser Station konnte eine maximale Gesamtpunktezahl von 16 Punkten erreicht werden.

	Station Leuchtentyp: maximal 10 Punkte					
	Experiment 1			Experiment 2		Gesamt
	Skizze	Frage 1	Frage 2	Skizze	Frage	
SchülerIn 1	1	0,5	2	0,5	0	4
SchülerIn 2	1	0	3	1	1,5	6,5
SchülerIn 3	1	0,5	2	0,5	0	4
SchülerIn 4	1	0	2	1	1,5	5,5
SchülerIn 5	1	1	3	2	2	9
SchülerIn 5	1	1	2	2	2	8

Tabelle 45: Auswertung der zwei Experimente

Station Leuchtentyp: maximal 6 Punkte			
	Bewertung	Begründung	Gesamt
SchülerIn 1	3	2	5
SchülerIn 2	3	2	5
SchülerIn 3	3	2	5
SchülerIn 4	3	2	5
SchülerIn 5	1	3	4
SchülerIn 6	1	3	4

Tabelle 46: Auswertung der Bewertungsaufgabe

	SchülerIn 1	SchülerIn 2	SchülerIn 3	SchülerIn 4	SchülerIn 5	SchülerIn 6
Gesamte Punkteanzahl	9	11,5	9	10,5	13	12

Tabelle 47: Gesamte erreichte Punktezahl der TeilnehmerInnen

Anhand der Ergebnisse zum ersten Experiment kann man sehen, dass die SchülerInnen keine Probleme damit hatten den Versuch durchzuführen und den Strahlenverlauf in der Skizze richtig zu zeichnen. Allerdings ist auch zu erkennen, dass die meisten TeilnehmerInnen nicht berücksichtigt haben, dass sich das Licht so lange ausbreitet, bis es auf ein Hindernis trifft. Besonders bei der Betrachtung des zweiten Experiments fiel auf, dass nicht genau verstanden wurde, was mit Strahlengang des Lichtes in der Aufgabenstellung gemeint war, da Skizzen entstanden sind, in denen nur der reflektierte Strahl gezeichnet wurde oder wo nur ein einfallender, aber zwei reflektierte Strahlen vorkamen. Diese Erkenntnisse zeigen, dass die Aufgabenstellung noch genauer formuliert werden sollte, damit sie auch für jene mit wenigen Vorkenntnissen verstehbar wird. Trotz mancher Missverständnisse und Verwirrungen ist das Gesamtergebnis äußerst positiv, da alle SchülerInnen eine hohe Punkteanzahl erlangt haben. Auch in Hinblick darauf, welche Argumente in der Begründung für die Bewertung aufgezählt wurden, kann man erkennen, dass die wesentlichen physikalischen Fakten in Zusammenhang mit der Verringerung der Lichtverschmutzung verstanden wurden. Dennoch ist auch hier zu sehen, wie fundamental die Vor- und in diesem Fall vor allem die Nachbereitung von Experimenten ist, da ansonsten gewisse Fehlvorstellungen verstärkt oder initiiert werden können.

Gesamtpunktezahl

Um noch einen Gesamtüberblick über die Leistungen der SchülerInnen in allen Stationen zu gewährleisten, werden in der unten angeführten Tabelle die gesamten erreichten Punkte der TeilnehmerInnen in Form von Prozentzahlen wiedergegeben. Sie sollen nochmals vermitteln, wie gut die Inhalte des Unterrichtskonzepts verstanden wurden.

Maximale Gesamtpunkteanzahl aller Stationen zusammen: 49 Punkte				
	Beleuchtungsstärke	Lampenfarbe	Leuchtentyp	Gesamt
SchülerIn 1	35,3%	43,8%	56,3%	45,1%
SchülerIn 2	47,1%	50,0%	71,9%	56,2%
SchülerIn 3	41,2%	43,8%	56,3%	47,0%
SchülerIn 4	47,1%	37,5%	65,6%	49,8%
SchülerIn 5	52,9%	81,3%	81,3%	72,0%
SchülerIn 6	52,9%	81,3%	75,0%	70,0%

Tabelle 48: erreichte Gesamtpunktezahl der TeilnehmerInnen in Prozent

Aus Tabelle 48 ist erkennbar, dass die Ergebnisse recht gut gestreut sind und fast alle SchülerInnen über 50% der zu erreichenden Punkte erlangten, was ein durchaus zufriedenstellendes Ergebnis ist. Unter der Berücksichtigung, dass die teilnehmenden SchülerInnen grundlegende Vorkenntnisse im Bereich Optik besaßen (vergleiche Abbildung 26), sie im Vorhinein noch nicht von Lichtverschmutzung gehört hatten und sie pro Station nur ungefähr 25 Minuten Zeit zur Verfügung hatten, verweisen die Ergebnisse darauf, dass die wesentlichen physikalischen Konzepte, die in diesem Kontext wichtig sind, grundsätzlich verstanden worden sind

5.2.4. Auswertung der Bewertungstabellen

Wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, repräsentiert das Ausfüllen der Bewertungstabelle den Endspurt in der selektionalen Phase, in welcher nochmals über die bearbeiteten Informationen reflektiert wird und es anhand der Punkteverteilung schließlich zur Entscheidung für eine Handlungsoption kommt. In diesem Unterkapitel werden nun die markantesten Merkmale der Bewertungstabellen der TeilnehmerInnen herausgearbeitet, wobei aber nicht nach einem bestimmten Auswertungsschema vorgegangen wird, wie zuvor bei den Stationen. Ein Beispiel zum leichteren Verständnis der Analyse wird hier gegeben, die restlichen Bewertungstabellen lassen sich dann in Anhang E finden.

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		neutralweiß Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe (Leuchtstofflampe)		warmweiß Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	3	4	12	2	6	6	18
Beleuchtungsstärke	2	4	8	2	4	6	12
Lebensdauer	1	5	5	2	2	5	5
Lichtausbeute	1	4	4	2	2	6	6
Investitionskosten	1	4	4	6	6	2	2
Jährliche Stromkosten	1	4	4	2	2	6	6
Leuchtentyp	3	4	12	2	6	6	18
Summe	XXXXXXXXXX	49		28		67	

Abbildung 32: Beispiel für eine der ausgefüllten Bewertungstabellen von SchülerIn 4

In diesem Abschnitt wird zunächst ein näherer Blick auf die Verteilung der Punkte geworfen. Wie aus dieser Abbildung entnommen werden kann, reflektiert die Punktevergabe in diesem Beispiel sehr gut, welche Beleuchtungsmöglichkeit für das Ziel der Verringerung der Lichtverschmutzung am geeignetsten wäre. Die warmweiße Leuchtdiode erfüllt diesen Zweck am besten, wobei auch die neutralweiße Leuchtdiode nicht allzu schlecht abschneidet. Die Energiesparlampe hingegen bewirkt genau das Gegenteil und stellt somit jenes Leuchtmittel dar, welches die Lichtverschmutzung eher fördert. Auch die restlichen Bewertungstabellen der SchülerInnen spiegeln diese Reihenfolge wider, was Auskunft darüber gibt, dass die generierten Sachinformationen zumeist kognitiv richtig verarbeitet und in der erneuten Reflexion berücksichtigt wurden.

Zusätzlich gibt die Vergabe der Punkte in den verschiedenen Tabellen wieder, dass der Begriff der Lichtausbeute nicht richtig verstanden bzw. falsch interpretiert wurde, da im Aufgabenblatt die warmweiße LED die höchste Lichtausbeute hat, diese oft aber mit den wenigsten Punkten versehen wurde. Die Lichtausbeute gibt an, wie viel Licht pro hinzugefügte Energie von einem Leuchtmittel emittiert werden kann. Je höher der Quotient dieser beiden Angaben ist, desto besser ist demnach die Lichtausbeute, da weniger Energie benötigt wird um mehr oder gleich viel Licht im Vergleich zu einem anderen Leuchtmittel auszustrahlen. Aus der Analyse der Bewertungstabelle kann demnach auch geschlossen werden, welche Sachverhalte in einer Nachbesprechung eventuell nochmals besprochen und klargestellt werden müssten. Im Hinblick auf die Punkteverteilung und die Summe aller Werte entschieden sich trotzdem alle Lernenden für die warmweiße LED, was ein äußerst zufriedenstellendes und positives Resultat hervorbringt.

Das zweite besondere Merkmal, das bei allen Tabellen auftritt, ist, dass die Gewichtung im Prinzip zeigt, dass die SchülerInnen Schwierigkeiten hatten sich in die Rolle des Bürgermeisters/ der Bürgermeisterin zu versetzen, da alle finanziellen Aspekte bzw. jene Kriterien, die nicht in den Stationen besprochen wurden, mit „ziemlich unwichtig“ gewichtet wurden. Allerdings ist es nicht abzustreiten, dass für ein Amt mit politischem Engagement der ökonomische Gesichtspunkt mindestens genauso oder sogar stärker ausschlaggebend für die Entscheidung für eine Straßenbeleuchtung ist, wie der ökologische. Insbesondere der Punkt „jährliche Stromkosten“ ist ein fundamentales Kriterium für die Auswahl der Beleuchtung. Nichtsdestotrotz gewichtete nur einer der TeilnehmerInnen diesen Aspekt zumindest mit „wichtig“.

Grundsätzlich könnten zwei Gründe dazu führen, dass es den Lernenden schwer fiel, diese Rolle zu übernehmen. Zum Ersten werden die SchülerInnen sehr stark von dem vorhergehenden Input aus den Stationen und der Aufgabenstellung beeinflusst, in dem sie immer wieder darauf hingewiesen werden, dass der/die BürgermeisterIn darauf abzielt die Lichtverschmutzung in dem Dorf zu dämmen. Dadurch wurden vor allem die Kriterien, welche in direktem Zusammenhang mit diesem Kontext stehen, als viel wesentlicher eingestuft, als die finanziellen Aspekte.

Der zweite Grund könnte sein, dass die SchülerInnen keine Einsicht in die Arbeitswelt eines Bürgermeisters bzw. einer Bürgermeisterin haben. Sie wissen nicht, unter Berücksichtigung welcher Kriterien so eine Amtsperson zu einer Entscheidung kommt. Angesichts dessen ist also die Gewichtung der Lernenden nicht sehr überraschend, sollte aber auf jeden Fall in einer Unterrichtssequenz detaillierter besprochen werden, damit sie lernen, auch aus anderen Perspektiven zu gewichten und diese zu verstehen. Denn auch der Perspektivenwechsel und die Einschließung anderer Meinungen und Stellungnahmen spielen eine elementare Rolle in der Förderung der Bewertungskompetenz.

Zusammenfassend kann man sehen, dass die Bewertungstabelle ein äußerst nützliches und erfolgreiches Werkzeug ist um Sachinformationen zu reflektieren und um das Bewertungsstrukturwissen der SchülerInnen zu fördern. Die einheitlich gewählte warmweiße Leuchtdiode als geeignetstes Leuchtmittel repräsentiert ein sehr positives Ergebnis auch bezüglich der Verarbeitung der Informationen in den Stationen.

5.2.5. Auswertung des Concept Cartoons

Mittels der Concept Cartoons ist es nun möglich, die SchülerInnen auf eine Niveaustufe einzuteilen. Bei der Einstufung wurde darauf geachtet, wie viele Kriterien bei den Argumentationen in Betracht gezogen wurden und welche Entscheidungsstrategie verwendet wurde. Außerdem spielt die Dokumentation der verschiedenen Argumente ebenfalls eine essentielle Rolle bei der Einteilung der Niveaustufen. Sind die Pro- und Kontraaspekte verständlich ausformuliert, so befindet sich der/ die SchülerIn, die die Reaktion verfasst hat, auf einem höheren Niveau der Bewertungskompetenz. Wie auch schon bei der Bewertungstabelle wird hier ein Beispiel für ein Concept Cartoon dargelegt, die restlichen befinden sich in Anhang E. Nachdem demonstriert wurde, worauf bei der Auswertung geachtet wurde, werden die Ergebnisse im unten angeführten Diagramm illustriert. Die folgenden Reaktionen stammen alle von SchülerIn 5.

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Sie haben prinzipiell recht, aber die hohe Flexibilität fördert auch die Lichtverschmutzung. Des Weiteren würden ~~wir~~ ~~in~~ ~~der~~ ~~Art~~ ~~der~~ ~~Flexibilität~~ auch die anderen Lampen aussteuern und sie wären zudem auch ~~noch~~ ~~zu~~ ~~günstiger~~ als die Energiesparlampen in Bezug auf die jährlichen Stromkosten.

Abbildung 33: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Frau Stolz

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Vom Leuchtentyp würde die Neutralweiße Lampe auch sehr gut passen. Doch im Vergleich zu der Warmweißen Lampe enthält sie noch viel ~~blau~~ blaues Licht und ~~er~~ deckt somit mehr zur Deckungsleistung ~~bei~~ - durch ^{bei} den jährlichen Stromkosten ist die neutralweiße Lampe um einiges ~~guter~~.

Abbildung 34: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Herrn Seibert

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Die Warmweißen LED Lampen würden katastrophal der Deckungsleistung entgegenwirken, doch ~~bei~~ bei unserer Test war trotzdem ein wenig blaues Licht ~~erhalten~~ enthalten. ~~Das~~ Durch den Leuchtentyp ergibt sich am besten, da das Licht nach dem Pin abgedichtet wird und durch den ~~größten~~ ~~kleinsten~~ konstanten Innenraum auch ~~reagiert~~ ~~werden~~ kann.

Abbildung 35: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Frau Kletz

Anhand der Abbildungen kann man in diesen Beispielen sehr gut erkennen, dass auf viele verschiedene relevante Kriterien in den Reaktionen eingegangen wurde, die sowohl ökologisch, als auch ökonomisch fundamental sind. In Abbildung 33 geht der/ die Schülerin insbesondere auf die Beleuchtungsstärke und die jährlichen Stromkosten ein. Es sei hier jedoch angemerkt, dass nicht der Fachausdruck der Beleuchtungsstärke, sondern der Helligkeitsbegriff für das Argument verwendet wird. Obwohl Helligkeit physikalisch nur schwer definierbar ist, da sie sehr von der subjektiven Wahrnehmung der Menschen

abhängt, ist die Schlussfolgerung, dass die Energiesparlampe bezüglich der höheren Abstrahlung von Licht die Lichtverschmutzung mehr fördert als die anderen beiden Lampen, richtig.

In der Reaktion auf Frau Kletz, welche in Abbildung 35 gezeigt wird, geht der/ die Lernende auf den Blauanteil des Lichtes, den Leuchtentyp sowie erneut auf die jährlichen Stromkosten ein. Hier wird ebenfalls der wichtige Aspekt der Lichtverschmutzung in Betracht gezogen, auch wenn bessere Streuung vom blauen Anteil des Lichts nicht explizit erläutert wird. Abschließend bringt der/ die SchülerIn auch in der letzten Reaktion Punkte an, die eine hohe Relevanz für die Dämmung der Lichtverschmutzung aufweisen. So nennt er abermals den geringen Anteil von der blauen Spektralkomponente in der warmweißen LED und den Leuchtentyp. Unter der Berücksichtigung der geringen zur Verfügung gestellten Zeit in der Unterrichtintervention ist erkenntlich, dass die Formulierung der Argumente großteils vollkommen und nachvollziehbar ist. Denn obwohl nicht immer auf die exakten physikalischen Hintergründe eingegangen wird, sind die jeweiligen Vor- und Nachteile der einzelnen Leuchtmittel richtig angeführt und hervorgehoben. Auf Grund der Tatsache, dass der/die SchülerIn zusätzlich in den Argumentationen mehr als drei relevante Kriterien berücksichtigt, kann er/sie auf die Niveaustufe 4 der Bewertungskompetenz eingeteilt werden.

In Bezug auf die Entscheidungsstrategie die in den Ausformulierungen der Reaktionen verwendet wurde, ist ersichtlich, dass der/ die Lernende versucht, die Vor- und Nachteile der einzelnen Beleuchtungsmöglichkeiten gegeneinander abzuwägen. Dies ist vor allem durch den verwendeten Wortlaut in den Argumenten erkenntlich, da der/die SchülerIn Phrasen wie beispielsweise „im Vergleich zu“ oder die Einbettung von Komparativen und Superlativen wie „teurer“ und „am besten“ benützt. Zusätzlich wägt er/sie die Stärken und die Schwächen der Leuchtmittel ab und hebt hervor, dass jedes Leuchtmittel Vor- und Nachteile aufweist. Dies ist zum Beispiel in der Reaktion auf die Aussage von Frau Kletz zu sehen, in der der/die SchülerIn auch auf den geringen Blauanteil in der warmweißen LED eingeht, obwohl dieses Leuchtmittel seine/ihre Präferenz darstellt. Er/ sie akzeptiert demnach, dass auch die warmweiße Leuchtdiode nicht perfekt in Hinblick auf die spektrale Zusammensetzung des Lichtes ist, sieht jedoch ein, dass sich diese trotzdem am besten als Beleuchtung für die Einschränkung der Lichtverschmutzung eignet. Auf Grund der Gewichtung und des Abwägens der Stärken und Schwächen der alternativen Leuchtmittel statt des Vorgehens nach dem K.O System kann geschlossen werden, dass der/ die Lernende die kompensatorische Entscheidungsstrategie in den Reaktionen auf die Aussagen der drei Personen verwendet. Im Zusammenspiel mit den genannten essentiellen Kriterien, der fast vollkommenen Dokumentation der verschiedenen Aspekte und der angewandten

Entscheidungsstrategie lässt sich der/die SchülerIn demnach auch insgesamt auf das Niveau 4 der Bewertungskompetenz einstufen.

Im kommenden Diagramm wird nun die Auswertung aller Concept Cartoons dargestellt. Die Vorgehensweise der Einteilung in die Niveaustufen erfolgte gleich wie das oben angeführte Beispiel und inkludiert sowohl die verwendeten Entscheidungsstrategien als auch die relevanten Kriterien.

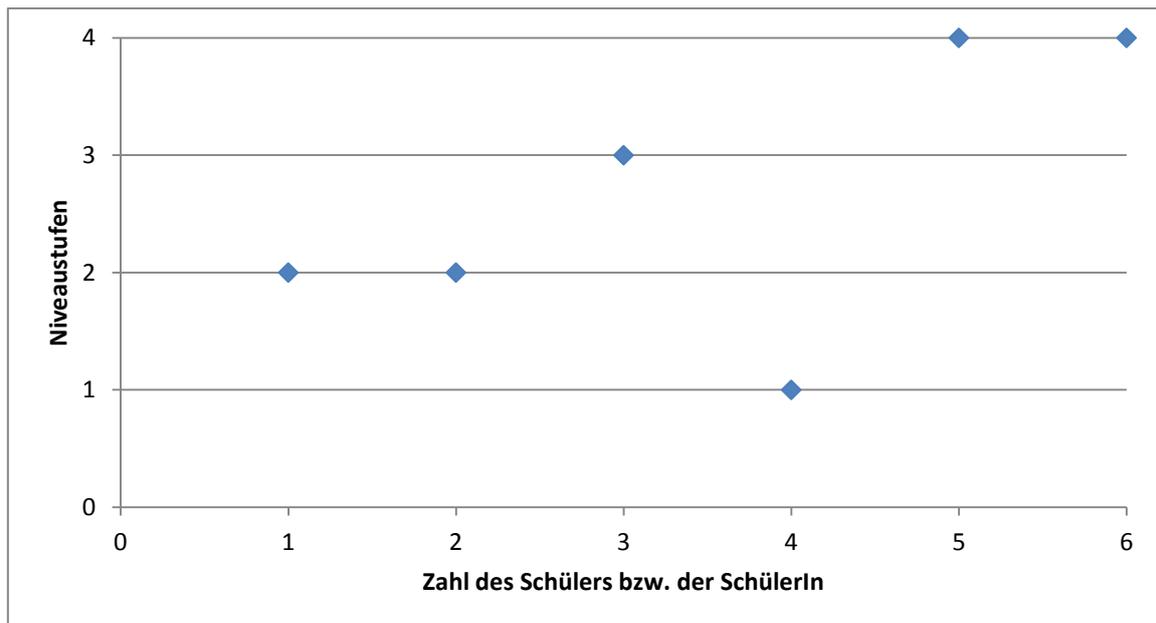


Abbildung 36: Einteilung der SchülerInnen in die Niveaustufen anhand des Concept Cartoons

Wie aus Abbildung 36 erkenntlich ist, befinden sich alle SchülerInnen zumindest auf dem zweiten Niveau, was ein sehr erfreuliches Ergebnis ist. Zudem muss hier angemerkt werden, dass es teilweise recht problematisch war, die SchülerInnen auf ein Niveau unter Berücksichtigung der gesamten Reaktionen einzuteilen, da manche TeilnehmerInnen auf die eine Aussage sehr gut reagierten, im nächsten Argument jedoch auf fast keine relevanten Kriterien eingingen. Besonders auffällig war dies bei den Reaktionen von SchülerIn 2, von welchen die erste ausgezeichnet ausformuliert wurde und mehrere wichtige Punkte näher erörtert wurden, aber die letzten beiden leider nicht vollständig dokumentiert wurden. Allgemein berücksichtigten jene TeilnehmerInnen, welche sich auf der Stufe 2 befinden, mindestens zwei wichtige Aspekte, gingen jedoch nicht näher auf diese ein. Daher war der Dokumentationsbericht der Argumente nicht vollständig und nicht immer klar nachvollziehbar. Zur Einstufung von SchülerIn 3 sollte gesagt werden, dass hier vor allem die Verwendung der non-kompensatorischen Entscheidungsstrategie ausschlaggebend für die Einteilung in die dritte Niveaustufe war. Denn im Vergleich zu den SchülerInnen 5 und 6

wurden hier die Vor- und Nachteile nicht direkt mit denen der anderen Leuchtmittel verglichen. In jeder Reaktion wurde demnach auf eine Beleuchtungsmöglichkeit separat eingegangen, die anderen wurden jedoch komplett außer Acht gelassen. Nichtsdestotrotz wurden hier mehrere fundamentale Gesichtspunkte bedacht, die sowohl für die Umwelt als auch für die Finanzen der Gemeinde wichtig sind.

Allgemein kann mittels der Concept Cartoons gesehen werden, dass die SchülerInnen in ihren Argumentationen Bezug auf die Inhalte in der Einheit genommen haben und so in der Lage waren zu jeder Aussage eine Stellung einzunehmen. Manche konnten dabei die Stellungnahmen ausführlicher beschreiben als andere, was einerseits mit der Motivation zum Schluss der Einheit zusammenhängen könnte, vorrangig aber auch mit dem Verständnis des Inputs. Denn vergleicht man die Gesamtpunktzahl, welche die Lernenden in den Stationen erreicht haben, mit der Einstufung der Bewertungskompetenzniveaus, so ist erkennbar, dass, je besser der Inhalt verstanden wurde, die SchülerInnen auch ausführlicher auf die Aussagen eingehen konnte. Anhand dieses Ergebnisses ist es wiederum ersichtlich, wie wichtig die Generierung und intensive Verarbeitung von Sachinformationen in der präselektionalen Phase des Bewertungsmodells für die Entscheidungsfindung ist. Im Großen und Ganzen kann gesagt werden, dass die Resultate äußerst positiv sind und dass sie einen sehr guten Grundsatz für die Förderung der Bewertungskompetenz in einer weiteren Unterrichtssequenz darstellen.

5.3. Auswertung des Posttests

Der Posttest fand genau eine Woche nach Abhaltung der Unterrichtseinheit statt, nämlich am 16.3.2015. Die Rahmenbedingungen waren im Grunde gleich wie beim Pretest zwei Wochen zuvor, allerdings nahmen an diesem Test 17 von 19 SchülerInnen teil. Der Posttest unterscheidet sich zum einen dadurch, dass die PISA Items nur von den TeilnehmerInnen ausgefüllt werden müssen. Außerdem sollten sie auch Fragen zur Lichtverschmutzung und Bewertungskompetenz beantworten, sowie Feedback zum gehaltenen Unterricht geben. Der nächste Abschnitt im Fragebogen beinhaltete wieder dieselben Fragen wie beim Pretest. Sie unterscheiden sich in keiner Weise von den Fragen des Vorfragebogens, anders als die Bewertungsfrage zum Schluss, die darauf abzielt zu überprüfen, ob die Bewertungskompetenz der SchülerInnen in der Einheit gefördert wurde. Auch hier wird wieder zwischen den sechs Lernenden, die sich an der Einheit beteiligten, und der restlichen Klasse unterschieden.

Die folgenden Items wurden nur von den teilnehmenden Lernenden ausgefüllt. Diesmal, im Gegensatz zum Pretest, bezogen sich die Aussagen auf die Unterrichtseinheit zum Thema Lichtverschmutzung.

	In dieser Unterrichtseinheit.....	Nennungen Posttest	Nennungen Pretest
a.arbeitete ich mit, weil ich es immer so mache	33,3%	20%
b.	...strengte ich mich an, weil ich gerne alles richtig mache.	33,3%	6,7%
c.	...beteiligte ich mich, weil es sich so für eine Schülerin/ einen Schüler gehört	33,3%	13,3%
d.	...arbeitete ich mit, weil ich die Inhalte später bestimmt gebrauchen kann.	33,3%	0 %
e.	...waren mir die Inhalte wichtig, weil sie auch für viele Dinge im Alltag wichtig sind.	50%	0 %
f.	...arbeitete ich mit, damit ich mich später in diesem Fach auskenne	83,3%	13,3%

Tabelle 49: Ergebnisse von Item 1 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen zur Einheit der Lichtverschmutzung und zum allgemeinen Physikunterricht aus dem Pretest

Aus Tabelle 49 ist erkenntlich, dass die Lernmotivation der teilnehmenden Lernenden aus dem Interesse am Thema entspringt, da 83,3% der teilnehmenden Lernenden Antwortmöglichkeit f angekreuzt haben. Dem gegenüber steht das Ergebnis aus dem Pretest, welches zeigt, dass die Mitarbeit nur bei 13,3% aus demselben Grund entspringt. Allerdings muss bei der Interpretation berücksichtigt werden, dass die Teilnahme auf freiwilliger Basis beruhte, was ein gewisses Grundinteresse am Thema der Lichtverschmutzung voraussetzt. Besonders auffällig ist, dass für 50% der TeilnehmerInnen der Alltagsbezug in der Einheit im Gegensatz zum allgemeinen Physikunterricht erkenntlich war.

	In dieser Unterrichtseinheit...	Nennungen im Posttest	Nennung im Pretest
a.	...fand ich die Inhalte richtig spannend.	83,3%	0%
b.	...war ich mit Freude dabei.	33,3%	6,7%
c.	...machte mir der Unterricht Spaß.	83,3%	6,7%
d.	...wollte ich gern mehr über dieses Thema erfahren.	13,3%	13,3%
e.	...bekam ich Lust, mich weiter damit zu beschäftigen.	66,7%	0%

Tabelle 50: Ergebnisse von Item 2 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen in der Einheit und im allgemeinen Physikunterricht aus Interesse

Auch aus diesen Ergebnissen ist zu schließen, dass das Thema Lichtverschmutzung als äußerst anregend und spannend von den SchülerInnen empfunden wurde. Auf Grund der häufig gewählten Antworten a, c und e kann davon ausgegangen werden, dass die Gestaltung des Unterrichtskonzepts sehr gut bei den SchülerInnen ankam und dass der Kontext der Lichtverschmutzung auf ein hohes Interesse stieß. Diese Annahme unterstützt auch der Vergleich zwischen den Antwortmöglichkeiten d und e im Posttest, da daraus ersichtlich ist, dass das Interesse am Thema womöglich auch erst während der Einheit zunahm, da nur 13,3% angaben, schon im Vorhinein über die Thematik mehr erfahren zu wollen. Es ist ebenfalls sehr erfreulich, dass mehr als die Hälfte der TeilnehmerInnen in Erwägung ziehen, sich auch außerschulisch mit dem Thema zu beschäftigen. Hier kontrastieren sich die Ergebnisse aus dem Pre- und Posttest sehr stark voneinander und es ist erkennbar, dass der Kontext der Lichtverschmutzung auf hohe Akzeptanz der Schüler stieß im Vergleich zum allgemeinen Physikunterricht.

	In dieser Unterrichtseinheit...	Nennungen im Posttest	Nennungen im Pretest
a.	...wurde deutlich, dass der Lernstoff auch im Alltag wichtig ist.	100%	13,3%
b.	...wurde erkennbar, wofür die Experimente nützlich sind.	83,3%	6,7%
c.	...lernte man, wo die Inhalte praktisch angewendet werden.	50%	13,3%
d.	...wurden wir darüber informiert, dass dieser Stoff für andere Themen wichtig ist.	16,7%	20%

Tabelle 51: Ergebnisse von Item 3 zur Bedeutung der Lehrinhalte in der Einheit und im allgemeinen Physikunterricht

Anhand dieser Resultate ist es sehr erfreulich zu sehen, dass besonders die Alltagsrelevanz für die SchülerInnen deutlich aus der Einheit hervorging. Auch der Sinn und Zweck der Experimente in Bezug auf Lichtverschmutzung war für die Lernenden präzise formuliert und führte damit zu einem Verständnis, wofür die Experimente im Lernprozess gebraucht wurden. Im Gegensatz dazu fehlt der Bezug zum Alltag im allgemeinen Physikunterricht für die SchülerInnen, genauso wie die praktische Relevanz vom Lehrstoff. Wie auch schon im Pretest ist hier erkenntlich, dass die Motivation der SchülerInnen, die in Tabelle 50 näher erläutert wurde, und das Bedürfnis, sich mit einem Thema in einem außerschulischen Kontext näher zu befassen, sehr stark mit dem Alltagsbezug zusammenhängen.

In Summe gesehen kann aus den Ergebnissen der Items entnommen werden, dass die Bereitschaft der Lernenden, sich mit dem Kontext der Lichtverschmutzung zu beschäftigen, sehr groß war. Zusätzlich verweisen besonders die Resultate aus Tabelle 50 und Tabelle 51 darauf, dass die Konzeption der Stationen auf große Akzeptanz der SchülerInnen stieß. Auf Grund der Tatsache, dass die Art und Weise eines Unterrichts, der sich auf die Förderung der Bewertungskompetenz fokussiert, äußerst positive Rückmeldungen hervorruft, kann geschlossen werden, dass sich auf Basis des entwickelten Unterrichtskonzepts eine effektive Lernsequenz zu dem oben genannten Zweck aufbauen lässt.

In den nachfolgenden Abbildungen werden nun abermals die Ergebnisse der Fragen im Posttest illustriert. Dabei wurde das gleiche Auswertungsschema wie beim Pretest verwendet. Der Gedanke hinter dem Posttest war es vor allem zu überprüfen, inwiefern sich der Input in der Einheit auf die Beantwortung der Fragen auswirkt, ob neue Schülervorstellungen entstanden sind, oder ob manches nun verständlicher für die SchülerInnen ist.

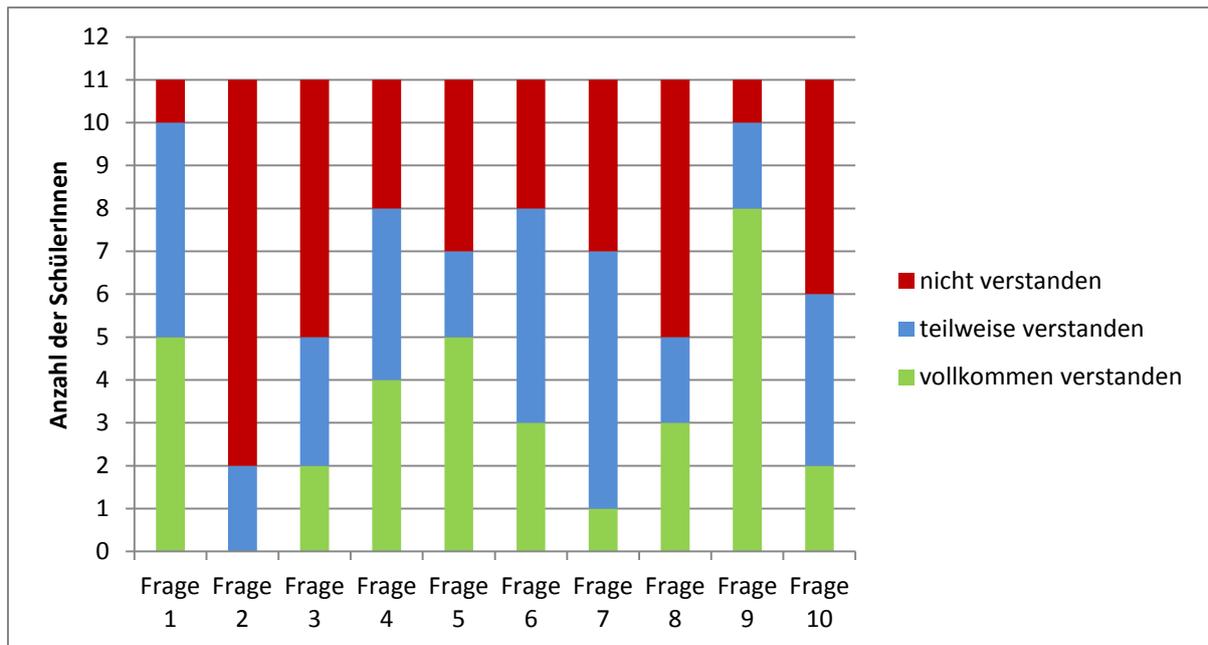


Abbildung 37: Ergebnisse des Posttests der nicht teilnehmenden Lernenden

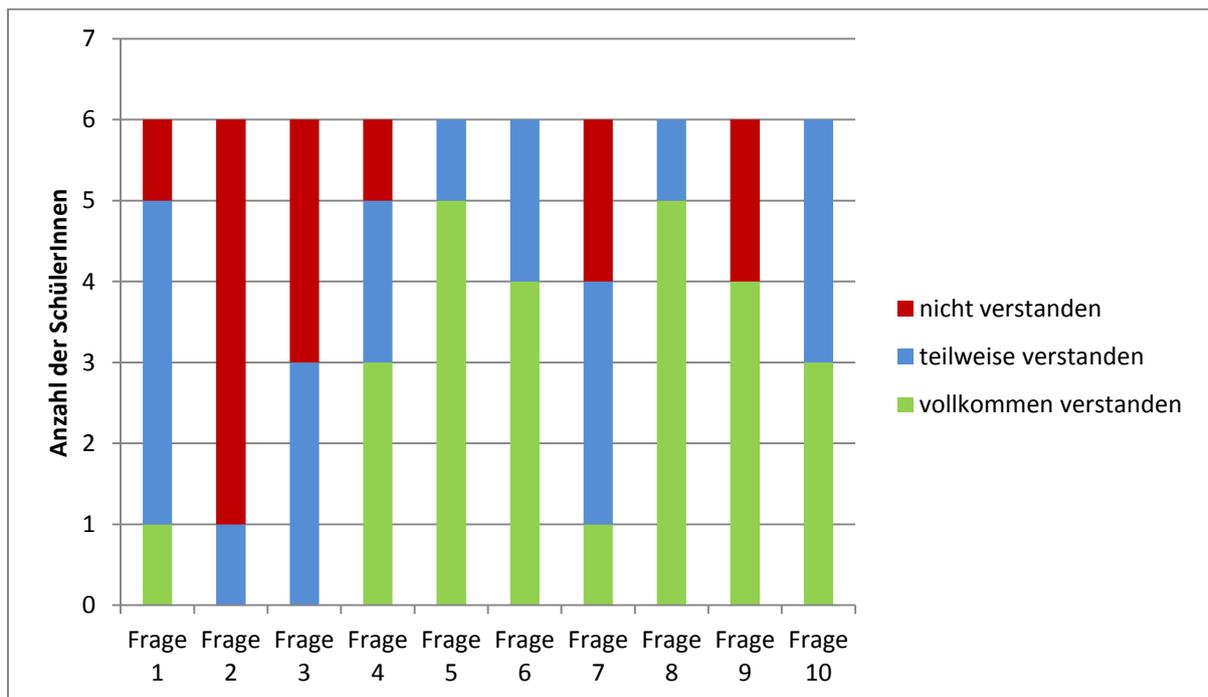


Abbildung 38: Ergebnisse des Posttests der teilnehmenden Lernenden

Um zu sehen, welchen Einfluss die vorbereiteten Sachinformationen aus dem entwickelten Unterrichtskonzept auf die teilnehmenden Lernenden hatten, werden zunächst die oben angeführten Abbildungen miteinander verglichen. Anschließend werden die Differenzen zwischen den Ergebnissen aus dem Pre- und Posttest der TeilnehmerInnen näher erörtert,

um zu überprüfen, ob eventuell neue Schülervorstellungen entstanden sind bzw. wo sich die SchülerInnen im Endeffekt verbessert haben.

Aus den Resultaten des Postfragebogens ist vor allem erkennbar, dass die Konzepte der Streuung und der Angabe von Lumen als Indikator für das abgestrahlte Licht den TeilnehmerInnen an der Unterrichtsintervention besser bekannt waren, als jenen, die nicht daran teilgenommen haben. Dies macht sich daran bemerkbar, dass alle TeilnehmerInnen, bis auf zwei aus der Interventionsgruppe, die Fragen zum physikalischen Phänomen der Streuung vollkommen verstanden haben. Im Gegensatz dazu war der Großteil der Nicht-TeilnehmerInnen nicht in der Lage, die Frage vollkommen richtig zu beantworten. Auch Frage 10, die sich mit der Helligkeit eines Leuchtmittels und der vorherrschenden Vorstellung, dass die Wattangabe Auskunft über diese gibt, beschäftigt, verweist auf den Inhalt, der in der Unterrichtseinheit präsentiert wurde. Aus Abbildung 37 ist zu erkennen, dass fünf SchülerInnen ankreuzten, dass die Wattangabe ausschlaggebend für die Helligkeit eines Leuchtmittels ist, wobei die restlichen wussten, dass Lumen ein Maß für das abgestrahlte Licht ist. Jene, die die Frage nur teilweise richtig beantworten konnten, berücksichtigten die Lichtausbeute nicht in ihrem Gedankengang. Im Vergleich dazu konnten alle TeilnehmerInnen an der praktischen Durchführung des Konzepts die Frage teilweise richtig beantworten, wobei auch hier die Lichtausbeute manchmal nicht bedacht wurde. Zusätzlich wurde Frage 8, welche sich mit der Energie der kurzwelligen Photonen bzw. mit dem kurzwelligen Bereich im Spektrum beschäftigte, fast von allen TeilnehmerInnen komplett richtig verstanden. Demgegenüber ist ersichtlich, dass die nicht teilnehmenden SchülerInnen Schwierigkeiten damit hatten, zu definieren, welcher Wellenlängenbereich die höhere Energie aufweist.

Im Vergleich zu den Ergebnissen des Pretests der teilnehmenden Lernenden an der Unterrichtsintervention können manche Differenzen zum Posttest dargelegt werden. Zum einen schnitten die TeilnehmerInnen in den Fragestellungen im Nachfragebogen, welche die Streuung, die Energieverteilung im Lichtspektrum und die Lumen- bzw. Wattangabe betrafen, wesentlich besser ab als zuvor. Allerdings sollte an dieser Stelle auch bemerkt werden, dass bei Frage 4 und 9 Verwirrungen auftraten, auf die in einer Nachfolgebearbeitung unbedingt hingewiesen werden sollte. In Bezug auf die Frage 4 ergab sich bei einem/r der SchülerInnen die Vorstellung, dass Licht Dunkelheit bräuchte, um sich auszubreiten. Da dieser Gedankenweg oft Hand in Hand mit der Lernendenvorstellung geht, dass man auch ohne Licht sehen kann, sollte das Konzept des Sehens und der Ausbreitung des Lichts im darauffolgenden schulischen Unterricht nochmals besprochen werden. Im Allgemeinen hatte die zweistündige Intervention keinen Einfluss auf die

Ergebnisse der Fragen, welche das Wissen zur Ausbreitung des Lichtes betrafen. Auch bei den Fragestellungen zur Reflexion konnte weder eine starke Verbesserung noch Verschlechterung festgestellt werden, weshalb diese Konzepte womöglich ebenfalls im Fokus einer Nachbearbeitung stehen sollten. Hinsichtlich Frage 9 entstand bei zwei SchülerInnen das Konzept, dass das emittierte Licht auch als weiß wahrgenommen wird, obwohl das Maximum der Spektralkomponenten im gelben bzw. orangen Bereich liegt. Diese Vorstellung könnte durch die Station, in welcher die Lampenfarbe bearbeitet wurde, hervorgerufen worden sein. Denn bei dieser mussten die Lernenden mit Hilfe eines Spektroskops die spektrale Zusammenlegung der verschiedenen Leuchtmittel untersuchen. Da alle Leuchtmittel verschiedene Weißtöne emittierten und daher alle Spektralkomponenten einigermaßen gleichmäßig verteilt waren, gewannen manche den Eindruck, dass, sobald alle Spektralkomponenten vorhanden sind, egal wo das extreme Maximum liegt, das Licht auch als weiß wahrgenommen wird. Auch auf diese Idee sollte man näher eingehen und sie in einer Vor- bzw. Nachverarbeitung berücksichtigen.

Zusammenfassend ist aus den Resultaten erkennbar, dass sich die TeilnehmerInnen auf Grund der Unterrichtintervention in vielen Bereichen stark verbessert haben und zusätzliche Erkenntnisse gewonnen haben, die ihren MitschülerInnen noch vorenthalten blieben. Dennoch sollte immer berücksichtigt werden, dass das schnelle Vermitteln von neuen Sachinformationen ohne jegliche Besprechung im Nachhinein Vorstellungen mit sich ziehen könnte, die physikalisch nicht ganz korrekt sind, wie auch in den Fragen 4 und 9 gesehen werden kann. Um neue Schülervorstellungen, die nicht der physikalischen Wirklichkeit entsprechen, vorzubeugen, müssen solche Sachverhalte demnach noch detailreicher besprochen werden. Im Großen und Ganzen weist die Analyse jedoch äußerst positive Resultate auf.

In den nächsten Abbildungen und Tabellen wird nun die elfte Frage zur Bewertungskompetenz genauer betrachtet. Wie schon zuvor kurz erwähnt, zielte diese spezifisch darauf ab, den Unterschied der Bewertungskompetenzen in der Klasse zwischen den TeilnehmerInnen und Nicht-TeilnehmerInnen zu messen. Dafür wurde die Frage explizit auf die Entscheidungsfindung für ein Leuchtmittel fokussiert. Zunächst werden wieder die angebrachten Kriterien aufgelistet sowie die Häufigkeit, wie oft diese von den SchülerInnen berücksichtigt wurde. Hier wird wiederum zwischen den teilnehmenden und nicht teilnehmenden Lernenden unterschieden. TL steht abermals für teilnehmende, nTL steht hingegen für nicht teilnehmende Lernende.

	Berücksichtigte Aspekte:	nTL	TL
1.	Kosten des Leuchtmittels	72,7 %	16,7%
2.	Leuchtmittel soll energie- bzw. stromsparend sein	45,5%	50%
3.	Leuchtmittel soll leistungsstark sein	36,4%	0%
4.	Leuchtmittel soll umweltfreundlich sein	27,3%	0%
5.	Leuchtmittel soll langlebig sein	27,3%	33,3%
6.	Leuchtmittel soll hell genug sein	18,2%	83,3%
7.	Leuchtmittel soll geringen Blauanteil haben	0%	50%
8.	Design des Lampenschirms	0%	50%

Tabelle 52: Berücksichtigte Kriterien bei der Bewertungsfrage im Posttest

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, werden auch in dieser Bewertungsfrage von der gesamten Klasse einige Kriterien angeführt, die sowohl ökologische, als auch ökonomische Relevanz aufweisen. Allerdings soll der Unterschied hervorgehoben werden, dass für die TeilnehmerInnen an der Unterrichtintervention nicht nur der Kostenpunkt des Leuchtmittels ausschlaggebend für den Kauf ist, wie für den Großteil der restlichen SchülerInnen, sondern auch Kriterien, die auf physikalischen Aspekten beruhen und in den Stationen besprochen wurden. So nannten beispielsweise 50 Prozent der teilnehmenden Lernenden auch das Design des Lampenschirms und den Blauanteil des emittierten Lichtes. Des Weiteren unterscheiden sich die Prozentsätze in Hinblick auf die Helligkeit sehr voneinander. Während nur 18,2 Prozent der nicht TeilnehmerInnen das abgestrahlte Licht des Leuchtmittels bedachten, wurde dieses Kriterium von 83,3 Prozent der TeilnehmerInnen angeführt. Aus den genannten Blickpunkten und den Unterschieden zwischen den teilnehmenden und nicht teilnehmenden SchülerInnen kann man demnach sehr stark den Einfluss der Unterrichtintervention erkennen.

Im den unten angeführten Diagrammen wird zunächst gezeigt, wie viele SchülerInnen sich für die warmweiße und die neutralweiße Leuchtdiode entschieden. Anschließend wurden alle Lernenden anhand ihrer Entscheidung für ein Leuchtmittel und ihrer formulierten Argumente für dieses in die Niveaustufen der Bewertungskompetenz nach dem Göttinger Modell eingeteilt. Dabei wurde darauf geachtet, wie gut die Argumente ausformuliert wurden, ob Vor- und Nachteile des Leuchtmittels berücksichtigt wurden und ob die angebrachten Punkte, falls sie auf physikalischen Konzepten basieren, Alltagsvorstellungen repräsentieren oder nicht. Außerdem wurde die angewendete Entscheidungsstrategie ebenfalls in der Zuteilung der Niveaus berücksichtigt. Die Ergebnisse werden in Abbildung 39 und Abbildung 40 demonstriert.

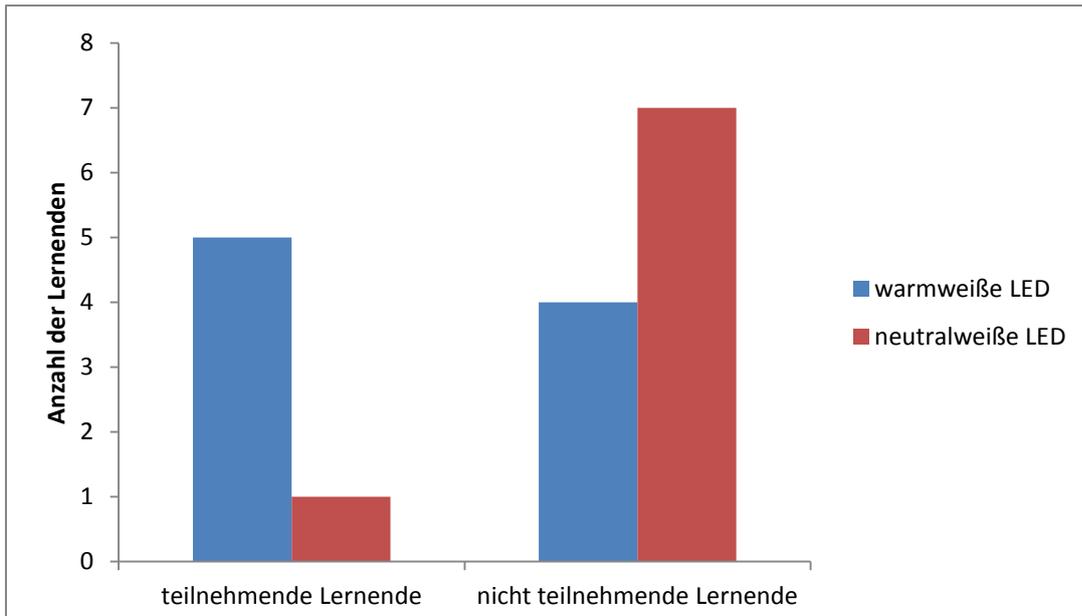


Abbildung 39:Entscheidung der Lernenden für die warmweiße oder die neutralweiße LED

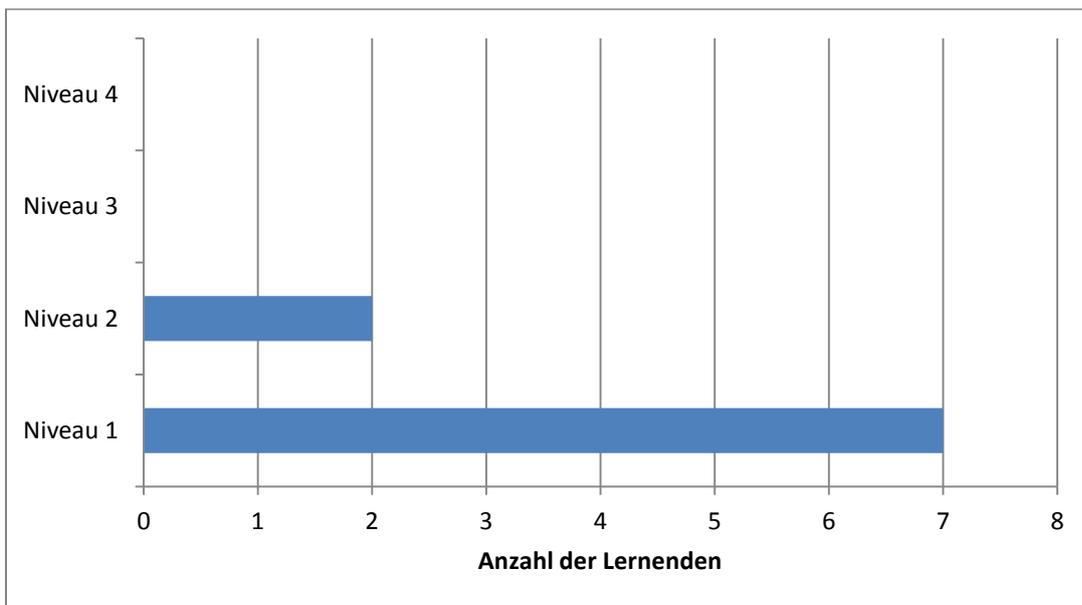


Abbildung 40:Einteilung der nicht teilnehmenden Lernenden in die Niveaustufen

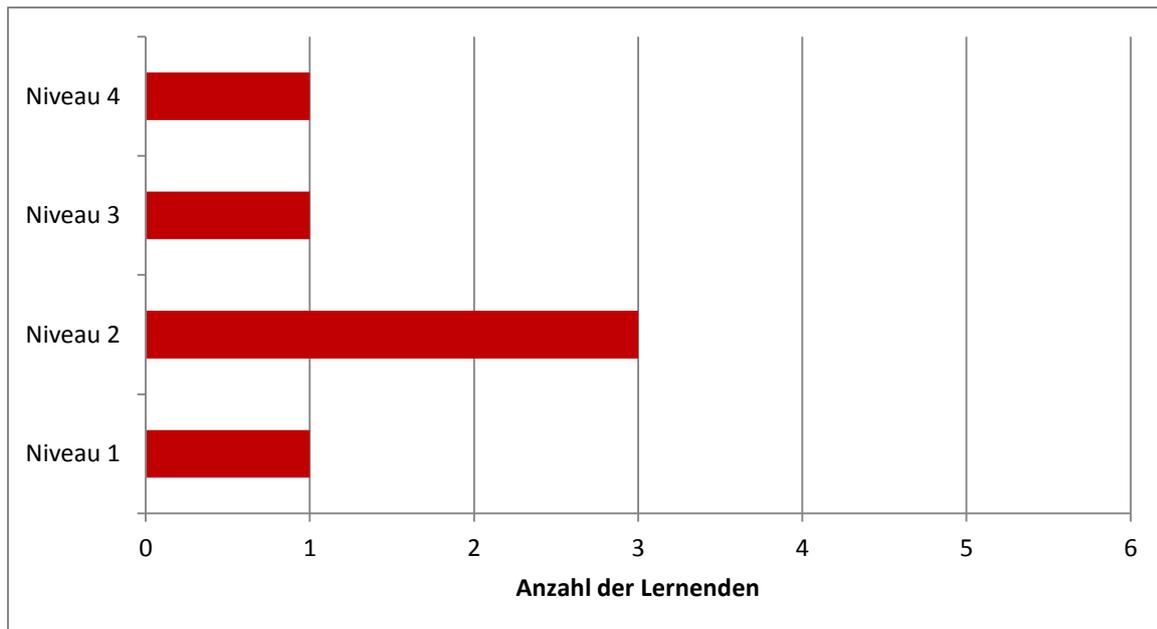


Abbildung 41: Einteilung der teilnehmenden Lernenden in die Niveaustufen

In Abbildung 39 ist zunächst zu erkennen, dass sich wesentlich mehr SchülerInnen der nicht teilnehmenden Gruppe für die neutralweiße LED entschieden. Die neutralweiße Leuchtdiode stellt ein durchaus effizientes Leuchtmittel dar und ist auch eine legitime Wahl für eine Balkonbeleuchtung, allerdings implementiert dieses Ergebnis auch, dass die Lichtverschmutzung in diesem Fall nicht berücksichtigt wurde, da die warmweiße LED diesem physikalischen Phänomen besser entgegenwirkt. Obwohl sich auch ein Schüler der teilnehmenden Gruppe für das neutralweiße Leuchtmittel entschied, ist bemerkbar, dass die restlichen TeilnehmerInnen die warmweiße Leuchtdiode auswählten.

Der Vergleich zwischen der Einteilung in die Niveaustufen der teilnehmenden und nicht teilnehmenden Lernenden zeigt deutlich, dass sich die Interventionsgruppe auf einem höheren Bewertungskompetenzniveau befindet, also die Gruppe, die nicht an dem entwickelten Unterrichtskonzept teilnahm. Die Differenzen der zwei Gruppen machen sich vor allem durch die Anzahl der relevanten Argumente und deren Ausformulierung bemerkbar. Die nicht teilnehmenden Lernenden konnten maximal zwei relevante Kriterien in ihren Argumentationen unterbringen, wobei diese zumeist den Preis und die Helligkeit betrafen. Dabei wurden die Argumente hauptsächlich auf Alltagsvorstellungen basiert, wie zum Beispiel, dass die neutralweiße LED höchstwahrscheinlich billiger ist und dass die höhere Lumenanzahl besser für die Umwelt ist. Im Gegensatz dazu waren die teilnehmenden Lernenden außer einer in der Lage drei Blickpunkte zu nennen, die ihre Entscheidung unterstützen. Dabei wurden Aspekte, wie zum Beispiel die Beleuchtungsstärke in Form des Helligkeitsbegriffs, die Spektralkomponenten des Leuchtmittels und der

Energieverbrauch, in Betracht gezogen. In beiden Gruppen wurden die Argumente zumeist jedoch nicht vollkommen dokumentiert und nur stichwortartig begründet, wobei die angefügten Aspekte der TeilnehmerInnen auch auf physikalischen Befunde und nicht Spekulationen beruhten. Nur zwei Schüler der gesamten Klasse dokumentierten die Unterstützung der Entscheidung vollkommen, weshalb sich diese auch über dem Kompetenzniveau 2 befinden. Einer von diesen wendete zusätzlich die kompensatorische Entscheidungsstrategie an, indem er Vergleiche zwischen den beiden Leuchtmitteln aufstellte und sowohl Stärken und Schwächen seiner Entscheidung in der Argumentation berücksichtigte.

In der nächsten Tabelle werden nochmals die Gesamtergebnisse der einzelnen TeilnehmerInnen dargelegt um einen Überblick über alle Resultate zu schaffen. Dabei werden folgenden Resultate aufgelistet:

- Einschätzung zum Selbstkonzept zur Physik
- Prozent der erreichten Punkte im Wissenstest zur geometrischen Optik im Pretest
- Prozent der erreichten Punkte im Wissenstest zum Lichtspektrum im Pretest
- Eingeschätzte Niveaustufe am Tabletsbeispiel aus dem Pretest
- Erreichte Niveaustufe laut dem Außenbeleuchtungsbeispiel aus dem Pretest
- Erreichten Punkteanzahlen in den einzelnen Stationen der Unterrichtseinheit, sowie die gesamten erreichten Punkte aller Stationen zusammen
- Erreichte Niveaustufe nach dem Concept Cartoon
- Prozent der erreichten Punkte im Wissenstest zur Optik im Posttest
- Prozent der erreichten Punkte im Wissenstest zum Lichtspektrum im Posttest
- Erreichte Niveaustufe laut Leuchtmittelbeispiel aus dem Posttest

	SchülerIn 1	SchülerIn 2	SchülerIn 3	SchülerIn 4	SchülerIn 5	SchülerIn 6
Einschätzung beim Selbstkonzept zur Physik	3,7	1,7	1,7	2,0	2,0	2,0
Wissenstest zur geometrischen Optik Pretest	42,9%	42,9%	50,0%	71,4%	50,0%	50,0%
Wissenstest zum Lichtspektrum Pretest	50,0%	50,0%	66,7%	50,0%	100%	83,3%
Selbsteinschätzung Niveau Tablet Pretest	1	1	4	3	4	4
Erreichtes Niveau Außenbeleuchtung Pretest	1	1	1	2	1	1
Erreichte Punkte Station Beleuchtungsstärke	35,3%	47,1%	41,2%	47,1%	52,9%	52,9%
Erreichte Punkte Station Lampenfarbe	43,8%	50,0%	43,8%	37,5%	81,3%	81,3%
Erreichte Punkte Station Leuchtentyp	56,3%	71,9%	56,3%	65,6%	81,3%	75,0%
Gesamte erreichten Punkte der Stationen	45,1%	56,2%	47,0%	47,8%	72,0%	70,0
Ermittelte Niveaustufen laut Concept Cartoon	2	2	3	2	4	4
Wissenstest zur geometrischen Optik Posttest	50,0%	35,7%	57,1%	78,6,3%	57,1%	64,3%
Wissenstest zum Lichtspektrum Posttest	66,7%	50,0%	66,7%	66,7%	100%	50,0%
Erreichtes Niveau Leuchtmittelbeispiel Posttest	2	1	2	2	4	3

Tabelle 53: Überblick über die Ergebnisse der TeilnehmerInnen

Die Tabelle 53 zeigt sehr schön, dass sich fast alle SchülerInnen im Bezug auf die Bewertungskompetenz im Pretest und die erreichte Niveaustufe im Concept Cartoon verbessert, manche sogar sehr stark gesteigert haben. Nur SchülerIn 4 befand sich in beiden Fällen auf demselben Niveau, wobei er/sie sich schon im Vorhinein auf Stufe 2 befand. In Hinblick auf die erbrachten Leistungen und die erreichte Niveaustufe ist außerdem bei den meisten Lernenden erkenntlich, dass ein gutes Abschneiden bei den Stationen, tendenziell mit einer höheren Niveaustufe der Lernenden bezüglich der Bewertungskompetenz einhergeht. Dies ist vor allem an den Resultaten der SchülerInnen 5 und 6 ersichtlich, welche in den Stationen immer über 50% der Gesamtpunktzahl erreicht haben und auch auf die Stufe 4 des Göttinger Modells eingeteilt wurden. Aus diesen Ergebnissen kann man demnach schließen, dass das Verständnis der berücksichtigten physikalischen Konzepte eines bestimmten Sachverhalts ein wesentlicher Faktor für systematisches Vorgehen bei der Entscheidungsfindung ist.

Ein weiterer Punkt, welcher aus der Tabelle zu schließen ist, ist, dass das Selbstkonzept der SchülerInnen hinsichtlich Physik nicht immer mit den erbrachten Leistungen übereinstimmt. Jene, die sich als eher durchschnittlich einschätzten, erbrachten wirklich sehr gute Leistungen und auch bei SchülerIn 1 entsprechen die Ergebnisse nicht den Einschätzungen nach dem Selbstkonzept. Bei SchülerIn 1 sieht man, dass er/sie sich als ziemlich unbegabt für Physik einschätzt, doch die Resultate zeigen, dass er/sie sich in jeder Hinsicht nach der Unterrichtsintervention verbessert hat. Zusätzlich hat er/sie nicht schlecht im Pretest abgeschnitten und weist ein grundsätzliches Verständnis für physikalische Konzepte auf. Wie in Kapitel 5.1.1 schon kurz angemerkt, hängt die schlechte Selbsteinschätzung der SchülerInnen bezüglich Physik oftmals mit dem großen Respekt vor der Naturwissenschaft zusammen. Physik wird als äußerst komplex angesehen, weshalb sich viele nicht in der Lage fühlen, die physikalischen Prinzipien wirklich zu verstehen.

Ein weiteres positives Ergebnis, welches aus dem Vergleich zwischen den Resultaten aus dem Pre- und Posttest über den physikalischen Wissensstand der SchülerInnen erkennbar ist, äußert sich in der erhöhten Prozentzahl zur geometrischen Optik und zum Lichtspektrum. Fast alle TeilnehmerInnen erreichten in beiden Physikbereichen eine höhere Punktzahl als zuvor, was darauf hinweist, dass die Unterrichtsintervention im Großen und Ganzen einen positiven Effekt auf den Wissensbestand der SchülerInnen hatte. Im Gegensatz dazu wiesen die SchülerInnen der beforschten Gruppe, die nicht an der Intervention teilnahm, nur starke Verbesserungen zu den Fragen bezüglich der Streuung auf. In all den anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Lichtspektroskopie und der Lichtausbeute, war zu in den Ergebnissen

des Posttests zu erkennen, dass ihnen der das nötige Hintergrundwissen aus der Unterrichtsintervention vorenthalten blieb.

In Hinblick auf die Einstufung der Bewertungskompetenz nach der elften Frage im Posttest kann man auch erkennen, dass 50% der Lernenden das gleiche Ergebnis wie beim Concept Cartoon erzielten, und die anderen 50% um eine Stufe abstiegen. Des Weiteren ist anzumerken, dass das Concept Cartoon integraler Bestandteil der Intervention war und der Posttest mit Zeitverzögerung durchgeführt wurde. Bedenkt man allerdings, dass zwei der SchülerInnen die um eine Stufe sanken sich zuvor auf den Stufen 3 und 4 befanden, so ist das Ergebnis aus dem Posttest insgesamt immer noch sehr gut ausgefallen.

5.4. Auswertung der Think- Aloud Interviews

Die Interviews wurden mit Schülerin 1, Schülerin 4 und Schüler 6, welche an der Unterrichtseinheit teilnahmen, durchgeführt. Dabei fand ein Interview am 26.3.2015 und zwei am 27.3.2015 statt. Ursprünglich war maximal eine halbe Stunde für die Think- Alouds eingeplant, doch aufgrund der intensiven Betrachtung der SchülerInnen wurden jeweils etwa 45 Minuten dafür in Anspruch genommen. Alle drei Interviews fanden in den Räumlichkeiten des Kepler Gymnasiums Graz statt. Die Think-Aloud Interviews fanden mit einer weiteren Zeitverzögerung von zehn bzw. elf Tagen nach der Posttests statt, welche ein Woche nach der Intervention durchgeführt wurden. Diese Zeitverzögerung und der damit verbundene natürliche Vergessenseffekt darf bei der Auswertung der Ergebnisse nicht vernachlässigt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die für das Diplomarbeitenprojekt relevantesten Aussagen zur Bewertungskompetenz dargelegt und anschließend kurz analysiert. Dafür wird zuerst ein Ausschnitt aus den Think- Alouds demonstriert, in dem die zwei Entscheidungssituationen zwischen der Tablet- und dem Leuchtmittelbeispiel gegenübergestellt werden. Anschließend wird näher betrachtet, wie leicht es einer der Interviewten fiel, sich in die Rolle des Bürgermeisters hineinzuversetzen. Der nächste transkribierte Ausschnitt der Think-Aloud Interviews bezieht sich auf das gesamt entwickelte und durchgeführte Unterrichtskonzept. Dabei wird darauf geachtet, ob die SchülerInnen verstanden haben, worum es in der Intervention abgesehen von der Vermittlung von physikalischem Wissen noch ging.

Die angewandten Regeln bei der Transkription orientieren sich an jenen der einfachen Transkription, welche auch *im Praxisbuch Interviews, Transkription und Analyse* von Dresing

und Pehl (2013) vorgestellt werden. Dabei wird die Sprache stark geglättet, womit gemeint ist, dass Dialekte oder Akzente nicht übernommen werden. Auch Lückenfüller wie zum Beispiel „ähm“ werden nicht transkribiert. Pausen werden mit drei Punkten in einer runden Klammer und ausgelassene Stellen mit drei Punkten in einer eckigen Klammer gekennzeichnet. Der Interviewer wird mit einem I abgekürzt, die einzelnen befragten SchülerInnen mit S1, S4 und S6.

Exzerpt 1:

09: 13: I: Nachdem du nun die zwei Entscheidungssituationen durchdacht hast, was war für dich anders?

09:14: S1: Also, beim Leuchtmittel weiß ich jetzt das mit dem Blauen und das Ganze. Wenn ich das nicht gewusst hätte, hätte ich anders reagiert. Dann wäre ich in das Geschäft gegangen und hätte gesagt, wofür ich das Licht brauche. Und dann hätte ich es gekauft. Jetzt denk ich mehr darüber nach. Weil ich ja mehr Typen von den Leuchtmittel kenn und weil ich ungefähr weiß, was gut ist und was nicht gut ist.

10:28 I: Welche Entscheidung war für dich leichter?

10:30: S1: Die mit dem Tablet. Weil das kauf ich einfach, so auf die Art. Beim Leuchtmittel weiß ich viel mehr und muss mehr darüber nachdenken. Das ist anstrengend.

12:45: I: Welche Entscheidungsstrategie macht für dich am meisten Sinn?

12:47: S1: Die dritte (...) weil da informiert man sich halt ein bisschen darüber und dann ist man aber auch mit der Entscheidung zufrieden, also, man weiß, worauf man sich einlässt. Also, es ist halt anstrengender, aber es macht schon viel mehr Sinn, weil man wahrscheinlich nicht unzufrieden ist, wenn man vorher recherchiert.

Aus diesem Interviewausschnitt ist ersichtlich, dass je mehr Wissen über eine bestimmte Thematik verfügbar ist, desto mehr wird das Bewertungsverhalten beeinflusst. Wäre bei SchülerIn 1 das Vorwissen über die verschiedenen Beleuchtungsmöglichkeiten nicht vorhanden gewesen, dann hätte sie nach dem Entscheidungsschema auf Niveaustufe 1 gehandelt. Doch da die Lernende auf Basis des vermittelnden Wissens mehr über das Produkt weiß, werden mehrere Kriterien bei der Entscheidung berücksichtigt, was nicht mehr

auf ein rein intuitives Verhalten schließen lässt. Zusätzlich wird hier erläutert, dass auf Grund des verstandenen Sachverhalts, die Entscheidung für ein Leuchtmittel schwerer fällt, als für ein Tablet. Hier ist erkennbar, dass die Komplexität von Alltagsentscheidungen, vor allem was elektrische Geräte betrifft, oft noch nicht realisiert wird, obwohl auch diese ebenfalls einen großen Einfluss auf die Umwelt haben können.

Auch Schüler 6 hat in den Think- Alouds einen ähnlichen Wortlaut wiedergegeben und erläutert, dass die Entscheidung für ein Tablet leichter fällt, da hier nur oberflächliche Punkte, wie beispielsweise das Design, die verfügbaren Apps und die Leistung, eine wichtige Rolle spielen, aber keine physikalischen Konzepte dahinter stecken.

Exzerpt 2:

10:23: S6: Ich glaube, dass das mit dem Tablet leichter ist (...) weil man es eben nicht unbedingt braucht, sowie bei der Lampe. Und weil man die eben auch braucht, dass man schon auch schaut, dass man das Richtige kauft. Wobei (...) ich glaub das mit dem Tablet fällt mir auch leichter, weil nicht so viele physikalische Sachen dahinter stecken, wie bei der Lampe.

Im Gegensatz dazu beschreibt Schülerin 4, dass für sie die Entscheidung mit dem Tablet viel komplexer sei, da es mehr Funktionen beinhaltet, als ein Leuchtmittel. Die Befragte bezieht sich in ihrer Aussage jedoch hauptsächlich auf Funktionalitäten der erwähnten Geräte und nicht so sehr auf die physikalischen Hintergründe, welche in der Intervention bearbeitet wurden.

Exzerpt 3:

12.42: S4: Naja, irgendwie beim Tablet, das ist irgendwie viel komplexer. Und beim Leuchtmittel, das ist irgendwie nur eine Glühbirne, da ist es eben, dass wenn ich eines find, das gut für mich ist, dann nehm ich die gleich, weil eigentlich hängt die nur draußen und ich schalte sie aus und ein. Beim Tablet mit dem mach ich ja täglich was und da würde ich schon ganz gerne was ganz, ganz Gutes haben und deswegen wiege ich die Dinge noch gegeneinander ab und habe eine große Auswahl.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass in Exzerpt 1 Schülerin 1 in Minute 12:47 erkennt, dass mit Hilfe von strategischem Vorgehen die Folgeerscheinungen von einer Entscheidung abgeschätzt und in den Prozess eingebunden werden können. Die Sinnhaftigkeit von systematischem Vorgehen und das Abschätzen von Konsequenzen beim Treffen von wichtigen Entscheidungen werden demnach realisiert und akzeptiert.

Zusammenfassend ist aus diesen Exzerpten ersichtlich, dass ohne konkretes Wissen über ein Produkt keine begründete Entscheidung getroffen wird, sondern rein intuitiv gehandelt wird. Doch obwohl die systematische Vorgehensweise als komplexer und intensiver empfunden wird, erkennen die Lernenden die Vorteile die durch solch ein Vorgehen gezogen werden können. Die Ergebnisse dieses Interviewabschnitts spiegeln zusätzlich die Resultate aus der Einheit und den Fragebögen wider, in welchen ebenfalls erkenntlich ist, dass das sich die Verarbeitung von inhaltlichem und fachwissenschaftlichem Wissen positiv auf die Bewertungskompetenz auswirkt.

Da bei der Gewichtung der Bewertungstabelle ein paar Ungereimtheiten bezüglich des Rollenspiels aufgetreten sind, wurde in den Think- Alouds nochmals auf diese eingegangen.

Exzerpt 4:

24:53: I: Ok. Wie würdest du diese Kriterien aus Sicht des Bürgermeisters gewichten?

26:24: S4: [...] Investitionskosten, ja, das sind wieder diese Kosten. Wenn ich jetzt Bürgermeister bin, würde ich mich schon sehr freuen, wenn es weniger ist. Aber kommt halt trotzdem auf die Qualität an, deswegen gebe ich da sogar eher einen Zweier. Ja, die jährlichen Stromkosten, die sind natürlich wieder die Kosten des Bürgermeisters. Und, wenn ich aber eine habe mit einer guten Lichtausbeute, mit weniger Energie, dann sind auch die Stromkosten weniger. (...) Eins, Zwei oder Drei, naja, wenn ich Bürgermeister bin und trotzdem noch Geld für die Gemeinde haben will, dann würde ich eher einen Dreier geben.

30:39: I: Wo liegen die Unterschiede zwischen deiner persönlichen Gewichtung und der aus Sicht des Bürgermeisters?

30:40: S4: Eben bei den Investitionskosten, weil, wenn ich jetzt nur eine Lampe habe, dann achte ich schon darauf, dass ich weniger ausbebe, als einer der halt schon auch mehr auf die Qualität achtet, weil sich die Leute irgendwie aufregen, dass sie den Sternenhimmel nicht sehen können. Da schau ich halt eher auf die Investitionskosten. Auch bei den jährlichen Stromkosten achte ich nicht so sehr darauf, wie einer der eine gesamte Stadt beleuchten muss und zahlen muss dafür.

31:32: I: Welche Gewichtung entspricht eher deiner aus der Unterrichtseinheit?

31:33: S4: (...) Ja, also, es ist eher so eine Mischung. Bei den Investitionskosten ist es immer so ein bisschen drinnen. Und bei den anderen Kriterien hab ich damals halt viel gegeben, weil der Bürgermeister eher auf die Lichtverschmutzung geschaut hat, und nicht auf die Kosten. Also, glaube ich halt. Deswegen habe ich auch die jährlichen Stromkosten in der Einheit mit ein gewichtet.

33:17: I: Wenn es um komplexe Entscheidungen geht, macht es für dich Sinn in eine andere Rolle zu schlüpfen?

33:20: S4: Ja, weil für jeden die Situation anders ist und jeder hat seine eigenen Aufgaben, also als Bürgermeister hat man andere Aufgaben als jetzt ein Bürger. Also, sieht der das anders. [...] Das ist einfach wichtig um andere zu verstehen. Also, warum sie was sagen oder warum sie das jetzt so gemacht haben.

Dieses Exzerpt bestätigt den Verdacht, der auch schon bei der Auswertung der Bewertungstabelle aufgekommen ist, nämlich, dass die SchülerInnen beim Ausfüllen der Bewertungstabelle sehr beeinflusst vom verarbeiteten Input der Einheit waren. Sie haben zwar versucht aus der Sicht des Bürgermeisters/ der Bürgermeisterin zu gewichten, waren jedoch der Ansicht, dass die Vorbeugung der Lichtverschmutzung eine höhere Priorität in diesem Fall aufweist, als die Kosten. Denn im Gegensatz zu der Gewichtung, die direkt nach der Unterrichtintervention stattfand, gewichteten alle interviewten SchülerInnen die Investitionskosten während der Think-Alouds mit zwei oder drei und die jährlichen Stromkosten durchwegs mit drei. Des Weiteren ist aus dem Ausschnitt mit Schülerin 4 in Minute 30:40 erkenntlich, dass die Schülerin der Ansicht ist, dass umweltgerechtes Handeln vor allem in der Verantwortung jener Menschen liegt, deren Entscheidungen Einfluss auf größere Städte oder Gebiete hat. Beim Kauf eines einzelnen Leuchtmittels achtet die Lernende demnach zunächst auf das Preis- Leistungsverhältnis und nicht vorrangig auf den Beitrag zur Lichtverschmutzung.

Der letzte bemerkenswerte Aspekt betrifft die Einsicht, dass Rollenspiele bei dem Prozess einer komplexen Entscheidungsfindung definitiv Sinn machen. Dieser Ansicht sind ebenfalls alle interviewten TeilnehmerInnen. In der Antwort aus Minute 33:20 impliziert die Schülerin, dass sich die Aufgabenbereiche von verschiedenen Arbeitsfeldern voneinander unterscheiden und deswegen verschiedene Perspektiven zu demselben Problem entstehen. Generell wird von den SchülerInnen erkannt, wie wichtig es ist, sich in die Rolle eines anderen hineinzuversetzen um diesen zu verstehen und dessen Sichtweise in die

Entscheidungsfindung einfließen zu lassen. Die folgenden Zitate illustrieren die Einstellung zum Perspektivenwechsel bei komplexen Entscheidungen der Schülerin 1 und des Schülers 6.

Exzerpt 5:

Schülerin 1:

34:28: I: Soll ein Perspektivenwechsel in eine Entscheidungsfindung mit einbezogen werden?

34: 32: S1: [...]Es sollt schon mit einbezogen werden. Vor allem wenn es um eine Entscheidung geht, die viele betrifft.

Schüler 6:

27:43: I: Wenn es um Entscheidungen geht. Macht es aus deiner Sicht überhaupt Sinn, sich in die Rolle einer anderen Person zu versetzen?

27:46: S6: Ja, schon. Weil ich finde man muss halt versuchen andere Meinungen zu hören und dann ja, so verstehen, warum die das jetzt so wollen, zum Beispiel. Jetzt eh als Bürgermeister in die Rollen der Bürger zu versetzen, die jetzt vielleicht doch hellere wollen, wegen der Kriminalität zum Beispiel und so.

Auch Anhand dieser zwei Zitate ist zu erkennen, dass in Summe gesehen die SchülerInnen den integrierten Perspektivenwechsel bei der Entscheidungsfindung als äußerst sinnvoll betrachten, vor allem, wenn die Entscheidung mehrere Personen betrifft.

Um zu erfassen, ob die SchülerInnen die Sinnhaftigkeit bezüglich der Bewertungskompetenz während der Unterrichtsintervention erkannt haben, wurde zum Schluss des Interviews eine konkrete Frage zu diesem Thema gestellt.

Exzerpt 6:

34:28: I: Was kann man aus deiner Sicht bei so einer Einheit noch lernen außer Physik?

34: 32: S6: Ja, eben wie man Entscheidungen trifft. Wie man sich in die Rolle von anderen versetzen kann und anhand von dem auch lernt, wie man Entscheidungen besser treffen kann, als wie wenn man jetzt aus dem Bauch heraus entscheidet. Besonders wichtig ist eben das Vergleichen von Vor- und Nachteilen eben gewesen und das man halt ein paar Sachen hinterfragt und nicht immer einfach so hinnimmt. Das kann einem auch im Alltag wirklich weiterhelfen.

35:07: I: Glaubst du, man kann das strategische Vorgehen bei Entscheidungen trainieren?

35:09: S6: Ja, also, das Grundlegende schon. Also, aber es ist halt so, es können schon noch andere Sachen darauf einwirken. Aber Grundlegendes, ja. also ich glaube, dass eigentlich jeder das individuell von sich aus entscheidet halt, und es spielen halt immer auch noch andere Faktoren mit. Also, wenn man die Schule wechselt zum Beispiel. [...] also, findest du vielleicht emotional, dass das andere vielleicht doch besser funktioniert, als das, was rational besser wäre, dann entscheidest du dich aus der Emotion heraus. Also, ich find, das muss man halt immer individuell betrachten.

37:19: I: Aber findest du, dass es Vorteile hat, bei komplexen Entscheidungen strategisch vorzugehen?

37:21: S6: Ja, schon. Weil da verlässt man sich, sozusagen, nicht nur auf das Schicksal, wenn man halt einfach irgendetwas nimmt, sondern man weiß dann halt, worauf man sich einlässt. Und dann, ja, wenn man halt einfach zufällig was nimmt und dann wäre das andere besser gewesen. Aber so weiß man das halt schon im Vorhinein. Und man soll sich ja bei ein paar Sachen schon auch informieren, was für die Umwelt besser ist.

Aus diesem Teil des Interviews ist ersichtlich, dass der Schüler zwar die Meinung vertritt, dass das Anwenden einer Entscheidungsstrategie in bestimmten Kontexten Sinn macht, aber in emotionalen Situationen nicht oder nur eingeschränkt angewendet wird. Dies impliziert, dass die SchülerInnen womöglich noch nicht in der Lage sind subjektive und

emotionale Aspekte im Prozess der Entscheidungsfindung auszuschließen, was ein wichtiger Punkt der Teilkompetenz „Kennen und Verstehen von Werten und Normen“ darstellt. Zwar erläutert Schüler 6 in Minute 35:09 ein Beispiel, das kein umweltgerechtes Handeln mit sich zieht, dennoch gibt die Antwort Hinweise darauf, dass sich SchülerInnen oft dazu verleiten lassen, ihre Emotionen über ihre Rationalität bei Entscheidungen zu stellen. Dies könnte sich dann auch auf den Kauf von gewissen Produkten auswirken, bei denen dann die Präferenz für ein bestimmtes Aussehen und die Kosten anstatt die ökologischen Konsequenzen bevorzugt werden, wie zum Beispiel beim Kauf eines Autos, Lebensmittel oder anderweitigen elektrischen Geräten. Auch Schülerin 1 hat in ihrem Interview angemerkt, dass systematisches Vorgehen bei emotionalen Entscheidungen eher nicht trainierbar ist.

Exzerpt 7:

43:49: I: [...]Glaubst du man kann ein strategisches oder halt systematisches Entscheidungen Treffen trainieren? [...]

44:01: S1: Also, ich weiß nicht. Das geht wahrscheinlich in vielen Situationen so, aber bei ganz vielen anderen nicht. Also, bei sowas geht das, aber bei einer Herzensangelegenheit (...) oder ich weiß nicht, aber bei solchen, ja, verschiedenen Dingen listet man das einfach auf.

Äußerst positiv ist, dass Schüler 6 in Exzerpt 6 die Förderung der Bewertungskompetenz aus der Unterrichtsintervention als auch sehr hilfreich für den Alltag ansieht. Vor allem der Vorteil, dass nach einer intensiveren Recherche die Konsequenzen einer Entscheidung zu einem gewissen Grad abgeschätzt werden können, wird von allen SchülerInnen, die interviewt wurden, hervorgehoben. Um dies zu demonstrieren, werden nun Zitate von Schülerin 1 und 4, die diese Feststellung unterstreichen, angegeben.

Exzerpt 8:

Schülerin 1

44:36: I: Und glaubst du, es hat Vorteile Entscheidungen strategisch zu treffen?

44:38: S1: Ja.

44: 39: I: Welche Vorteile wären das zum Beispiel?

44:40: S1: Ja, dass man sich dann bewusst (...),wenn man das einfach so (...) wenn ich das alles nicht gewusst hätte, hätte ich einfach eine ausgewählt. Und hätte mich damit nicht befasst. Und so weiß ich erstens über die drei Typen Bescheid und kann auch sagen, warum ich die genommen habe.

Exzerpt 9:

Schülerin 4 bei der Analyse der unterschiedlichen Entscheidungsoptionen. In diesem Zitat erläutert sie wesentliche Eigenschaften der vierten Handlungsoption:

02:56: S4: Wenn ich halt wirklich für eine bestimmte Situation das brauch, wenn ich ins Geschäft gehe und das Tablet auswähle, was mir am besten gefällt, dann ist es eigentlich so, dass ich mich nachher vielleicht aufregen werde, dass es nicht das ist, was ich will.

Der folgende Ausschnitt stammt aus dem Bereich des Interviews, der die offenen Fragen beinhaltete.

43:04: I: Glaubst du, man kann das systematische oder strategische Treffen von Entscheidungen trainieren?

43:06: S4: Ich glaube schon.

43:08: I: Ok, glaubst du, das hat Vorteile? [...] Welche?

43:15: S4: Man weiß haargenau, was man braucht, was es kann und was es beinhaltet und keine Ahnung, wenn man jetzt den Leuchtentyp hernimmt, wie lange er halten wird. Also, solche Daten die man sonst nicht weiß.

Zwar verbalisiert Schülerin 1 in Exzerpt 8 nicht direkt, dass das Abschätzen von Konsequenzen ein Vorteil von systematischem Vorgehen bei der Entscheidungsfindung ist, doch auch sie impliziert, dass die Entscheidung begründeter und fundierter ist, wenn mehr Wissen über ein Produkt zur Verfügung steht. Durch die intensive Auseinandersetzung mit wesentlichen Informationen zu einem Produkt können demnach böse Überraschungen vermieden werden. Diese Sichtweise wird auch in den oben angeführten Zitaten von Schülerin 4 widerspiegelt.

Des Weiteren wird in dem Exzerpt 6 mit Schüler 6 in Minute 34:32 das Rollenspiel wieder damit assoziiert, dass ein Perspektivenwechsel dabei hilft, andere Sichtweisen zu verstehen und basierend auf diese zu einer Entscheidung zu kommen. Ein zusätzlicher Aspekt, der ebenfalls in Minute 34:32 bedacht wird, ist das rekursive Reflektieren über die Sachinformationen und das auflisten von Vor- und Nachteilen, welches auch als nützlich für alltägliche Entscheidungen von diesem Schüler empfunden wurde.

Grundsätzlich ist aus den Think-Alouds ersichtlich, dass die Interviewten erkannten, worum es in der Unterrichtsintervention außer dem Vermitteln von physikalischen Konzepten ging und erweckten den Eindruck, dass das systematische Vorgehen bei der Entscheidungsfindung in gewissen Kontexten für sie als sehr sinnvoll erscheint. Vor allem die Einschließung verschiedener Perspektiven aus unterschiedlichen Arbeits- und Gesellschaftsbereichen erweist sich für die Befragten als äußerst sinnvoll beim Treffen von Entscheidungen, vor allem, wenn diese mehrere Personen und größere Gebiete betreffen. Außerdem ist erkennbar, dass fundiertes Hintergrundwissen über die für die Lernenden relevanten Kriterien eines Produkts zu einer begründeteren Entscheidung der SchülerInnen führt.

6. Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse zur Förderung der Bewertungskompetenz der SchülerInnen nochmals im Überblick diskutiert und explizit darauf hingewiesen, welche Überarbeitungen am Material vorgenommen werden sollten und für eine Implementierung dieses Konzepts im realen schulischen Kontext berücksichtigt werden müssen. Da die Überarbeitung des Materials nicht Teil dieses Diplomarbeitsprojekts ist, wurden nur die Aufgabenstellungen verbessert, jedoch nicht das gesamte Material neu aufbereitet.

Grundsätzlich geht aus den Ergebnissen hervor, dass die Unterrichtsintervention einen positiven Einfluss auf das Sachwissen der teilnehmenden SchülerInnen in Bezug auf Lichtverschmutzung als auch auf die Bewertungskompetenz ausübte. Der Pretest zeigte, dass sich fast die gesamte Klasse zunächst auf dem gleichen Bewertungskompetenzniveau der Stufe 1 befand und sie auch im Hinblick auf das Verständnis zur geometrischen Optik und zu Lichtspektren ein ähnliches Kompetenzniveau erreichten. Im Gegensatz dazu waren die TeilnehmerInnen an der Unterrichtseinheit beim Posttest besser in der Lage, relevante Blickpunkte und Argumente in ihre Entscheidungsfindung bezüglich des Leuchtmittels einzubinden, als jene Lernende, die nicht an der außerschulischen Intervention beteiligt waren. Des Weiteren zeigten die Resultate des Posttests, dass sich die teilnehmenden SchülerInnen in manchen Bereichen der geometrischen Optik, wie zum Beispiel der Streuung, deutlich verbesserten. In Bezug auf die Fragen zum Lichtspektrum konnte nur bei manchen eine starke Verbesserung vermerkt werden, bzw. entstand bei ein paar SchülerInnen ein Konzept zur Entstehung der Lichtfarbe, das nicht vollständig mit gängigen physikalischen Konzepten übereinstimmt. Auf diese wird im übernächsten Absatz näher eingegangen. Im Vergleich dazu konnte bei den nicht TeilnehmerInnen kein großer

Unterschied zwischen dem Pre- und Posttest wahrgenommen werden, weder bezüglich der Bewertungskompetenz noch des physikalischen Fachwissens.

Aus den Resultaten zur Unterrichtsintervention, sowie auch den Interviews, geht zunächst hervor, dass die Gestaltung des Unterrichtskonzepts von den SchülerInnen wohlwollend akzeptiert und anerkannt wurde. Das weist darauf hin, dass die Vermittlung von Fachwissen eingebettet in ein Konzept zur Förderung der Bewertungskompetenz sich auch sehr gut im realen schulischen Kontext verwenden lässt. Aus den Ergebnissen der einzelnen Stationen ist erkenntlich, dass die erstellten Bewertungsaufgaben zum Schluss jeder Station den SchülerInnen sehr gut dabei halfen, das erworbene Wissen nochmals zu reflektieren und in ihre Entscheidungsfindung einfließen zu lassen. Auch die Bewertungstabelle erweist sich als höchst hilfreiche Methode zur Reflektion über die gesamten relevanten Kriterien am Ende der selektionalen Phase des Entscheidungsprozesses. Somit stellen die entwickelten Bewertungsaufgaben eine förderliche Fundierung für den Erwerb von Bewertungsstrukturwissen dar. Aus dem Concept Cartoon ist dann erkennbar, dass alle TeilnehmerInnen nach Absolvierung des Unterrichtskonzepts zumindest zwei relevante Kriterien für ihre Entscheidungsfindung berücksichtigten und zwei von den SchülerInnen sogar die höchste Stufe der Bewertungskompetenz unter Verwendung der kompensatorischen Entscheidungsstrategie erreichten.

Im Hinblick auf die Vermittlung vom Fachwissen während der Einheit kann an den Ergebnissen erkannt werden, dass die Zeit von zwei Stunden nicht ausreicht einen Konzeptwechsel bei den SchülerInnen derart zu initiieren, dass sie die fachlichen Konzepte vollständig beherrschen. Grundsätzlich wurden die physikalischen Prinzipien der spektralen Zusammensetzung, der Ausbreitung und Reflexion des Lichts und der Beleuchtungsstärke zwar verstanden, dennoch bedarf es einer intensiveren Auseinandersetzung mit den fachwissenschaftlichen Inhalten vor und nach der Unterrichtsintervention, damit die Konzepte auch wirklich verinnerlicht werden. So wäre es beispielsweise für die reale Implementation des entwickelten Konzepts hilfreich, sich mit den SchülerInnen schon im Vorhinein mit der Lichtverschmutzung und den damit zusammenhängenden relevanten Thematiken der spektralen Zusammensetzung, Reflexion, Ausbreitung und Streuung des Lichts, sowie mit dem Begriff der Beleuchtungsstärke auseinanderzusetzen. Die Farbenlehre und die physiologischen Aspekte zur Wahrnehmung von Farben würden sich hingegen zur Nachbearbeitung anbieten, da diese eine wichtige Rolle bei den Konsequenzen der Lichtverschmutzung spielen. Generell bietet der Kontext der Lichtverschmutzung eine ideale Grundlage für die Entwicklung einer ganzen Lehrsequenz im Physikunterricht, in der die Förderung der Bewertungskompetenz als eines der Ziele, welches während der Sequenz verfolgt wird, gilt.

Ein weiteres Thema, welches in einer Vor- bzw. Nachbesprechung nicht vernachlässigt werden darf, repräsentieren die entstanden Schülervorstellungen aus der Unterrichtseinheit. So wäre es zum Beispiel nochmals unbedingt notwendig, das Sender- Empfänger-Modell beim Sehprozess zu besprechen, da bei der Station der Beleuchtungsstärke bei einem/r SchülerIn der Eindruck entstanden ist, dass man auch ohne Licht sehen kann. Auch die spektrale Verteilung der Lichtintensitäten im Spektrum, welches maßgeblich dazu beiträgt, welche Farbe wahrgenommen wird, sollte nochmals mit den SchülerInnen bearbeitet werden. Liegt der Großteil des emittierten Lichtes deutlich in einem bestimmten Wellenlängenbereich, so nimmt man auch die zu der Wellenlänge dazugehörige Farbe wahr, auch wenn sich geringe Lichtemissionen in anderen Wellenlängenbereichen befinden. Das Licht wird also nicht mehr als sonnenähnliches, weißes Licht empfunden.

Die Analyse der Ergebnisse zu den verschiedenen Stationen ergab des Weiteren, dass mehrere Aspekte bei der Umsetzung des Unterrichtskonzepts nochmals genauer durchdacht werden müssen. Zuerst wäre es notwendig, den SchülerInnen zur Station der Lampenfarbe einen Text vorzubereiten, in dem die Stärken und die Schwächen aller Leuchtmittel gleichwertig behandelt werden. Die Lernenden sollten dann in der Lage sein, für alle Leuchtmittel Vor- und Nachteile aufzulisten. Bei der Station zur Beleuchtungsstärke sollte immer wieder betont werden, dass das Luxmeter immer im gleichen Abstand und Winkel zur Lichtquelle platziert werden muss, damit die Messergebnisse auch vergleichbar miteinander sind. Diese Information wurde auch im Nachhinein in die Aufgabenstellung hinzugefügt. Weiters ging bei der Durchführung des Experiments zur Reflexion an Spiegeloberflächen hervor, dass die gleichzeitige Verwendung von zwei Lichtstrahlen von Vorteil ist. Dazu wird einfach eine Schablone mit zwei Spalten vor die Öffnung der optischen Leuchte gehalten. Dadurch skizzieren die SchülerInnen automatisch zwei Lichtstrahlen und nicht nur einen. Auch diese Zusatzinformation wurde bereits in den Unterrichtsmaterialien übernommen.

In Summe gesehen war die Planung, Entwicklung und Durchführung des erstellten Unterrichtskonzepts zur Förderung der Bewertungskompetenz unter den gegebenen zeitlichen Voraussetzungen äußerst erfolgreich. Die Resultate zeigen, dass sich die Unterrichtsintervention fördernd auf die Bewertungskompetenz der TeilnehmerInnen auswirkte und auch der bearbeitete Sachverhalt zur Lichtverschmutzung großteils verstanden und verinnerlicht wurde. Aufgrund dessen bildet das entwickelte Material eine sehr gute Grundlage für eine längere Lehr- und Lernsequenz zur Förderung der Bewertungskompetenz im Kontext der Lichtverschmutzung.

7. Fazit

Bei der Planung zum Unterrichtskonzept stellte sich heraus, dass sich das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz und die Didaktische Rekonstruktion hervorragend als theoretische Fundierung für die Entwicklung einer Lehrsequenz, die sich mit der Förderung der Bewertungskompetenz beschäftigt, eignen. Das Göttinger Modell bietet dabei den benötigten Einblick in die elementaren Prozesse bei Entscheidungsfindungen, als auch die detaillierte Beschreibung der Teilkompetenzen, welche gefördert werden können. Die Didaktische Rekonstruktion hingegen liefert wichtige Hilfestellung zur Analyse des zu vermittelnden Fachwissens und hilft den Lehrkräften dabei die elementaren Konzepte eines Themas herauszuarbeiten und diese anschließend unter Berücksichtigung der Schülerperspektive fachdidaktisch für den Gebrauch im Unterricht zu rekonstruieren.

In Hinblick auf die entwickelte Unterrichtsintervention ging aus den Resultaten der Stichprobe im Concept Cartoon und dem Posttest hervor, dass die Bewertungskompetenz der teilnehmenden Lernenden zumindest kurzfristig gefördert wurde. Die Aufgaben zum Erwerb des Bewertungsstrukturwissens am Schluss jeder Station, die Bewertungstabelle und das Concept Cartoon halfen besonders dabei die Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“, welche einen fundamentalen Bestandteil der selektionalen Phase darstellt, effektiv zu fördern. Die Teilkompetenz „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ konnte allerdings nur teilweise im Unterrichtskonzept unterstützt werden, da nicht die vollständige präselektionale Phase und somit auch das eigenständige Generieren von Sachinformationen in der Einheit durchlaufen wurde. Nichtsdestotrotz wurde über alle vorgegebenen Informationen zur Lichtverschmutzung mehrmals während der Intervention reflektiert, weshalb zumindest ein Teilaspekt dieser Kompetenz berücksichtigt wurde.

Unter Berücksichtigung des zeitlichen Rahmens der Unterrichtsintervention und der beinahe gänzlichen Ausschließung der präselektionalen Phase des Entscheidungsprozesses kann man demnach schließen, dass sich das entwickelte Konzept kurzfristig äußerst fördernd auf die TeilnehmerInnen auswirkt und somit eine sehr gute Grundlage für eine längere Unterrichtssequenz bildet. Für die längerfristige und nachhaltige Förderung der Bewertungskompetenz ist allerdings eine intensivere Auseinandersetzung mit den physikalischen Inhalten, als auch das Durchlaufen der kompletten präselektionalen Phase, sowie der selektionalen Phase im Entscheidungsprozess nötig.

8. Literaturverzeichnis

- Aubrecht, G., 2012. Vorwort. In U. Streit & E. Schiller, eds. *Ist die Welt Rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung*. Linz: Oberösterreichische Landesmuseen Linz.
- Blumör, R., 1993. *Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik*, Spektrum akademischer Verlag.
- Bögeholz, S., 2013. Bewerten der Anwendung biologischer Erkenntnisse. *Fachdidaktik Biologie*, 9, pp.71–77.
- Bögeholz, S., 2007. Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen Nachhaltiger Entwicklung. In D. Krüger & H. Vogt, ed. *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung .Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin Heidelberg New York: Springer, pp. 209–220.
- Charters, E., 2003. The Use of Think-aloud Methods in Qualitative Research An Introduction to Think-aloud Methods. *Brock Education Journal*, 12(2), pp.68–82.
- Duit, R., 2004. Didaktische Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, pp.1–5.
- Eggert, S., Barford- Werner, I. & Bögeholz, S., 2008. Entscheidungen Treffen- Wie man vorgehen kann. *Unterricht Biologie*, 336, pp.13–18.
- Eggert, S. & Bögeholz, S., 2006. Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „ Bewerten , Entscheiden und Reflektieren “ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12(Kmk 2004), pp.177 – 197.
- Eggert, S., Bögeholz, S. & Barford- Werner, I., 2010. Eggert, Barford-Werner & Bögeholz (2010). *Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II..pdf*. In p. 231.
- Fehringer, I., 2013. Erstellung, Evaluierung und Re-Design von forschungsbasierten Unterrichtsmaterialien zum Thema Farbenlehre in der Sekundarstufe 1.
- Flick, U., von Kardorff, E. & Steinke, I., 2008. Was ist qualitative Forschung? Einleitung und Überblick. In *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Berlin: Rowohlt, pp. 13–29.
- Frey, A. et al., 2009. PISA 2006 Skalenhandbuch- Dokumentation der Erhebungsinstrumente.
- Hecht, E., 2002. *Optik* 4th ed., München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Hostenbach, J., 2011. *Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht* H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth, eds., Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH 2011.
- Hostenbach, J., Fischer, H.E. & Kauertz, A., 2011. Modellierung der Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften zur Evaluation der Nationalen Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, pp.261–288.

- Jung, W., 1979. *Optik für die Sekundarstufe 1*, Frankfurt am Main: Verlag Mortiz Diesterweg.
- Kabapinar, F., 2009. Effectiveness of teaching via concept cartoons from the point of view of constructivist approach. *Colección Digital Eudoxus*, 5(May), pp.135–147. Available at: <http://cimm.ucr.ac.cr/ojs/index.php/eudoxus/article/viewArticle/136>.
- Kattmann, U. et al., 1997. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion- Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3, pp.3–18.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P., 2001. *Physikdidaktik- Eine Einführung* 2nd ed., Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Knittel, C., 2013. *Eine Feldstudie zur Untersuchung der Förderung von Bewertungskompetenz - am Beispiel der Photovoltaik*, Freiburg.
- Kostenzer, M.J., 2003. *Die Helle Not: Künstliche Lichtquellen- ein unterschätztes Naturschutzproblem* 2nd ed., Wien: Wiener Umwelthanwaltschaft.
- Kunter, M. et al., 2003. *Pisa 2000- Dokumentation der Erhebungsinstrumente*, München: Waxmann.
- Lohmeyer, G., Bergmann, H. & Post, M., 2005. *Praktische Bauphysik- Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen* 5th ed., Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A., 2004. In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), pp.370–391.
- Menthe, J. et al., 2013. *Handeln in Zeiten des Klimawandels: Bewerten lernen als Bildungsaufgabe*, Münster: Waxmann Verlag.
- Ostermeyer, F., Eggert, S. & Bögeholz, S., 2012. Rein pflanzlich, dennoch schädlich? *Unterricht Biologie- Zeitschrift für alle Schulstufen*, 36, pp.43–50.
- Posch, T., 2013. Besser beleuchten- Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung. *Schutz der Nacht- Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, pp.43–46.
- Posch, T., 2014. Lichtverschmutzung als Thema im Schulunterricht. *Plus Lucis*, pp.20–22.
- Posch, T., Freyhoff, A. & Uhlmann, T., 2010. *Das Ende der Nacht- Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*, Weinheim: Wiley- VCH Verlag GmbH & Co.
- Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U., 2009. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. , 27(3), pp.404–414.
- Reinhold, P., 2006. Den Physikunterricht fundieren. In H. Mikelskis, ed. *Physikdidaktik- Praxishandbuch für die Sekundarstufe 1 und 2*. Berlin: Cornelsons Verlag Scriptor GmbH & Co. KG.
- Sturmbauer, S., 2013. Bewertungskompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Völker, S. & Krenz, P., 2013. Entwicklung von Maßzahlen für adaptive Beleuchtungssysteme. *Schutz der Nacht- Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, pp.87–90.

Wiesner, H., 1995. Physikunterricht- an Schülervorstellungen von Lernschwierigkeiten orientiert. *Unterrichtswissenschaft*, 23, pp.127–145. Available at: http://www.pedocs.de/volltexte/2013/8125/pdf/UnterWiss_1995_2_Wiesner_Physikunterricht_an_Schuelervorstellungen.pdf.

Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt, D., 2011. *Unterricht Physik- Band 1: Optik 1: Lichtquellen, Reflexion* 3rd ed., Aulis Verlag.

Young, K. a., 2005. The value of “think-aloud” data in understanding learning. *Journal of Educational Enquiry*, 6(1), pp.19–33.

Internetquellen

Österreichischer Lehrplan für die AHS Physik Oberstufe:
https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?4dzgm2

Kompetenzmodell der Naturwissenschaften für die 8. Schulstufe
https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf

Experiment zur Ausbreitung des Lichtes:
<https://www.leifiphysik.de/themenbereiche/lichtausbreitung/lichtbundel-lichtstrahl>

Bild zur Reflexion an ebenen Spiegeloberflächen
<http://www.4teachers.de/?action=keywordsearch&searchtype=images&searchstring=Reflexionsgesetz>

Light and Spectroscopy Concept Inventory
ftp://ftp.aip.org/epaps/astron_educ_review/E-AERSCZ-5-2006020/LSCIspring2006.pdf

Bilder der Leuchtentypen:
<http://www.pureco-led.com/led-strassenbeleuchtung-torcia/>

Informationen und Bild zur Spektroskopie
http://de.wikipedia.org/wiki/Kompaktleuchtstofflampe#/media/File:Spektrum_60W_ESL.jpg

Bildquellen für die Power Point Präsentation

<http://www.dw.de/wo-die-milchstra%C3%9Fe-am-nachthimmel-funkelt/a-17507516>

<http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/sternenparks.php>

www.hellenot.org

Quelle zur Geschichte der Ausbreitung des Lichts

<http://www.led-info.de/grundlagen/licht/was-ist-licht/geschichte.html>

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strukturmomentenmodell von Heimann, Otto und Schulz. Quelle: (Duit 2004, 1)	17
Abbildung 2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion der Sachstruktur, Quelle (Duit 2004, 2).....	19
Abbildung 3: Didaktische Rekonstruktion für das Unterrichtsmaterial	21
Abbildung 4: Fachdidaktisches Triplet: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Quelle: (Kattmann et al. 1997, 4)	22
Abbildung 5: Himmelsaufhellung bei verschiedenen starker Lichtverschmutzung	35
Abbildung 6: Verwendetes Material für die Untersuchung der Lampenfarben.....	39
Abbildung 7: Die zu untersuchenden Leuchtmittel. Links: Die Energiesparlampe, Mitte: Die warmweiße LED, Rechts: Die neutralweiße LED	40
Abbildung 8: Gleichbleibende Ausrichtung der Lampe.....	45
Abbildung 9: Verwendetes Luxmeter	45
Abbildung 10: Idee zum Versuch der Ausbreitung des Lichts.	49
Abbildung 11a: 6 Holzklötze als Blenden, oben rechts: Spalten für optisches Gerät zur Erzeugung von Lichtstrahlen, unten rechts: Optische Leuchte;	50
Abbildung 11b: Links: Ebener Spiegel, Rechts: Kugelspiegel mit konkaver und konvexer Spiegeloberfläche.....	58
Abbildung 12: Reflexion am flachen Spiegel.....	50
Abbildung 13: Reflexion konkaver Spiegel.....	50
Abbildung 14: Reflexion konvexer Spiegel.....	50
Abbildung 15: Phasen der Datenerhebung und der Unterrichtsintervention.....	62
Abbildung 16: Fragestellung zum Selbstkonzept der Befähigung in Physik. Quelle: Internationaler Schülerfragebogen von PISA 2000	64
Abbildung 17: Beispiel für ein Testitem aus dem Pre- und Posttest.....	65
Abbildung 18: Erstellte Frage zur Einschätzung der Bewertungskompetenz	66
Abbildung 19: Fragestellung zum Handlungsprozess der selektionalen Phase	67
Abbildung 20: Umformulierte Fragestellung zur Evaluierung der Lernmotivation	68
Abbildung 21: Bewertungsaufgabe für die Station Beleuchtungsstärke	72
Abbildung 22: Bewertungsaufgabe für die Station Leuchtentyp	73
Abbildung 23: Bewertungsaufgabe für Station Lampenfarbe	74
Abbildung 24: Entwickeltes Concept Cartoon für die Unterrichtseinheit.....	77
Abbildung 25: Ergebnisse aus dem Pretest der nicht- teilnehmenden Lernenden	86
Abbildung 26: Ergebnisse aus dem Pretest der teilnehmenden Lernenden	86

Abbildung 27:Resultate der nicht- teilnehmenden Lernenden zur Vorgehensweise beim Tabletkauf	88
Abbildung 28:Resultate der teilnehmenden Lernenden zur Vorgehensweise beim Tabletkauf	88
Abbildung 29:Häufigkeit der genannten Maßnahmen und der erwähnten Vor- und Nachteile der nicht- teilnehmenden Lernenden	90
Abbildung 30:Häufigkeit der genannten Maßnahmen und der erwähnten Vor- und Nachteile der teilnehmenden Lernenden.....	90
Abbildung 31:Genannte Kriterien in der Begründung für die Maßnahmenauswahl	91
Abbildung 32: Beispiel für eine der ausgefüllten Bewertungstabellen von SchülerIn 4.....	101
Abbildung 33: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Frau Stolz	103
Abbildung 34: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Herrn Seibert	104
Abbildung 35: Beispiel für die Reaktion auf die Aussage von Frau Kletz	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 36:Einteilung der SchülerInnen in die Niveaustufen anhand des Concept Cartoons	106
Abbildung 37:Ergebnisse des Posttests der nicht teilnehmenden Lernenden	111
Abbildung 38:Ergebnisse des Posttests der teilnehmenden Lernenden	111
Abbildung 39:Entscheidung der Lernenden für die warmweiße oder die neutralweiße LED	115
Abbildung 40:Einteilung der nicht teilnehmenden Lernenden in die Niveaustufen	115
Abbildung 41:Einteilung der teilnehmenden Lernenden in die Niveaustufen.....	116

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz nach Hostenbach (2011, 35).....	8
Tabelle 2: Kompetenzniveaus der Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ nach Eggert und Bögeholz, 2006.	15
Tabelle 3: Planung der Unterrichtseinheit nach dem CoRe- Raster.....	26
Tabelle 4: Planung des Unterrichtskonzepts zur spektralen Zusammensetzung des Lichts nach dem CoRe- Raster.....	27
Tabelle 5: Planung des Unterrichtskonzepts zur Streuung des Lichts nach dem CoRe- Raster.....	28
Tabelle 6: Planung des Unterrichtskonzepts zur Beleuchtungsstärke nach dem CoRe- Raster.....	29
Tabelle 7: Planung des Unterrichtskonzepts zur Reflexion des Lichtes nach dem CoRe- Raster.....	30
Tabelle 8: Planung des Konzepts der Ausbreitung des Lichts nach dem CoRe- Raster.....	31
Tabelle 9: Beleuchtungsstärken verschiedener Lichtquellen, an die sich der Mensch anpassen kann.....	44
Tabelle 10: Messung der Beleuchtungsstärke und Einschätzung der Sinneswahrnehmung.....	45
Tabelle 11: Kategoriensystem für Frage 1.b.1 zur Station Beleuchtungsstärke.....	52
Tabelle 12: Kategoriensystem für Frage 1.b.2 zur Station Beleuchtungsstärke.....	52
Tabelle 13: Kategoriensystem für Frage 1.b.3 zur Station Beleuchtungsstärke.....	53
Tabelle 14: Kategoriensystem für Frage 1.b.4 zur Station Beleuchtungsstärke.....	53
Tabelle 15: Kategoriensystem für die Entscheidung bezüglich der Beleuchtungsstärke.....	54
Tabelle 16: Kategoriensystem für erstes Argument zur Station Beleuchtungsstärke.....	55
Tabelle 17: Kategoriensystem für zweites Argument zur Station Beleuchtungsstärke.....	55
Tabelle 18: Punktevergabe für die Vorteile der neutralweißen LED.....	56
Tabelle 19: Punktevergabe für die Nachteile der neutralweißen LED.....	56
Tabelle 20: Punktevergabe für die Vorteile der Energiesparlampe.....	56
Tabelle 21: Punktevergabe für die Nachteile der Energiesparlampe.....	56
Tabelle 22: Punktevergabe für die Vorteile der warmweißen LED.....	57
Tabelle 23: Punktevergabe für die Nachteile der warmweißen LED.....	57
Tabelle 24: Punktevergabe für die Entscheidung eines Leuchtmittels.....	58
Tabelle 25: Punktevergabe für die genannten Kriterien in der Begründung.....	58
Tabelle 26: Punktevergabe für die Skizzierung der Lichtausbreitung.....	59
Tabelle 27: Punktevergabe für Antworten der ersten Frage zur Lichtausbreitung.....	59
Tabelle 28: Punktevergabe für Antwort der zweiten Frage zur Lichtausbreitung.....	59

Tabelle 29: Punktevergabe für die Skizze aus dem zweiten Experiment	60
Tabelle 30: Punktevergabe für Antwort der ersten Frage zur Reflexion des Lichtes	60
Tabelle 31: Punktevergabe für den ersten Teil der Bewertungsaufgabe	61
Tabelle 32: Punktevergabe für den zweiten Teil der Bewertungsaufgabe	61
Tabelle 33: Zeitplan für die Unterrichtsintervention	71
Tabelle 34: Bewertungstabelle zum erneuten Reflektieren über relevante Kriterien	75
Tabelle 35: Ergebnisse von Item 1 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen im Physikunterricht.....	81
Tabelle 36: Ergebnisse von Item 2 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen im Physikunterricht aus Interesse.....	82
Tabelle 37: Ergebnisse von Item 3 zur Bedeutung der Lehrinhalte in Physik.....	83
Tabelle 38: Häufigkeitsverteilung der berücksichtigten Aspekte	89
Tabelle 39: Auswertung der Fragen zum Text	95
Tabelle 40: Auswertung der Bewertungsaufgabe	95
Tabelle 41: Gesamte gewonnene Punkteanzahl der teilnehmenden Lernenden.....	95
Tabelle 42: Auswertung der genannten Vor- und Nachteile der Leuchtmittel.....	97
Tabelle 43: Auswertung des gewählten Leuchtmittels und die Begründung für die Entscheidung	97
Tabelle 44: Gesamte erreichte Punktezahl der Lernenden in der Station Lampenfarbe.....	97
Tabelle 45: Auswertung der zwei Experimente	98
Tabelle 46: Auswertung der Bewertungsaufgabe	99
Tabelle 47: Gesamte erreichte Punktezahl der TeilnehmerInnen	99
Tabelle 48: erreichte Gesamtpunktezahl der TeilnehmerInnen.....	100
Tabelle 49: Ergebnisse von Item 1 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen zur Einheit der Lichtverschmutzung und zum allgemeinen Physikunterricht aus dem Pretest ..	108
Tabelle 50: Ergebnisse von Item 2 zur Lernmotivation der Schüler und Schülerinnen in der Einheit und im allgemeinen Physikunterricht aus Interesse	109
Tabelle 51: Ergebnisse von Item 3 zur Bedeutung der Lehrinhalte in der Einheit und im allgemeinen Physikunterricht.....	109
Tabelle 52: Berücksichtigte Kriterien bei der Bewertungsfrage im Posttest.....	114
Tabelle 53: Überblick über die Ergebnisse der TeilnehmerInnen.....	118

11. Anhang A: Das entwickelte Unterrichtsmaterial

Aufgabenblatt

Mein Name:

Stell dir vor, du bist BürgermeisterIn einer Gemeinde mit rund 4500 Einwohnern. Eine der zukünftigen Anliegen der Gemeinde ist die Beschaffung von neuen Beleuchtungsanlagen auf den Straßen. Als BürgermeisterIn ist es nun deine Aufgabe dich für eine der folgenden Beleuchtungsanlagen zu entscheiden:

	Leuchtdiode (LED) 1	Energiesparlampe	Leuchtdiode 2 (LED)
Lichtfarbe⁹	Neutralweiß	Kaltweiß	Warmweiß
Beleuchtungsstärke (Lux)¹⁰	Bis zu 170	Bis zu 300	Bis zu 160
Lebensdauer (Stunden)	25.000	10.000	25.000
Lichtausbeute (Lumen/Watt)	850/11	1305/20	805/9
Investitionskosten	190.000 €	180.000 €	260.000 €
Jährliche Stromkosten	9.400 €	11.500 €	6.800 €
Leuchtentyp¹¹			

⁹ Die Lichtfarbe, Lebensdauer und Lichtausbeute wurden der Verpackung der verwendeten Leuchtmittel entnommen

¹⁰ Beleuchtungsstärke, Investitionskosten, sowie die jährlichen Stromkosten sind rein fiktiv, entsprechen jedoch realistischen Werten

¹¹ Alle Bilder der Leuchtentypen wurden aus dieser Website entnommen: <http://www.pureco-led.com/led-strassenbeleuchtung-torcia/>

Zusatzinformation und Denkanstöße:

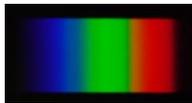
Da deine Gemeinde beträchtlich zum Lichtsmog rund um Graz beiträgt und so deinen Einwohnern die Sicht auf einen klaren Himmel verweigert wird, willst du zu einer Entscheidung kommen, die dabei hilft, Lichtemissionen in deiner Gemeinde zu verringern.

Um zu einer möglichst akkuraten Entscheidung zu kommen, informierst du dich genauer über die Lichtfarbe, den Leuchtyp und die Beleuchtungsstärke der angebotenen Außenbeleuchtungen.

Station: Was wäre eine geeignete Lampenfarbe? Name:

Weißes Licht setzt sich gleichmäßig aus den Spektralfarben zusammen. Beim Licht von Leuchtmittel hingegen, kommt es zu einer Häufung der Spektrallinien in einem bestimmten Wellenlängenbereich.¹² So besitzen zum Beispiel Energiesparlampen eine stärkere spektrale Komponente im kurzwelligen, also im grünen und blauen Bereich, als im langwelligen Bereich. Diese spektrale Zusammensetzung trägt dazu bei, welche Lichtfarbe Menschen bei einem Leuchtmittel wahrnehmen.¹³ Um zu untersuchen, wie sich das Lampenlicht zusammensetzt, verwendet man Spektroskope, die das emittierte Licht in ihre spektrale Zusammensetzung aufteilt. Anhand von dieser Spektralanalyse und den daraus bekannten Wellenlängen kann man auf viele Eigenschaften des Lichts, wie zum Beispiel Streuung, schließen¹⁴.

15



Diese Abbildung ist ein Beispiel für ein Lichtspektrum einer Gasentladungslampe durch ein Spektroskop.

1. Experiment:

Untersuche nun die Lichtspektren von einer LED- Lampe mit warmweißen und neutralweißem Licht und einer Energiesparlampe mit dem Spektroskop. Notiere, welche Spektralkomponenten, also welche Lichtfarben, vorkommen und welche Lampenfarbe du wahrnimmst.

¹² Völker, S. & Krenz, P., 2013. Entwicklung von Maßzahlen für adaptive Beleuchtungssysteme. *Schutz der Nacht- Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, pp.87–90.

¹³ Posch, T., 2013. Besser beleuchten- Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung. *Schutz der Nacht- Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, pp.43–46.

¹⁴ Posch, T., 2014. Lichtverschmutzung als Thema im Schulunterricht. *Plus Lucis*, pp.20–22.

¹⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Kompaktleuchtstofflampe#/media/File:Spektrum_60W_ESL.jpg

Material:

- Selbstgemachtes Spektroskop und Tischlampe
- Energiesparlampe
- Neutralweiße LED
- Warmweiße LED

Daten:

	Neutralweiße LED	Energiesparlampe	Warmweiße LED
Spektralkomponenten			
Wahrgenommene Farbe			

2. a. Um mehr über die Eigenschaften von den einzelnen Lichtfarben zu erfahren, liest du folgenden Text:

Aus Gründen der Energieeffizienz wird unsere heutige Außenbeleuchtung von Gasentladungslampen dominiert, da sie hauptsächlich blaues, kurzwelliges Licht emittiert, welches energiereicher ist als langwelliges. Dies führt zu einer wesentlich höheren Lichtausbeute als zum Beispiel bei Halogenlampen. Bevor man aber diese Gasentladungslampen zu viel lobt, sollte man die folgenden Faktoren berücksichtigen. Streuung, also die Ablenkung von Lichtteilchen an Staub- oder Luftpartikeln, trägt signifikant zur Lichtverschmutzung bei. Der hauptsächliche Grund dafür ist, dass blaues, kurzwelliges Licht stärker gestreut wird, als rotes, langwelliges. Zudem werden Insekten und viele andere Tiere von Licht mit hohen kurzwelligen Anteilen doppelt so stark angezogen als von Licht mit wenig kurzwelligen Anteilen. Auch für die Gesundheit des Menschen spielt der Blauanteil eine wichtige Rolle, da es wissenschaftlich bewiesen ist, dass wenn wir Licht mit erheblichem Blauanteil ausgesetzt sind, die Freisetzung des Dunkelhormons Melatonin nicht stattfindet. Dies führt wiederum zu gesundheitlichen Auswirkungen, wie zum Beispiel Schlafstörungen. Zu beachten ist dabei, dass nicht überall, wo wir kein Blau sehen auch kein Blau- Anteil vorhanden ist. Weißes, besonders kaltweißes Licht, besitzt ebenfalls starke Blau- Anteile. ¹⁶

¹⁶ Posch, T., 2013. Besser beleuchten- Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung. *Schutz der Nacht- Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, pp.43–46.

b. Liste anhand dieses Textes und der untersuchten Lichtspektren die Vor- und Nachteile der verschiedenen Lampentypen in die folgende Tabelle ein:

	Neutralweiße LED	Energiesparlampe	Warmweiße LED
Vorteile			
Nachteile			

c. Für welchen Lampentyp würdest du dich als BürgermeisterIn nun entscheiden?
Begründe warum:

Station: Was wäre eine geeignete Beleuchtungsstärke?**Name:****1. a. Da du als BürgermeisterIn noch nicht so vertraut mit dem Begriff der Beleuchtungsstärke bist, liest du den folgenden Teil eines Fachartikels darüber:**

Anders als bei den Vorgängern der heutigen modernen Leuchtmitteln, den Glühbirnen, ist die Wattangabe keine verlässliche Quelle mehr für das emittierte Licht einer Beleuchtung. Grund dafür ist, dass sich die Lichtausbeute, also wie viel Licht pro hinzugefügter elektrischer Leistung erzeugt werden kann, und damit die Energiebilanz der Leuchtmittel erheblich über die letzten Jahrzehnte verbessert hat. Mit weniger Energieaufwand, kann man mehr Licht erzeugen¹⁷. Auf Leuchtmitteln findet man deswegen immer die Angabe des Lichtstroms in Lumen, und die dafür benötigte Energie in Watt. Die Lumen geben dabei an, wie viel Licht von einem Leuchtmittel ausgestrahlt wird. Eine weitere wichtige Größe in Bezug auf Straßenbeleuchtungen ist die Beleuchtungsstärke. Die Beleuchtungsstärke beschreibt, wie stark eine Fläche beleuchtet wird, also wie viel Lumen auf eine Fläche treffen, und ist somit ein Maß dafür, wie stark die Umgebung um eine Beleuchtung ausgeleuchtet wird. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux und gibt den Quotient aus Lumen pro m² wieder. Allerdings sollte man darauf achten, die Beleuchtungsstärke nicht mit Helligkeit zu verwechseln. Die Helligkeit ist eine subjektive Wahrnehmung von Menschen und kann nur schwer gemessen werden. So erscheint zum Beispiel ein weißer Raum bei gleicher Beleuchtungsstärke heller als ein dunkler, weil dieser das Licht besser reflektieren kann.¹⁸

Ein häufig erläutertes, aber nicht ganz korrektes Argument für die Nutzung von hohen Beleuchtungsstärken bei Straßenbeleuchtungen und somit auch für mehr Licht in alle möglichen Richtungen ist demnach die Sicherheit von Einwohnern. Generell überwiegt das Gefühl von mehr Sicherheit und Orientierung, je heller die Umgebung ausgeleuchtet ist. Was viele jedoch nicht wissen ist, dass Menschen in der Nacht nicht viel Licht brauchen um ihre Umgebung klar wahrzunehmen und um sich ohne Probleme orientieren zu können. Grund dafür ist das hohe Anpassungsvermögen unserer Augen an stark unterschiedliche Beleuchtungsstärken, wie es in der angeführten Tabelle ersichtlich ist.¹⁹

¹⁷ Posch, T., Freyhoff, A. & Uhlmann, T., 2010. *Das Ende der Nacht- Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*, Weinheim: Wiley- VCH Verlag GmbH & Co.

¹⁸ Lohmeyer, G., Bergmann, H. & Post, M., 2005. *Praktische Bauphysik- Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen* 5th ed., Wiesbaden: Springer Fachmedien.

¹⁹ Posch, T., Freyhoff, A. & Uhlmann, T., 2010. *Das Ende der Nacht- Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*, Weinheim: Wiley- VCH Verlag GmbH & Co.

Lichtquelle	Beleuchtungsstärke
Sonne (bei klarem Himmel)	Bis zu 128.000 Lux
Tageslicht bei Bewölkung und bei Gewitter	1000- 10 000 Lux, bei Gewitter: 100 Lux
Straßenbeleuchtung	Bis zu 100 Lux
Vollmond	Weniger als 0.25 Lux
Halbmond	Weniger als 0.025 Lux ²⁰

b. Beantworte die folgenden Fragen:

1. Was gibt die Lichtausbeute an? _____

2. Was gibt die Beleuchtungsstärke an? _____

3. Was ist aus der Tabelle in Bezug auf die Wahrnehmung der Menschen einer Umgebung bei Nacht zu schließen? _____

4. Was für eine Bedeutung hat das hohe Anpassungsvermögen der menschlichen Augen an die Beleuchtungsstärke für Außenbeleuchtungen und Lichtverschmutzung? _____

2. Miss nun die Beleuchtungsstärke von einer neutralweißen und warmweißen LED und einer Energiesparlampe mit Hilfe von einem Luxmeter auf einer bestimmten Fläche im Klassenzimmer. Achte darauf, dass du immer im gleichen Winkel und Abstand zur Lichtquelle misst. Dunkle den Raum dafür ab. Gib auf einer Skala von 1 bis 3 an, wie gut du das gesamte Klassenzimmer erkennen kannst.

3=Ich kann alles ausgezeichnet erkennen, 2= Ich kann Umrisse gut erkennen, 1= Ich kann mich schwer im Klassenzimmer orientieren und fast nichts wahrnehmen.

Nr.	Lichtquelle	Gemessene Lux	Wie gut kann ich die Umgebung erkennen?
1.	Neutralweiße LED		
2.	Energiesparlampe		
3.	Warmweiße LED		

Für welche Lampe entscheidest du dich in Hinblick auf die Beleuchtungsstärke, Lichtausbeute und Lichtverschmutzung? Für die Angaben der Lichtausbeute siehe auf dein Aufgabenblatt. Mit welchen Argumenten würdest du deine Entscheidung vor den Einwohnern, die ihre Sicherheit beibehalten wollen, verteidigen?

Für diese Lampe entscheide ich mich: _____

Argument 1: _____

Argument 2: _____

Station: Was wäre ein geeigneter Leuchtentyp?

Name:

Eine der wesentlichen Aufgaben einer Leuchte ist die Lenkung des Lampenlichtstroms. Mit Hilfe einer passenden Leuchte können folge dem Lichtemissionen von Außenbeleuchtungen gedämmt werden, da das Licht nur dahin gelenkt wird, wo es auch benötigt wird. So werden Straßen ausreichend beleuchtet, ohne zu viel ungebrauchtes Licht in alle Richtungen zu verteilen²¹. In einigen Artikeln hast du als BürgermeisterIn gelesen, dass die Ausbreitung und Reflexion des Lichts maßgeblich zu einer passenden Leuchte beitragen. Um selbst einen genaueren Einblick zu erlangen, führst du zwei Experimente durch.

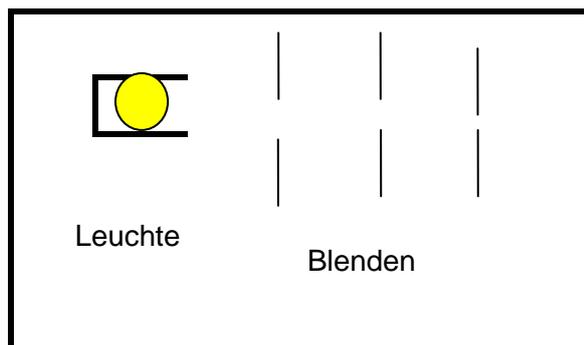
Experiment 1²²:

Aufgabenstellung: erzeuge einen Lichtstrahl, indem du ein Lichtbündel durch immer kleiner werdende Spalten einengst. Die Spalten werden hintereinander hinzugefügt. Zeichne auch den Strahlengang des Lichtbündels in die Skizze ein.

Material:

- Taschenlampe
- weißes Papier
- 6 Blenden

Skizze:



²¹ Kostenzer, M.J., 2003. *Die Helle Not: Künstliche Lichtquellen- ein unterschätztes Naturschutzproblem* 2nd ed., Wien: Wiener Umwelthanwaltschaft.

²² Idee entnommen von: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/lichtausbreitung/lichtbündel-lichtstrahl>

Was kannst du aus diesem Experiment auf die Ausbreitung des Lichtes schließen?

Was kannst du aus diesem Experiment über den geeignetsten Leuchtentyp schließen?

Ein Schritt zu einer gezielten und effizienten Lichtlenkung ergibt sich durch die Einführung der Reflektorlampen. Dabei spielt die gezielte Reflexion an Spiegeloberflächen, bei der das Licht an der Oberfläche nicht in alle Richtungen gestreut wird, eine bedeutende Rolle²³.

Experiment 2:

Aufgabenstellung: Untersuche die Reflexion von Licht an einer flachen, konkaven und einer konvexen Oberfläche und zeichne den Strahlengang bei verschiedenen Einfallswinkeln in die Skizze ein. Verwende dazu eine Leuchte, deren Licht durch zwei Spalten geht, sowie die flache Spiegeloberfläche und die konkave und konvexe.

Material:

- Leuchte
- Schablone mit zwei Spalten
- Flacher, konvexer und konkaver Spiegel

²³ Posch, T., Freyhoff, A. & Uhlmann, T., 2010. *Das Ende der Nacht- Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*, Weinheim: Wiley- VCH Verlag GmbH & Co.

Skizze:



Flache Oberfläche



Konkave Oberfläche



Konvexe Oberfläche

Welche Oberfläche eignet sich unter Berücksichtigung der Lichtlenkung und Lichtverschmutzung am besten für eine Straßenleuchte? Begründe deine Entscheidung.

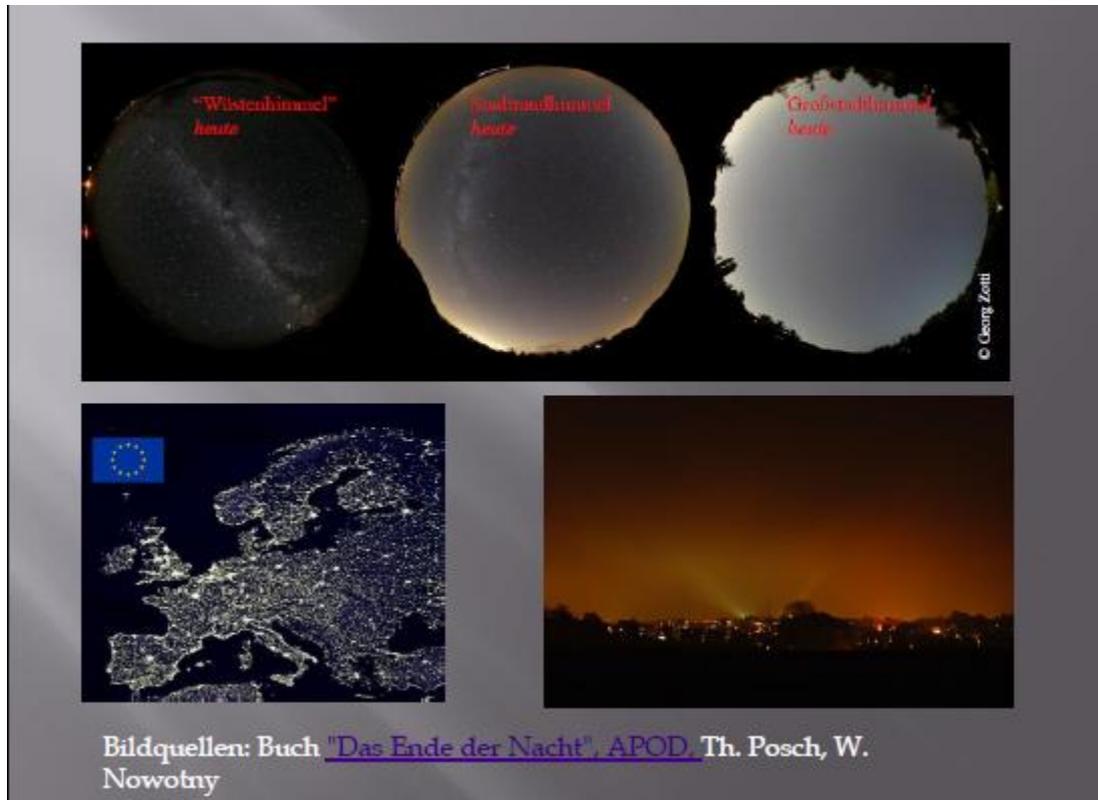
Bewerte anhand der Experimente, wie gut die gezeigten Leuchten das Licht lenken können. In den Feldern für Lichtlenkung kannst du die unten angeführten Werteeinheiten verwenden. Begründe deine Bewertung.

3= sehr gut, 2= nicht sehr gut, 1= gar nicht

	²⁴ 		
Lichtlenkung			
Begründung			

²⁴ Alle Bilder der Leuchtentypen wurden aus dieser Website entnommen: <http://www.pureco-led.com/led-strassenbeleuchtung-torcia/>

12. Anhang B: Unterlagen zur Power Point Präsentation



LICHTVERSCHMUTZUNG

Was ist das?

Lichtverschmutzung ist:

- ☐ Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Lichtquellen
- ☐ Die Entstehung von Lichtsmog über stark beleuchteten Städten
- ☐ Die Entstehung von Lichtmüll = Licht, welches keinem Beleuchtungszweck dient

Wie entsteht Lichtverschmutzung?

- ☐ Hauptsächlich durch Streuung an Luftpartikeln wie zum Beispiel Nebeltropfen oder Schwebeteilchen
- ☐ Reflexion an Luftpartikel

Konsequenzen von Lichtverschmutzung

Für Tiere:

- ▣ Eingeschränkte Futtersuche
- ▣ Eingeschränkter Aktionsradius
- ▣ Gestörte Ruhephasen
- ▣ Verschlechterte Orientierung
- ▣ Insektensterben
- ▣ Gefährdung der Fortpflanzung

Konsequenzen von Lichtverschmutzung

Für Menschen

- ▣ Störung des Tag- Nacht- Rhythmus → Kein Melatoninausstoß → Schlafstörungen
- ▣ Blendung und Kontrastsehen → Verkehrssicherheit
- ▣ Unnötiger Stromverbrauch = unnötige Kosten

Konsequenzen von Lichtverschmutzung

Für Umwelt und Wissenschaft:

- Künstliches Licht überstrahlt natürliches Licht der Sterne → schlecht für Astronomen
- Unnötiger CO₂- Ausstoß durch nicht verwendetes Licht

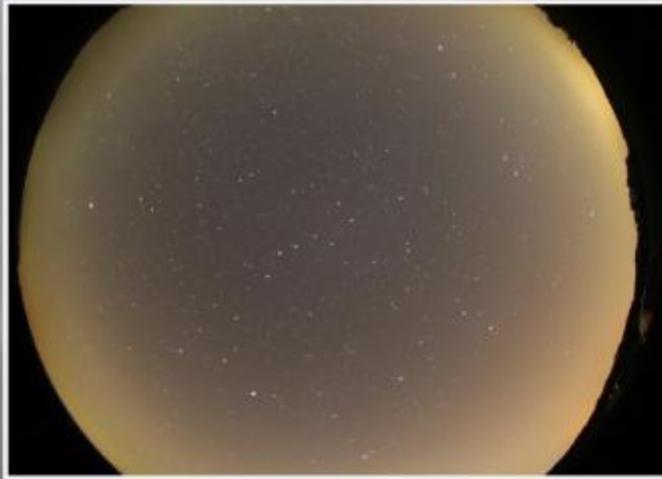
Zum Abschluss:

So kann man die Milchstraße ohne Lichtverschmutzung im Naturpark Westhavelland, Deutschland sehen:



Bildquelle: <http://www.dw.de/wo-die-milchstra%C3%9F-am-nachthimmel-funkelt/a-17507516>

So sieht die Milchstraße im Naturpark Terra Vita, Deutschland mit Lichtverschmutzung aus.



Bildquelle:

<http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/sternenparks.php>

Quellen:

- Thomas Posch/ Anja Freyhoff/ Thomas Uhlmann [Hg.], Das Ende der Nacht- Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen, Berlin 2010
- Tiroler Umweltschutz, Die Helle Not, Innsbruck 2009, online: www.hellenot.org.

13. Anhang C: Design des Pretests

Liebe Schülerin, lieber Schüler!

Dankeschön, dass du dich dazu bereit erklärt hast, mich bei meiner Diplomarbeit zu unterstützen und an den erstellten Unterrichtseinheiten, sowie den Interviews teilzunehmen. Um für meine Auswertungen aussagekräftige Resultate zu erlangen, würde ich dich nun bitten, diesen Fragebogen über Optik auszufüllen. Der Fragebogen besteht aus zwei Teilen, wobei der zweite erst nach Beendigung des ersten ausgeteilt wird. Bitte versuche, bei jeder Frage eine Antwort anzukreuzen.

Zuerst ein paar Angaben über dich:

Geschlecht: männlich weiblich **Name**²⁵: **Klasse:**..... **Alter:**

Meine letzte Physiknote war:

Mit meiner Familie spreche ich außer Deutsch noch folgende Sprache(n):

.....

Im Physikunterricht.....

- arbeite ich mit, weil ich es immer so mache.
- strenge ich mich an, weil ich gerne alles richtig mache.
- beteilige ich mich, weil es sich so für eine Schülerin/ einen Schüler gehört.
- arbeite ich mit, weil ich die Inhalte später bestimmt gebrauchen kann.
- sind mir die Inhalte wichtig, weil sie auch für viele Dinge im Alltag wichtig sind.
- arbeite ich mit, damit ich mich später in diesem Fach auskenne.

Bitte kreuzt das Zutreffende an:

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu
Mir fällt Physik leicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin für Physik begabt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bringe in Physik gute Leistungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

²⁵ Dein Name ist nur der Verfasserin der Diplomarbeit bekannt und wird an keine dritte Person weitergegeben. In der Arbeit werden die Namen anonymisiert.

In welcher Klasse hattest du schon Optikunterricht? Was sind die Themen, an die du dich noch erinnern kannst? (Bitte in Stichworten beantworten)

Die folgenden 2 Fragen beziehen sich auf den Physikunterricht im Allgemeinen. Versuche sie basierend auf deine Erfahrungen im Physikunterricht in den letzten Jahren zu beantworten.

Im Unterricht in Physik.....

- finde ich die Inhalte richtig spannend.
- bin ich mit Freude dabei.
- macht mir der Unterricht Spaß.
- möchte ich gern mehr über dieses Thema erfahren.
- bekomme ich Lust, mich weiter damit zu beschäftigen.

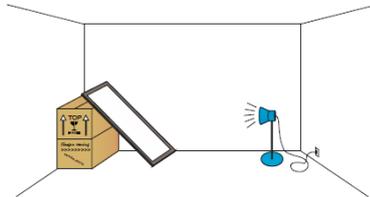
Im Unterricht in Physik.....

- wird deutlich, dass der Lernstoff auch im Alltag wichtig ist.
- wird erkennbar, wofür die Experimente nützlich sind.
- lernt man, wo die Inhalte praktisch angewendet werden.
- werden wir darüber informiert, dass dieser Stoff für andere Themen wichtig ist.

Erster Teil: Fragen zu Optik

1. Im Zimmer ist es dunkel. Die Lampe leuchtet gegen den Spiegel.

a. Was siehst du?



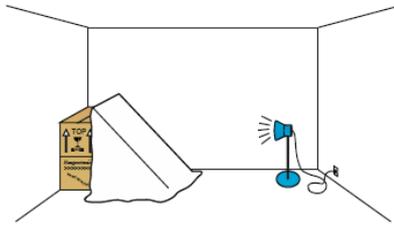
	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Einen hellen Fleck an der Decke über dem Spiegel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einen hellen Fleck an der Decke über der Lampe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Raum ist es überall gleich hell.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einen hellen Fleck am Spiegel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

b. Warum siehst du das?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Licht von der Lampe bleibt am Spiegel liegen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Licht von der Lampe wird vom Spiegel an die Decke reflektiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Licht von der Lampe bleibt an der Decke liegen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Decke strahlt das Licht weiter zu mir.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Im Zimmer ist es dunkel. Der Spiegel wurde mit einer weißen Stoffhülle abgedeckt.

a. Was siehst du im Zimmer?



	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Einen hellen Fleck an der Decke über der Stoffhülle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einen hellen Fleck an der Decke über der Lampe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Raum ist es überall gleich hell.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einen hellen Fleck auf dem Tuch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

b. Warum siehst du das?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Licht von der Lampe bleibt auf der Stoffhülle liegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Licht von der Lampe wird von der Stoffhülle an die Decke reflektiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stoffhülle verteilt das Licht in alle Richtungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Licht von der Lampe bleibt an der Decke liegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Decke strahlt das Licht weiter zu mir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Kinder sitzen in der Nacht um ein Lagerfeuer.

a. Was trifft zu? Bitte nur eine Antwort ankreuzen.

Licht vom Lagerfeuer:

- ist nur um die Flammen herum.
- ist nur im beleuchteten Bereich zwischen Feuer und Kindern.
- kommt nur bis zu den Kindern.
- kommt nur bis zum Haus.
- kommt weiter als bis zum Haus.



b. Wie erklärst du dieses Verhalten von Licht bei Nacht?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Das Licht hält sich nur dort auf, wo es entsteht.		
Licht breitet sich so weit geradlinig aus, bis es auf etwas trifft.		
Licht breitet sich so weit aus, wie wir es sehen können.		
Die Ausbreitungskraft von Licht nimmt mit der Entfernung ab.		

4. Lichtausbreitung bei Tag und Nacht:

a. Was ist hier richtig und falsch?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Licht breitet sich in der Nacht weiter aus als am Tag.		
Licht breitet sich bei Tag und Nacht gleich weit aus.		
Licht breitet sich am Tag weiter aus als in der Nacht.		

b. Wie erklärst du deine Antwort?

	<u>Richtig</u>	<u>Falsch</u>
Licht braucht Dunkelheit, damit es sich ausbreiten kann.		
Das Licht vom Lagerfeuer ist zu schwach um das Tageslicht zu verdrängen.		
Das Licht vom Lagerfeuer und das Tageslicht vermischen sich.		
Licht kann nur von materiellen Teilchen abgelenkt werden.		

5. Vor jeder Lasershow wird Nebel in den Saal eingeblasen.

a. Wozu ist der Nebel gut? (Bitte wähle eine Antwort)

- Weil man die Laserstrahlen sonst nicht sehen kann.
- Weil man die Laserstrahlen abschwächen muss, damit sie nicht so gefährlich sind.
- Weil die Laserstrahlen sonst nicht bunt sind.



b. Wie erklärst du deine Antwort aus a? (Bitte wähle eine Antwort)

- Nebeltropfen lenken das Licht in alle Richtungen ab.
- Nebeltropfen stoppen den Laserstrahl ab.
- Nebeltropfen spalten die verschiedenen Laserstrahlen in alle Regenbogenfarben auf.
- Nebel behindert die Sicht.

6. Die Nebelmaschine ist kaputt. Die Lasershow wurde trotzdem gestartet.

a. Was passiert ohne Nebel? (Bitte wähle eine Antwort)

- Die Laserstrahlen sind weiß und nicht mehr bunt.
- Die Laserstrahlen heizen der Raum auf.
- Das Gleiche wie mit Nebel.
- Man sieht keine Laserstrahlen, sondern nur Punkte an der Wand.

b. Wähle die beste physikalische Begründung für deine Antwort in a. (Bitte wähle eine Antwort)

- Nebeltropfen lenken das Licht in alle Richtungen ab.
- Nebeltropfen stoppen den Laserstrahl ab.
- Die Nebeltropfen spalten die Laserstrahlen in alle Regenbogenfarben auf.
- Laserlicht bleibt auf der Wand liegen.

7. Lichtzusammensetzung

a. Welche Farbe hat Sonnenlicht?

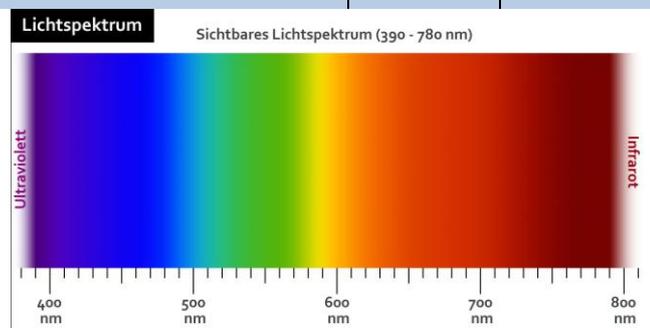
	Richtig	Falsch
Orange bis rot	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Weiß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gelb	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hellblau	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

b. Begründe deine Entscheidung.

	Richtig	Falsch
Die Sonne glüht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Farbe des Sonnenlichts ändert sich während des Tages.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Himmel rund um die Sonne ist blau.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonnenlicht macht weiße Flecken auf einer weißen Wand.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das hängt von der Farbe der Sonne ab.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Lichtspektrum.

a. Welche Farbe des Lichts trägt die meiste Energie? (Bitte wähle eine Antwort)



- Grün
- Blau
- Rot
- Gelb
- Alle Photonen besitzen die gleiche Energie.

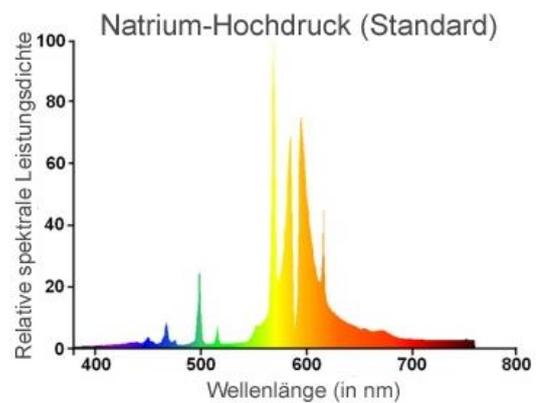
b. Begründe deine Antwort

	Richtig	Falsch
Photonen mit kurzer Wellenlänge sind energiereicher.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Photonen mit langer Wellenlänge sind energiereicher.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Photonen unterscheiden sich nicht voneinander.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Maximum der Energie befindet sich in der Mitte des Spektrums.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Sieh dir das emittierte Lichtspektrum dieser Natriumdampfampe an.

a. In welcher Farbe nimmst du diese Lichtquelle wahr? (Bitte wähle eine Antwort)

- Blau
- Grün
- Ultraviolett
- Weiß
- Gelb/Orange
- Rot



b. Begründe deine Antwort.

	Richtig	Falsch
UV ist am energiereichsten, deswegen ist die Lichtquelle leicht violett.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alle Farben sind vorhanden, deswegen leuchtet die Lampe weiß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Maximum der Leistungsdichte liegt im gelb/orangen Bereich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die rote Wellenlänge ist energiereicher und dominiert die Farbemission der Lampe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die blaue Wellenlänge ist energiereicher und dominiert die Farbemission der Lampe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Du vergleichst die Angaben auf der Verpackung einer LED Lampe und einer

Glühla

LED
450 Lumen
5 Watt

mpe.

Glühlampe
200 Lumen
25 Watt

a. Welche Lampe leuchtet heller? LED Lampe Glühlampe

b. Begründe deine Antwort.

	Richtig	Falsch
Die Glühlampe hat mehr Watt und leuchtet deswegen heller.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die LED hat mehr Lumen und leuchtet deswegen heller.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Watt- und Lumenangaben haben nichts mit der Helligkeit zu tun.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Quotient der Lumen und Watt ist ausschlaggebend und muss hoch sein.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Du kaufst dir ein neues Tablet. Es gibt eine riesige Auswahl, wie kommst du schließlich zur Entscheidung, welches du nimmst? (Bitte wähle eine Antwort)

- Ich gehe ins Geschäft und suche mir das Tablet aus, das mir am besten gefällt.
- Ich recherchiere im Vorhinein etwas im Internet und nehme dann das billigste Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets im Internet und kaufe dann, wenn möglich, ein leistungsstarkes und günstiges Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Tablets, die geeignet für mich wären.

12. Als du spät in der Nacht nach Hause gekommen bist, hast du wieder einmal vergessen die Außenbeleuchtung eures Hauses auszuschalten. Du kannst dir schon denken, dass dein Vater dir wieder eine Moralpredigt halten wird und 100.000 Gründe findet, warum die Außenbeleuchtung keinesfalls unnötig lange euer Grundstück erhellen soll.

a. Um auf das Gespräch vorbereitet zu sein überlegst du dir alle möglichen Gründe, die dein Vater anführen könnte, warum die Außenbeleuchtung nicht zu lange eingeschaltet bleiben soll. Bitte schreib in vollständigen Sätzen:

b. Weil du gut vorbereitet bist, hast du dir ein paar Lösungsstrategien für das Außenbeleuchtungsproblem überlegt. Was alles könntest du deinem Vater vorschlagen, damit die Außenbeleuchtung das nächste Mal nicht die ganze Nacht lang euer Grundstück erhellt? Überleg dir für jede vorgeschlagene Maßnahme auch ob es Vor- bzw. Nachteile gibt.

Maßnahme 1:	Vorteile:	Nachteile
Maßnahme 2:	Vorteile:	Nachteile

Maßnahme 3:	Vorteile:	Nachteile
-------------	-----------	-----------

c. Welche der Maßnahmen ist aus deiner Sicht die beste? Begründe, warum? Bitte schreibe in vollständigen Sätzen.

Zweiter Teil: Lichtverschmutzung

Mein Name: _____

1. Hast du schon einmal etwas von Lichtverschmutzung gehört?

Wenn ja:

- Von wem hast du den Begriff gehört?

- Wo hast du den Begriff gehört?

- Erkläre kurz was mit diesem Begriff gemeint ist.

Beschreibe kurz in eigenen Worten, welche Bedeutung Lichtverschmutzung für deinen Alltag hat: Gibt es in deinem Umfeld Lichtverschmutzung? Welchen Einfluss hat das auf dein Leben? Du kannst auch Fragen, die du über Lichtverschmutzung hast, aufschreiben.

Wenn nein:

Auch wenn du noch nichts über Lichtverschmutzung gehört hast. Hast du eine Vermutung, was dieser Begriff bedeuten könnte? Was verbindest du intuitiv mit dem Begriff der Lichtverschmutzung?

Ich bedanke mich recht herzlich für Eure Teilnahme! 😊

14. Anhang D: Interviewleitfaden

Interviewleitfaden

Danke, dass du dir noch einmal Zeit nimmst. Ihr habt alle ganz toll bei der Einheit mitgearbeitet und die Ergebnisse sind sehr spannend. Mir geht es heute darum herauszufinden, wie ihr an die Aufgaben herangegangen seid, was ihr dabei gedacht habt. Es geht dabei darum für mich rauszufinden, ob euch meine Aufgaben geholfen haben gut zu lernen, daher wär ich dir sehr dankbar, wenn du mir hier weiter hilfst. Ich werde dir ein paar Aufgaben zeigen und dich bitten, alles was du darüber denkst gleich zu sagen. Lautes Denken also, solange bis aus deiner Sicht die Frage beantwortet ist. Es sind wirklich alle deine Gedanken und Ideen wichtig, auch wenn sie nicht direkt zum Thema passen. Du musst nicht in ganzen Sätzen sprechen, es können auch Wortgruppen sein. Wenn du nichts mehr sagst, werde ich daran erinnern dass du laut Denken sollst.

1.a. Du kaufst dir ein neues Tablet. Es gibt eine riesige Auswahl, wie kommst du schließlich zu deiner Entscheidung? Erkläre deine Überlegungen, die dich zu einer Entscheidung in diesem konkreten Fall führen. (Hier müssen Sie die SuS ermutigen alles zu sagen, was ihnen durch den Kopf geht, auch wenn es nicht zum Thema passt.)

b. Den SchülerInnen werden folgende Auswahloptionen für den Kauf eines neuen Tablets präsentiert und lesen sie sich durch.

- Ich gehe ins Geschäft und suche mir das Tablet aus, das mir am besten gefällt.
- Ich recherchiere im Vorhinein etwas im Internet und nehme dann das billigste Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets im Internet und kaufe dann, wenn möglich, ein leistungsstarkes und günstiges Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Tablets, die geeignet für mich wären.

Dann sollen sie diese Fragen beantworten:

- Lies die einzelnen Optionen noch einmal laut vor. Wo liegen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Einkaufsstrategien? Wie ist die Person bei der vierten Option vorgegangen um eine Entscheidung zu finden? Wie bewertest du diese Strategie?
- Oben hast du XY geantwortet. Was hast du überlegt?
- Würdest du immer noch so wie vorhin beschrieben vorgehen?

- Welche Kriterien würdest du berücksichtigen?

2.a Du kaufst dir ein neues Leuchtmittel. Es gibt eine riesige Auswahl, wie kommst du schließlich zu deiner Entscheidung? Erkläre deine Überlegungen, die dich zu einer Entscheidung in diesem konkreten Fall führen. (Zum lauten Denken animieren!)

b. Sieh dir die verschiedenen Entscheidungsoptionen an.

- Ich gehe ins Geschäft und kaufe mir die, die am billigsten ist.
- Ich gehe ins Geschäft und kaufe mir die billigste Energiesparlampe.
- Ich recherchiere im Vorhinein über relevante Kriterien und kaufe dann das Leuchtmittel, das alle Kriterien am besten erfüllt.
- Ich recherchiere im Vorhinein über relevante Kriterien, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Leuchtmitteln, die sich für meinen Balkon eignen würden.

Dann sollen wiederum diese Fragen beantwortet werden.

- Lies die einzelnen Optionen noch einmal laut vor. Wo liegen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Einkaufsstrategien? Wie ist die Person bei der vierten Option vorgegeben um eine Entscheidung zu finden? Wie bewertest du diese Strategie?
- Oben hast du XY geantwortet. Was hast du überlegt?
- Würdest du immer noch so wie vorhin beschrieben vorgehen?
- Welche Kriterien würdest du berücksichtigen?

3. Vergleich zwischen den erster und zweiter Frage:

In den beiden Beispielen geht es ja darum Entscheidung zu finden.

- Wie gehst du allgemein vor, wenn du eine Entscheidung treffen musst?
- Du hast jetzt zwei verschiedene Entscheidungssituationen durchgespielt.
- Waren diese beiden Situationen für dich gleich oder ganz anders?

ANDERS:

- Was war anders?
- Wie kommt dieser Unterschied für dich zustande? Oder anders gefragt: Was war für dich ausschlaggebend, dass du zwei mal unterschiedlich vorgegangen bist?

- Was hast du bei den zwei Entscheidungssituation anders gemacht? Wie bist du anders vorgegangen? Warum?
- Wo liegen die Unterschiede zwischen den beiden Entscheidungssituationen vom Inhalt her?
- Macht der Inhalt für dich einen Unterschied wie du bei einer Entscheidung vorgehst?
- Jetzt zurück zu den vorgegebenen Antworten: Lies bitte noch einmal die letzte Antwortmöglichkeit vor. Was ist nötig, um zur vierten Entscheidungsoption zu gelangen? Was alles wird hier überlegt / berücksichtigt?

GLEICH:

- Was war gleich?
- Was war für dich ausschlaggebend, dass du zweimal gleich vorgegangen bist?
- Was hast du bei beiden Entscheidungen gleich gemacht?
- Warum?
- Was macht deine Entscheidungsfindung aus?
- Kannst du vielleicht doch einen Unterschied zwischen den beiden Entscheidungen erkennen?
- Wenn ja: Wie kommt dieser zustande?
- Macht der Inhalt für dich einen Unterschied wie du bei einer Entscheidung vorgehst?
- Jetzt zurück zu den vorgegebenen Antworten: Liese bitte noch einmal die letzte Antwortmöglichkeit vor.
- Was ist nötig, um zur vierten Entscheidungsoption zu gelangen?
- Was alles wird hier überlegt / berücksichtigt?

4.a. Erkläre mir kurz in eigenen Worten, warum du den Tisch sehen kannst.

(Nachfragen: welche Rolle spielt das Licht dabei? Wie entsteht überhaupt ein Bild auf der Netzhaut?)

b. Sehen wir auch, wenn es komplett dunkel ist? Warum (nicht), erkläre mir bitte kurz wie das funktioniert?

c. Lest euch nun noch einmal den folgenden Absatz durch und erklärt dann spontan, wie ihr die Frage beantworten würdet.

Ein häufig erläutertes, aber nicht ganz korrektes Argument für die Nutzung von hohen Beleuchtungsstärken bei Straßenbeleuchtungen und somit auch für mehr Licht in alle möglichen Richtungen ist demnach die Sicherheit von Einwohnern. Generell überwiegt das

Gefühl von mehr Sicherheit und Orientierung, je heller die Umgebung ausgeleuchtet ist. Was viele jedoch nicht wissen ist, dass Menschen in der Nacht nicht viel Licht brauchen um ihre Umgebung klar wahrzunehmen und um sich ohne Probleme orientieren zu können. Grund dafür ist das hohe Anpassungsvermögen unserer Augen an stark unterschiedliche Beleuchtungsstärken, wie es in der angeführten Tabelle ersichtlich ist.

Lichtquelle	Beleuchtungsstärke
Sonne (bei klarem Himmel)	Bis zu 128.000 Lux
Tageslicht bei Bewölkung und bei Gewitter	1000- 10 000 Lux, bei Gewitter: 100 Lux
Straßenbeleuchtung	Bis zu 100 Lux
Vollmond	Weniger als 0.25 Lux
Halbmond	Weniger als 0.025 Lux

Frage 1: Was ist aus der Tabelle in Bezug auf die Wahrnehmung der Menschen einer Umgebung bei Nacht zu schließen?

Frage 2: Was für eine Bedeutung hat das hohe Anpassungsvermögen der menschlichen Augen an die Beleuchtungsstärke für Außenbeleuchtungen?

Die SuS beantworten diese Frage erst offen selber. Dann:

Die Antworten, die ich von einem Schüler bekommen habe, sind so. Bitte lies die erster Frage vor und erzähl mir was dir zu dieser Antwort spontan einfällt.

Antwort 1: Dass die Menschen trotz Dunkelheit sehen können, da sich die Augen anpassen.

Antwort 2: Dass die Menschen eigentlich in der Nacht kein Licht brauchen, da sie selbst gut sehen können.

d. Für nicht betroffene Personen: Versucht auf folgende Fragen näher einzugehen:

- Wie würdest du diese Erklärung bewerten?
- Was findest du ist bei dieser Erklärung nicht so gut gelungen?
- Gibt es etwas, das du noch gern hinzufügen würdest?
- Wie gut passt aus deiner Sicht die Antwort zur Fragestellung?

Für Person, von der die Frage abstammt:

Wie zufrieden bist du mit deiner Antwort von damals? Wie würdest du sie heute verändern?

Hier passen die Frage und die Antwort nicht ganz zusammen.

- Was möchtest du bei der Antwort noch hinzufügen?
- Was möchtest du noch umformulieren?

- Gibt es etwas, das du noch berücksichtigen willst?

Wenn hier noch immer Punkte offen sind, dann nachfragen: Einige deiner Kollegen haben hier noch xy angeführt. Warum war dir das nicht so wichtig?

5. Bitte gewichte diese Bewertungstabelle noch einmal.

a. Aus der Perspektive des Bürgermeisters/ der Bürgermeisterin (so wie unten erklärt).

b. Aus deiner persönlichen Perspektive. Schreibe dazu mit einer anderen Farbe die eigene Gewichtung dazu.

c. Vergleiche nun die Gewichtung aus Perspektive des Bürgermeister/ der Bürgermeisterin.

- Ist die Gewichtung gleich oder unterschiedlich?

unterschiedlich: Wo liegen diese Unterschiede in der Gewichtung?

- Warum glaubst du, entstehen solche Unterschiede bei der Gewichtung der einzelnen Faktoren?
- Welche Aspekte werden in den jeweiligen Perspektiven mehr/ weniger berücksichtigt?

gleich: Warum sind die Gewichtungen gleich?

- Welche Aspekte sind für beide Perspektiven am wichtigsten?
- Warum sind diese Aspekte so wichtig?

d. Vergleiche nun deine jetzige Gewichtung, mit der Gewichtung aus der Einheit.

- Welche Gewichtung, die des Bürgermeisters/ der Bürgermeisterin, oder deiner persönlichen Gewichtung, entspricht jener aus der Einheit?
- Wie bist du damals bei der Gewichtung vorgegangen?
- Welche Ähnlichkeiten kannst du erkennen?
- Welche Unterschiede kannst du erkennen?
- Welches Kriterium ist für dich persönlich aus heutiger Sicht am ausschlaggebendsten bei einer Straßenbeleuchtung?
- Wie hat dich die Unterrichtseinheit beeinflusst, dass du heute so wie du es eben gesagt hast über die Entscheidungsfindung denkst?
- Gibt es ein Kriterium, das deiner Meinung nach auch noch wichtig wäre, aber nicht erwähnt wurde?

Konkret auf die Relevanz der Kosten bezogen: Fast alle deiner Mitschüler haben die Kosten sehr gering gewichtet und xy dafür sehr hoch.

- Was glaubst du welche Überlegungen dafür ausschlaggebend waren?

Rollenverständnis / Multiperspektivität

- Wie leicht fällt es dir dich in eine andere Rolle, wie die des Bürgermeisters hineinzusetzen?
- Was macht es schwer in eine andere Rolle zu schlüpfen?
- Wenn es um Entscheidungen geht, macht es aus deiner Sicht überhaupt Sinn sich in die Rolle von anderen Personen zu versetzen? Warum (nicht)?

6.a Du kennst das Statement von Herrn Seibert. Lies erst die Reaktion des Gemeindesekretärs darauf vor. Welche Gedanken fallen dir spontan dazu ein? (zum Lauten Denken animieren)

Lies erst die Reaktion der Gemeindekassiererin darauf vor. Welche Gedanken fallen dir spontan dazu ein? (zum Lauten Denken animieren)



Ich würde die neutralweiße LED wählen, da sie das Licht nach oben hin abschirmt, aber noch genug Licht nach

Reaktion des Gemeindesekretärs: Das stimmt, es geht aber nicht das ganze Licht nach unten, ein Teil wird auch verschwendet.

Reaktion der Gemeindekassiererin: Vom Leuchtentyp her würde die Neutralweiße Lampe auch sehr gut passen. Doch im Vergleich zu der warmweißen Lampe enthält sie noch viel blaues Licht und trägt somit mehr zur Lichtverschmutzung bei. Auch bei den jährlichen Stromkosten ist die neutralweiße Lampe um einiges teurer.

Interviewblatt für die SchülerInnen

Textteil 1:

Bitte lies dir diese verschiedenen Entscheidungsoptionen nochmals durch.

- Ich gehe ins Geschäft und suche mir das Tablet aus, das mir am besten gefällt.
- Ich recherchiere im Vorhinein etwas im Internet und nehme dann das billigste Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets im Internet und kaufe dann, wenn möglich, ein leistungsstarkes und günstiges Tablet.
- Ich recherchiere im Vorhinein über wichtige Kriterien des Tablets, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Tablets, die geeignet für mich wären.

Textteil 2:

Bitte lies dir die folgenden Entscheidungsoptionen durch.

- Ich gehe ins Geschäft und kaufe mir die, die am billigsten ist.
- Ich gehe ins Geschäft und kaufe mir die billigste Energiesparlampe.
- Ich recherchiere im Vorhinein über relevante Kriterien und kaufe dann das Leuchtmittel, das alle Kriterien am besten erfüllt.
- Ich recherchiere im Vorhinein über relevante Kriterien, wiege diese gegeneinander ab und komme dann zu einer Auswahl an Leuchtmittel, die sich für meinen Balkon eignen würden.

Textteil 3:

Da du als BürgermeisterIn noch nicht so vertraut mit dem Begriff der Beleuchtungsstärke bist, liest du den folgenden Teil eines Fachartikels darüber:

Ein häufig erläutertes, aber nicht ganz korrektes Argument für die Nutzung von hohen Beleuchtungsstärken bei Straßenbeleuchtungen und somit auch für mehr Licht in alle möglichen Richtungen ist demnach die Sicherheit von Einwohnern. Generell überwiegt das Gefühl von mehr Sicherheit und Orientierung, je heller die Umgebung ausgeleuchtet ist. Was viele jedoch nicht wissen ist, dass Menschen in der Nacht nicht viel Licht brauchen um ihre Umgebung klar wahrzunehmen und um sich ohne Probleme orientieren zu können. Grund dafür ist das hohe Anpassungsvermögen unserer Augen an stark unterschiedliche Beleuchtungsstärken, wie es in der angeführten Tabelle ersichtlich ist.

Lichtquelle	Beleuchtungsstärke
Sonne (bei klarem Himmel)	Bis zu 128.000 Lux
Tageslicht bei Bewölkung und bei Gewitter	1000- 10 000 Lux, bei Gewitter: 100 Lux
Straßenbeleuchtung	Bis zu 100 Lux
Vollmond	Weniger als 0.25 Lux
Halbmond	Weniger als 0.025 Lux

Frage 1: Was ist aus der Tabelle in Bezug auf die Wahrnehmung der Menschen einer Umgebung bei Nacht zu schließen?

Frage 2: Was für eine Bedeutung hat das hohe Anpassungsvermögen der menschlichen Augen an die Beleuchtungsstärke für Außenbeleuchtungen?

Textteil 4:

Antwort 1: Dass die Menschen trotz Dunkelheit sehen können, da sich die Augen anpassen.

Antwort 2: Dass die Menschen eigentlich in der Nacht kein Licht brauchen, da sie selbst gut sehen können.

Textteil 5:

Die Bewertungstabelle soll dir bei der Entscheidungsfindung und bei der Reflexion über die entscheidenden Kriterien helfen. Beachte dabei, dass du aus der Perspektive des Bürgermeisters/ der BürgermeisterIn argumentieren sollst.

Zusatzinformation und Denkanstöße:

Da deine Gemeinde beträchtlich zum Lichtsmog rund um Graz beiträgt und so deinen Einwohnern die Sicht auf einen klaren Himmel verweigert wird, willst du zu einer Entscheidung kommen, die dabei hilft, Lichtimmissionen in deiner Gemeinde zu verringern.

Um zu einer möglichst akkuraten Entscheidung zu kommen, informierst du dich genauer über die Lichtfarbe, den Leuchtentyp und die Beleuchtungsstärke der angebotenen Außenbeleuchtungen.

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe		Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe							
Beleuchtungsstärke							
Lebensdauer							
Lichtausbeute							
Investitionskosten							
Jährliche Stromkosten							
Leuchtentyp							
Summe	XXXXXXXXXXXX						

Gewichtung: Überlege dir, wie wichtig dir diese Kriterien sind:

Sehr wichtig=3; wichtig=2; ziemlich unwichtig= 1

15. Anhang E: Ausgefüllte Bewertungstabellen und Concept Cartoons

SchülerIn 1:

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Neutral Leuchtdiode 1 (LED)		Energie Leuchtstofflampe		Warm Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	2	6	12	2	4	4	8
Beleuchtungsstärke	3	2	6	4	12	6	18
Lebensdauer	1	5	5	2	2	5	5
Lichtausbeute	2	6	12	2	4	4	8
Investitionskosten	1	6	6	4	4	2	2
Jährliche Stromkosten	1	6	6	2	2	4	4
Leuchtentyp	3	4	12	2	6	6	18
Summe	XXXXXXXXXX	59		34		63	

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Die Energiesparlampe ist nicht geeignet, sie ist zu teuer, sie hat viel zu viel Blauanteil und sie ist einfach viel zu hell. Die Menschen können auch mit "weniger" Licht gut sehen.

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Ich bin genau Ihrer Meinung, da es nur wichtig ist, dass die Straße gut beleuchtet ist. Man braucht keine Energiesparlampe.

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Da haben Sie recht Frau Kletz, aber ~~es~~ es ist doch wichtig, dass man auf der Straße gut sehen kann und das eben nur die Straße beleuchtet wird. Deswegen ist der Blauanteil nicht so imens wichtig.

SchülerIn 2

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Neutralweiß Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe Leuchtstofflampe		Warmweiß Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	3	4	12	1	3	7	21
Beleuchtungsstärke	2	4	8	2	4	6	12
Lebensdauer	1	5	5	2	2	5	5
Lichtausbeute	1	4	4	2	2	6	6
Investitionskosten	1	4	4	6	6	2	2
Jährliche Stromkosten	1	4	4	2	2	6	6
Leuchtentyp	3	4	12	2	6	6	18
Summe	XXXXXXXXXX	43		25		40	

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Allerdings erzeugt sie viel ^{kurzwelliges} ungesundes Licht.
 Dieses trägt zur ~~Eners~~ Lichtverschmutzung bei was
 schlecht für Mensch und Tier ist.
 Kurzwellige Strahlen stören ^{den} natürlichen Rhythmus von
 Mensch und Tier.
 Außerdem brauchen Menschen in der Dunkelheit nicht viel Licht.
 Unsere Augen können sich perfekt anpassen. Es stört sogar eher

(Auch viel ungesundes Licht)

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Das ist richtig, aber es ist immer noch viel
ungebrauchtes Licht, welches zur Seite abgestrahlt wird.
Zwar ist die Lampe nicht schlecht, da auch nicht gut

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Ich bin ganz deiner Meinung
Außerdem verspricht sie wenig ^{ungebrauchtes} ~~abgestrahltes~~ Licht.
Nachdem ist sie dunkel → die Autofahrer (o.a) werden
nicht so sehr geblendet

SchülerIn 3

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Leuchtdiode 1 (LED)		Energie spare Lampe Leuchtstofflampe		Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	3	3	9	3	9	6	18
Beleuchtungsstärke	3	2	6	8	24	2	6
Lebensdauer	2	5	10	2	4	5	10
Lichtausbeute	2	4	8	2	4	6	12
Investitionskosten	2	5	10	7	14	0	0
Jährliche Stromkosten	3	2	6	1	3	9	27
Leuchtentyp	3	4	12	2	6	6	18
Summe	XXXXXXXXXX		61		64		91

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Die Energie spare Lampe streut sehr stark und blendet viel.
 Außerdem gibt es eine geringe Lichtausbeute und die Lebensdauer
 ist auch nicht groß.
 Die Investitionskosten sind sehr gering aber dafür sind die
 jährlichen Stromkosten groß.
 Nicht ganz einverstanden.

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Klingt gut. Die Lichtausbeute ist nicht schlecht und die Investitionskosten und d. f. Stromkosten sind ein bisschen ~~hoch~~ hoch, sie strahlt auch gut und blendet nicht.

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Ich bin ihrer Meinung. Sie hat ein angenehmes Licht, blendet nicht und hat eine große Lichtausbeute.
Die Investitionskosten sind zwar sehr hoch aber die f. Stromkosten sind die niedrigsten und das Licht strahlt perfekt auf d. Straße

SchülerIn 4

Für die ausgefüllte Bewertungstabelle des/der SchülerIn 4 siehe Abbildung 32

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Die Straße muss ~~so~~ nicht möglichst hell sein,
unser Auge passt sich der Beleuchtung an.
Außerdem blendet helles Licht sehr, was zu mehr
Unfällen führen kann

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Das stimmt, es geht aber nicht das ganze Licht
nach unten, ein Teil wird auch verschwendet.

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Bin der gleichen Meinung, außerdem wird durch
den Lampenschirm kein Licht verschwendet
und das Licht ist nicht zu hell.

SchülerIn 5

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe Leuchtstofflampe		Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	3	4	12	2	6	6	18
Beleuchtungsstärke	2	3	6	3	6	6	12
Lebensdauer	1	5	5	2	2	5	5
Lichtausbeute	3	4	12	5	15	3	9
Investitionskosten	1	4	4	5	5	3	3
Jährliche Stromkosten	1	3	3	3	3	6	6
Leuchtentyp	2	5	10	2	4	5	10
Summe	XXXXXXXXXX	52		41		63	

Für das ausgefüllte Concept Cartoon der/des SchülerIn 5 siehe Abbildung 33, Abbildung 34 und Abbildung 35.

SchülerIn 6

		Beleuchtungsmöglichkeiten					
		Leuchtdiode 1 (LED)		Energiesparlampe Leuchtstofflampe		Leuchtdiode 2 (LED)	
Kriterien	Gewichtung	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert
Lichtfarbe	3	14	42	12	36	6	18
Beleuchtungsstärke	2	3	6	3	6	6	12
Lebensdauer	1	5	5	2	2	5	5
Lichtausbeute	3	4	12	5	15	3	9
Investitionskosten	1	4	4	5	5	3	3
Jährliche Stromkosten	1	3	3	3	3	6	6
Leuchtentyp	2	5	10	2	4	5	10
Summe	XXXXXXXXXX		52		41		63

Reaktion auf Aussage von Frau Stolz:

Prinzipiell richtig, die Energiesparlampe ist jedoch wegen ihrer hohen Beleuchtungsstärke die schlechteste Wahl, wenn es um Lichterzeugung geht.
 Würde ich aber hoch die Leuchte heben, da sind die höchsten jährlichen Stromkosten.
 Die Leuchtdiode ist zwar schlechter als die Energiesparlampe, wirkt aber gut für die Lichterzeugung.

Reaktion auf Aussage von Herrn Seibert:

Fakt ist, dass ein LED-Strahlungspegel ist, wenn man sich in der Nähe befindet, ist die jährliche Dosisbelastung nur wenige Jahre höher als bei den warmweißen LEDs.
Allerdings muss man sagen, dass die neutralweißen LEDs ein ungutes Licht erzeugen, das die Augen belastet. Es wird also noch einige Tests benötigt, um die Produktion von beiden Varianten die sinnvollste ist.

Reaktion auf Aussage von Frau Kletz:

Die Dosisbelastung würde ein geringeres Risiko darstellen, weil die Lichtleistung der LED geringer ist, die Lichtleistung der warmweißen LEDs höher ist. Es ist aber ein Faktum, dass die warmweißen LEDs ein ungutes Licht erzeugen, das die Augen belastet.
Dieser Zusammenhang ist aber dennoch die Ursache der Beschwerden, unter anderem auch wegen dem höheren Lichtpegel, bei dem die warmweißen LEDs weitgehend abstrahlen.